

文章编号:1004-4213(2010)12-2274-5

基于 MATLAB 的尾流图像数字化处理*

崔红,常洋,张建生

(西安工业大学 数理系, 西安 710021)

摘要:介绍了尾流图像数字化处理工作原理及方法. 用 MATLAB 软件对船舶时速分别为 30 km/h 和 40 km/h 的两幅尾流图像进行了灰度变换、滤波、Canny 边缘化、二值变换、直方图变换等,并对实验结果进行了初步分析,得到了船舶航速影响尾流边缘夹角、边缘弯曲度及直方图峰值变化. 研究结果为尾流图像进入信息化系统提供了基础.

关键词:尾流;直方图;边缘;MATLAB

中图分类号:O436

文献标识码:A

doi:10.3788/gzxb20103912.2274

0 引言

近年来海盗猖獗和海难事故频有发生,各国把对海洋船舶监测系统研究列为重要课题. 船舶尾流监测分析仪是利用 MATLAB 软件对船舶尾流图像进行数字化处理,可用于对海洋船只进行长期、连续、动态、实时地观测,是开发和利用海洋非常有效的手段,能提高对海盗的跟踪和海难预警技术.

尾流的平面图像与船舶的几何尺度、航行速度、海面风速等因素密切相关. 就物理场而言,尾流具有声学特性、光学特性、磁特性及热特性等. 舰船尾流的这些物理特性,是进行尾流探测、跟踪和识别的基础^[1]. 目前已成功地研制出了以尾流的声学特性为基础的鱼雷用于尾流自导系统,这种自导系统具有很好的抗干扰能力和较高的导引准确度^[2]. 利用尾流的光学特性来设计船舶尾流监测分析仪,为保障船舶安全提供了一种新的方法.

本文经过大量实验,对船舶尾流图像进行了精密数字化处理,得到了边缘图和直方图等,为将船舶尾流进行数字信息化处理提供了大量有价值数据. 从透射光的相对强度来分析实验结果,可以认为自然光的影响是一个次要因素^[3],所以不考虑自然光的影响.

1 尾流图像 MATLAB 预处理

图 1 是船舶尾流监测分析仪,将船舶尾流分析仪工作原理分四个模块,有图像采集系统、基于 MATLAB 尾流图像数字化处理系统、数字信息系

统和数字显示系统. 本文应用 MATLAB 软件对尾流图像处理部分进行分析,对船舶尾流图像进行预处理、边缘化处理和直方图分析,为将图像信息送入数字信息系统做准备.

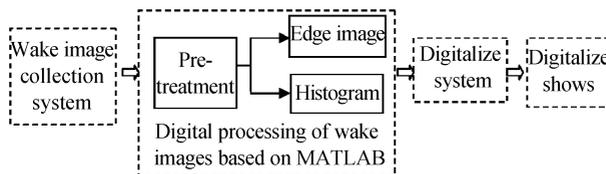


图 1 船舶尾流监测分析仪

Fig. 1 Analyzer to monitor the ship wake

尾流图像预处理是将尾流图像在进行边缘变换和直方图分析之前先进行灰度变换、二值化和滤波处理,为后期工作做准备.

1.1 尾流图像灰度转换

一般成像系统只是有一定的亮度响应范围,亮度的最大值与最小值之比称为对比度. 由于成像系统的限制,常出现对比度不足的弊病,使人眼观看图像时视觉效果很差,灰度变换可使图像的动态范围增大,图像对比度扩展,图像清晰,特征明显.

线性灰度变换函数为

$$g = mf + n \quad (1)$$

m 为斜率, n 为直线在 g 轴上的截距,对应的关系如表 1.

表 1 m, n 与输出图像关系

Table 1		The relationship between output image and m, n	
m	n	Output image	Functions images
1	0	Copy the input image	
>1	0	Contrast was extended	
<1	0	Contrast was compressed	
<0	0	Demand on the input image against	
1	≠0	Than the input image partial light or Pianan	

* 武器装备预研基金(51448030101ZK1801)和陕西省自然科学基金项目(2004A18)资助

Tel:029-86173024

Email:xiaocui226@sohu.com

收稿日期:2010-05-19

修回日期:2010-08-18

实验船只长度为 4 m,宽度为 1.5 m,湖水深度约 15 m. 图 2 所示为实验船只尾流灰度图像.



(a) Grayscale images of the wake at 30km/h



(b) Grayscale images of the wake at 40km/h

图 2 MATLAB 仿真尾流图像灰度转换图
Fig. 2 MATLAB simulation wake grayscale conversion chart

尾流图像增强方式很多,用反锐化掩膜可解决对图像进行边缘提升会影响图片的协调性的问题. 尾流图像边缘由于气泡反射自然光的原因很难提取,反锐化掩膜增强将每个像素分成低、中、高对比度 3 部分,对中对比度区域的像素,增加/减少较大的数值,对低/高对比度增加/减少较小的数值,以此将整个图像的对对比度起到视觉增强的效果,利用对比度拉伸方法增强尾流结构,见图 3.



