

一种基于图像处理技术获取尾流特性的新方法

赵晓飞^{1,2} 何俊华¹ 韦明智¹ 陈良益¹

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要 提出了一种利用图像处理手段获取舰船尾流中气泡大小和密度的新方法. 该方法对利用高速数字摄影设备拍摄的尾流图像进行处理; 具有直观、实时、高效等特点, 可以方便地应用在实际的工程项目中.

关键词 尾流; 气泡幕; 图像处理; 图像识别; 区域填充; 腐蚀; 欧拉数

中图分类号 O436 **文献标识码** A

0 引言

舰船尾流是含有大量气泡的气幕带. 尾流中气泡的大小、密度具有一定的统计分布规律^[1,2], 对于这些规律的研究, 很多人做了大量的工作. 但以往的研究方法^[3,4]多是探测激光通过尾流后的光强变化, 得到尾流的特性, 在直观性和并行性上受到了限制. 随着高速数字摄影技术的发展, 可以通过高速数

字摄影设备对尾流进行拍摄, 得到尾流的数字图像, 并通过数字图像处理技术^[5~9]对尾流图像进行处理, 得到尾流大小、密度等光学特性.

1 尾流图像拍摄系统

尾流图像拍摄系统主要由模拟尾流发生器、照明光源、高速数字摄影设备和图像处理器组成, 如图 1. 在实验水槽中利用气泡发生器产生模拟尾流, 利

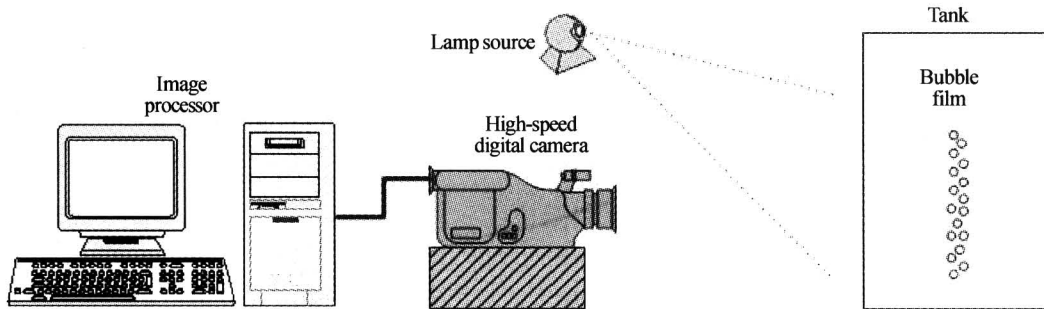


图 1 尾流图像拍摄系统

Fig. 1 Photographic system on wake images

用高速数字摄影设备拍摄尾流图像, 通过数据采集卡读入图像处理器中, 利用数字图像处理技术对尾流图像进行处理, 便可以直观、实时地得到尾流大小、密度等光学特性.

2 尾流图像预处理

利用高速数字摄像设备可以获得直观尾流图像, 但由于是反光拍摄(如图 1), 球形气泡各部分对光线的反射不同, 拍摄下来的气泡亮度明暗不均, 且摄像镜头具有一定的焦深, 气泡的直径很小, 在景深

范围内可能会有气泡重叠. 故尾流图像具有以下缺陷: 气泡中心有暗斑、某些气泡部分重叠等. 这些缺陷非常不利于尾流图像的处理, 可能会影响尾流参数的获取, 甚至得到错误的结果. 因此, 要对尾流的图像进行预处理来克服这些缺陷.

根据数字摄像设备选用 CCD 的不同, 获得的尾流图可能是彩色的, 也可能是黑白的; 但最终都要转换成二值图像, 以便于后续处理. 图像预处理的流程如图 2.

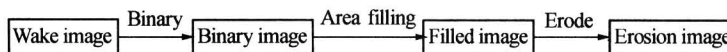


图 2 尾流图像预处理流程图

Fig. 2 Preprocess flow chart of wake image

2.1 区域填充技术

由于采用反光方式拍摄, 得到的尾流图片中的

气泡中心会产生暗斑,因此当二值化时,如果阈值取得太小,背景将对图像产生影响;而阈值大时,尽管消除了背景对图像的影响,但图像中部分气泡中心可能会产生空穴现象. 这些空穴不利于后续计算,故可利用区域填充技术消除这些空穴. 如图 3, (a) 为

原图像,如果采用小阈值对图像进行二值化,则得到 (b) 图像,背景影响图像;采用大阈值时,得到 (c) 图像,气泡中心产生空穴;图 3(d) 为对大阈值二值图像进行区域填充后得到的图像,可以满足后续处理的要求.

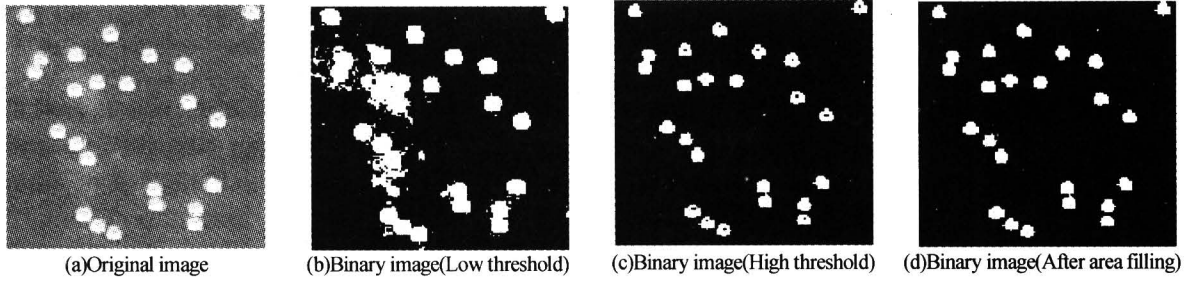


图 3 尾流图像二值化及区域填充
Fig. 3 Binary convert and area filling of wake image

2.2 二值图像腐蚀技术

摄像镜头具有一定的焦深,因此拍摄的图像中,前后气泡会产生重叠的现象. 从图 3 中也可以看出,部分气泡发生重叠;这种现象会影响气泡目标的识别和气泡数量的统计,故必须消除尾流图像中的气泡重叠现象.

腐蚀是数学形态学中的一种基本运算,其定义如下:把结构元素 B 平移到任一点 a 后得到 B_a ,若 B_a 包含于 X ,记下这个 a 点,所有满足上述条件的 a 点组成的集合称作 X 被 B 腐蚀 (Erosion) 的结果. 用公式表示为

$$B(X) = \{a | B_a \subset X\}$$

如图 4, X 是被处理的对象, B 是结构元素. 不难看出,对于任意一个在阴影部分的点 a , B_a 包含于 X ,所以 X 被 B 腐蚀的结果就是图 4 的阴影部分. 阴影部分在 X 的范围之内,且比 X 小,就象 X 被剥掉了一层似的,这就是图像的腐蚀. 腐蚀技术可以将重叠的气泡分离出来,为后续图像处理做好准备.

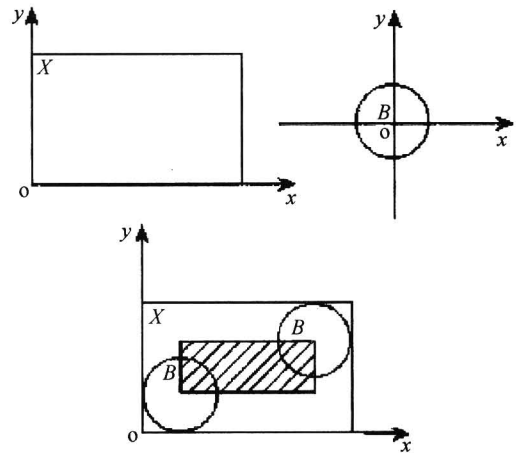


图 4 腐蚀原理图
Fig. 4 Erosion principle

从图 5 可以看出,尾流图像经过二值化和填充后,少量气泡图像重叠在一起,这样不利于气泡数量的统计;因此,采用腐蚀技术处理图像,可以将重叠的部分分离,如图 5(c).

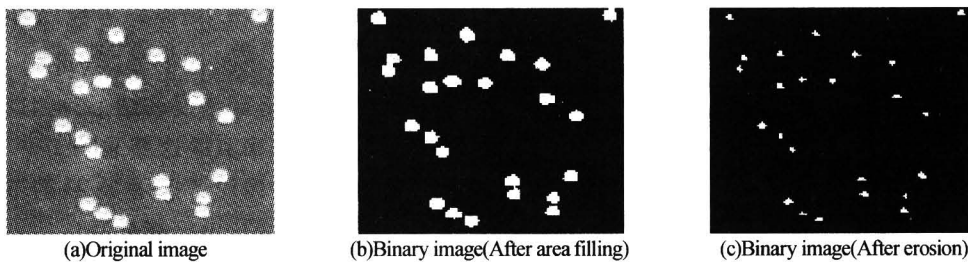


图 5 腐蚀后的尾流图像
Fig. 5 Wake image after erosion

3 利用图像处理技术处理尾流图像

3.1 获得尾流图像中气泡的个数

在几何理论中,欧拉数是图像的一种拓扑度量. 欧拉数等于图像中所有对象的总数减去这些对象中洞孔的数目,因此当尾流图像中的气泡不重叠并且

不存在空穴时,可以通过计算图像中的欧拉数来得到气泡的数目.