(a) Gray enhanced images of the wake at 30km/h



(b) Gray enhanced images of the wake at 40km/h

图 3 利用对比度拉伸方法增强尾流图像
Fig. 3 Stretching method using contrast enhanced images wake

1.2 尾流图像滤波

尾流图像一般由卫星遥感系统采集,由于元器件及外界环境的影响,图像存在高斯噪音及脉冲噪

音. 对尾流图像进行图像滤波才能对其进行精确分析. 图像滤波方式很多,常用均值滤波除高斯噪音,中值滤波除脉冲滤波.

中值滤波可较好的克服线性滤波器所带来的图像细节模糊,且对滤波脉冲干扰及图像扫描噪音非常有效,中值滤波可保持输出输入信号值不变. 进行中值滤波时将真彩图进行灰度化处理,存储灰度图像只需要一个数据矩阵,数据类型可以是 double, 值域为 $[0, 1]$,也可以是 unit8, 值域为 $[0, 255]$.

1.3 尾流图像二值化

将尾流图像进行二值化处理对 MATLAB 图像处理有重要意义. 一幅尾流二值图像是一个取值只有 0 和 1 的逻辑函数. 工作过程为首先通过命令 $T_1 = \text{graythresh}(h)$ 得到图像的阈值,然后将阈值输入命令 $t_1 = \text{im2bw}(h, T_1)$ 就可得到二值化图,要求阈值取值为 $[0, 1]$,可调节阈值. 转化结果是将亮度图像像素值小于阈值转化为 0, 否则转化为 1. 若命令写成 $g = \text{im2bw}(h)$, 则会为 T 使用默认值 0.5.



(a) Binary images of the wake at 30km/h



(b) Binary images of the wake at 40km/h

图 4 MATLAB 仿真尾流图像二值图
Fig. 4 MATLAB simulation wake binary image

图像膨胀和腐蚀运算是形态学图像处理的基础,但是图像膨胀和腐蚀是在二值图像中操作的,所以尾流图像二值化处理为后期尾流图像数字化信息处理提供重要依据.

2 船舶尾流图像的边缘检测

许多光学设备将人眼的视觉特性作为设计的参量之一,人眼对图像的平坦区的判断不如细节敏感,所以,对图像去噪之前应先取出图像的细节,再对细节进行非线性滤波,可除去大量噪音并提高图像的清晰度.

舰船尾流中含有大量的不同直径的气泡,较大的气泡很快浮上海面破裂消失,只有十分微小的气泡在

海水中的存活时间较长,可达几十分钟以上,随着时间的进一步延长,这些气泡也被海水溶化或上升到海面破裂消失.从体积上讲,气泡只占海水非常小的百分比,但是,由于空气的密度和压缩率明显不同于海水,再者,由于尾流介质中的湍流运动,影响了气泡具体结构的动力学特性,导致了尾流的不均匀^[4].

目前边缘检测最通用地方法是检测亮度值的不连续性,这种不连续可用一阶和二阶导数检测.二维函数 $f(x,y)$ 的梯度定义为向量

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \partial f / \partial x \\ \partial f / \partial y \end{bmatrix} \quad (2)$$

幅值为

$$\nabla f = \text{mag}(\nabla f) = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} = [(\partial f / \partial x)^2 + (\partial f / \partial y)^2]^{1/2} \approx G_x^2 + G_y^2 \quad (3)$$

从式(3)看数字化估计导数 G_x^2 和 G_y^2 是问题的关键,估计出 G_x^2 和 G_y^2 就可知道最大变化率出现时的角度,计算公式为

$$\alpha(x,y) = \arctan(G_y/G_x) \quad (4)$$

函数 edga 中可用的边缘检测器有 Sobel、Prewitt、Roberts、Laplacian of a Gaussian (LoG)、Zero crossing、Canny 边缘检测器.目前最有效的是 Canny 检测器.使用 Canny 检测器可减少噪音,它在每一点处计算局部梯度 $G(x,y)$ 和边缘方向夹角,边缘点定义为梯度方向上其强度局部最大的点. Canny 检测器中上述公式确定的边缘点会导致梯度幅度图像中出现脊,然后追踪所有脊的顶部并将所有不在脊的顶部的像素设为零,可在输出中给出一条细线,这就是非最大值抑制处理.

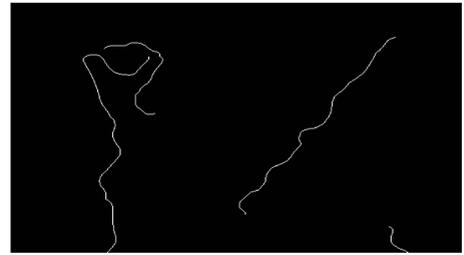
语法为 $[g,t] = \text{edga}(f, 'canny', T, \text{sigma})$

T 是向量, $T = [T_1, T_2]$; sigma 是平滑滤波器的标准偏差,默认值为 1.脊像素使用两个阈值 T_1 和 T_2 ($T_1 < T_2$) 做阈值处理.要求 $T_1 < T_2 < 1$,否则得不到预期的边缘图像.