利用 Matlab6.5 中的欧拉数计算函数 bweuler 可以非常方便地获得图像的欧拉数. 运行代码如下 (图像名为“二值图像_腐蚀后. bmp”,是经过二值化、区域填充和腐蚀后的尾流图像,其中有 24 个气

泡):

```
I = imread('二值图像_腐蚀后.bmp');
eul = bweuler(I, 8);
结果为:eul = 24
```

用上述方法得到了图像中气泡的个数,单位面积中气泡的个数就是气泡密度。

3.2 获得尾流图像中气泡的平均半径

首先,利用 Matlab6.5 中的图像面积计算函数 bwarea 计算图像中对象的面积,这里所谓的对象面积是指图像前景(即图像中的景物)的大小度量。由于不同方式的像素所占的比重不同,故面积的大小约等于该图像中亮像素(像素值为 1)的数目,但不是完全等于亮像素的数目。

bwarea 函数基本算法:把图像中所有亮像素的面积相加。单个像素的面积是由其 2×2 邻域确定的,有 6 种不同的方式,分别表示了 6 种不同的面积:

有 0 个亮像素的方式 $area=0$;有 1 个亮像素的方式 $area=1/4$;有 2 个相邻的亮像素的方式 $area=1/2$;有 2 个对角的亮像素的方式 $area=3/4$;有 3 个亮像素的方式 $area=7/8$;有 4 个亮像素的方式 $area=1$;运行代码如下(图像名为“二值图像_填充后.bmp”,是经过二值化、区域填充后的尾流图像,其中有 24 个气泡)

```
I = imread('二值图像_填充后.bmp');
area = bwarea(I);
结果为:area = 1056.75.
```

其次,由于图像中气泡的大小基本一致,已知图像中的气泡个数和气泡总面积,可以求得平均每个气泡的面积

$Area_average = area/eul = 1056.75/24 = 44.03$
(像素面积)

计算结果表示平均每个气泡在图像上占据了 44.03 个像素的面积。

最后,利用圆面积公式求得气泡半径

$$Radius = \sqrt{Area_average/\pi} = \sqrt{44.03/\pi} = 3.74 \text{ (像素大小)}$$

计算结果表示平均每个气泡的半径等于 3.74 个像素的大小。

由上述计算过程可以知道尾流图像中气泡的平均半径,单位为像素,根据摄像头的放大倍率和所选用 CCD 器件像元的大小,可以计算出气泡的实际平均半径。

4 结论

提出一种利用高速数字摄影手段采集到直观的尾流图像,并运用数字图像处理手段对该图像进行处理,得到尾流的相关特性。与传统的尾流探测、处理方法相比,具有直观、实时、高效、易工程化等特点,完全可以应用于尾流探测、尾流制导等实际工程中。

参考文献

- 1 张建生,刘建康,冀邦杰,等.尾流气泡幕光学特性的数理模型.光子学报,2002,31(8):1032~1036
Zhang J S, Liu J K, Ji B J, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2002, 31(8):1032~1036
- 2 张建生,刘建康,张义安,等.尾流光学特性的数理模型及试验.西安工业学院学报,2003,23(1):1~10
Zhang J S, Liu J K, Zhang Y A, et al. *Journal of Xi'an Institute of Technology*, 2003, 23(1):1~10
- 3 张建生,吕青,孙传东,等.高速摄影技术对水中气泡运动规律的研究.光子学报,2000,29(10):952~955
Zhang J S, Lu Q, Sun C D, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2000, 29(10):952~955
- 4 纪延俊,马祥,何俊华,等.尾流中气泡对光传播的影响.光子学报,2004,33(5):626~628
Ji Y J, Ma X, He J H, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004, 33(5):626~628
- 5 章毓晋.图像处理和分析.北京:清华大学出版社,2002
Zhang Y J. *Image process and analyse*. Beijing: Tsinghua University Press, 2002
- 6 飞思科技产品研发中心. MATLAB 6.5 辅助图像处理.北京:电子工业出版社,2003
Fecit Science and Technology Product R&D. *MATLAB 6.5 Aid Image Process*. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003
- 7 马治平.一种区域填充算法.计算机应用与软件,2004,21(4):84~85
Ma Y P. *Computer Applications and Software*, 2004, 21(4):84~85
- 8 王金涛,刘文耀,路烁.流域分割算法在细胞图像分割中的应用.西南交通大学学报,2002,37(3):290~294
Wang J T, Liu W Y, Lu Y, et al. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 2002, 37(3):290~294
- 9 戴常英,李昕,李凌博.等值线图区域填充的边界扫描算法.微机发展,2004,14(1):23~25
Dai C Y, Li X, Li L B, et al. *Microcomputer Development*, 2004, 14(1):23~25

A New Method of Getting Wake Character Based Image Process Technology

Zhao Xiaofei^{1,2}, He Junhua¹, Wei Mingzhi¹, Chen Liangyi¹

¹ Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068

² The graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039

Received date: 2004-11-23

Abstract A new method, by which the bubble's size and density of the ship wake can be obtained by using image processing methods, was put forward. With this method, the wake images which are gotten by high-speed digital photographic equipments can be processed. The method has characteristics such as visibility, real time and high efficiency, and can be conveniently applied in actual engineering projects.

Keywords Wake; Bubble film; Image process; Image recognition; Area filling; Erosion; Euler number



Zhao Xiaofei was born on July 14, 1978, in Shaanxi. He earned the Bachelor degree in Optical Engineering from Zhejiang University in 1999. Now he is a master candidate in Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of sciences. His research is mainly focused on software development and image process.