在用 MATLAB 仿真实验中,可通过改变 T_1 和 T_2 观测图像边缘,图 5 的 T_1 为 0.1, T_2 为 0.6.通过对图 5 观察分析可知船舶速度高的尾流边界线趋于直线,比船速小的图像边界更长,船速小的尾流图像边界呈弧形.尾流在船航速较高条件下尾流的几



(a) Edge images of the wake at 30km/h



(b) Edge images of the wake at 40km/h

图 5 MATLAB 仿真船舶尾流图像边界

Fig. 5 MATLAB simulation of ship wake image border
何分布会更向尾流船靠近.

3 尾流图像直方图

直方图(灰度直方图)为统计图像中具有某种灰度的像素数目的函数.把原始图的直方图变换为均匀分布,增加了像素灰度值的动态范围,从而达到增强图像整体对比度的效果.

设 r 表示图像中像素的灰度级,假定它们是连续的随即变量,就可用概率密度函数 $P(rk)$ 表示原始图像的灰度分布.则

$$P(rk) = nk/N \quad (5)$$

式中, N 为一幅图像中像素的总数; nk 为第 k 级灰度的像素; rk 为第 k 个灰度级. MATLAB 软件处理语法为

$$p = \text{imhist}(f, b)$$

p : 直方图 $P(rk)$, f : 输入图像灰度图, b : 灰度级个数.

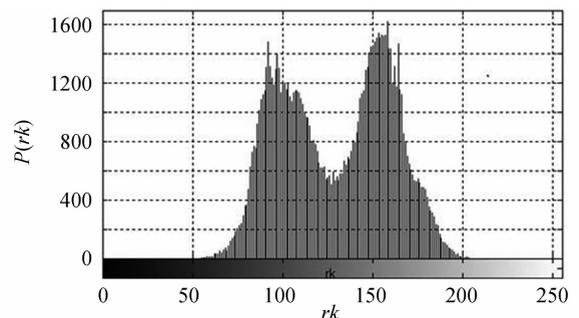
对于一幅对比度较小的尾流图像,其直方图分布一定集中在一个比较小的灰度范围内,经过均衡化处理,平均亮度和对比度明显增强,直方图灰度范围变宽.

将尾流图像做直方图均衡化输入如下命令得均衡化后的尾流直方图

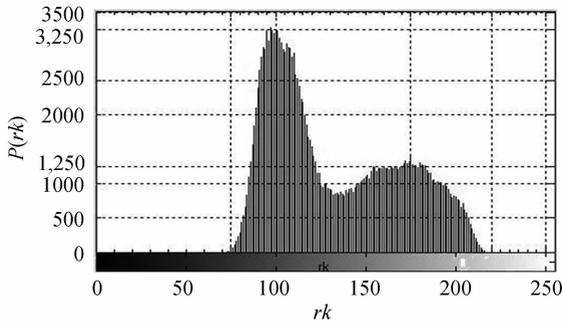
$$G = \text{histeq}(h, n_{\text{lev}})$$

n_{lev} 为灰度等级数,默认值为 64. 图像处理时可将灰度级调整为最大 256.

对图 6 进行分析中发现,对于船速不同的尾流



(a) Histogram of the wake at 30km/h



(b) Histogram of the wake at 40km/h

图 6 MATLAB 仿真尾流图像直方图

Fig. 6 MATLAB simulation wake histogram

图像直方图存在很大差异。

数值分析见表 2, 船速为 30 km/h 的波形在 $r_k=90$ 时出现第一峰值, $r_k=160$ 时出现第二峰值; 船速为 40 km/h 的波形在 $r_k=100$ 时出现第一峰值, $r_k=175$ 时出现第二峰值, 显然波形峰值向右移动。

表 2 尾流图像直方图数值分析

Table 2 Numerical analysis of wake image flow histogram

r_k	0	60	90	100	130	160	175	200	230	250
$P(r_k)$ (a)	0	1	1 300	1 200	500	1 500	500	1	0	0
$P(r_k)$ (b)	0	0	3 000	3 250	800	1 200	1 250	700	1	0

从右边界分析可知, 船速为 30 km/h 的波形在 $r_k=200$ 时 $P(r_k)$ 趋于 0, 船速为 40 km/h 的波形在 $r_k=230$ 时 $P(r_k)$ 趋于 0, 显然船速增大的过程必将激起更多的气泡, 气泡的体积也更大, 在水中持续时间更长。

4 结论

本文介绍了船舶尾流监测系统中数字图像处理部分, 介绍了利用 MATLAB 软件对尾流图像数字化处理的过程、方法及结果。

1) 对尾流图像进行了灰度变换、图像增强及二值化变换, 为后续工作做好了准备。

2) 尾流图像边缘提取。根据仿真图像分析出船速高的尾流图像边缘接近于直线, 船速低的尾流边缘图像呈弧形。

3) 仿真出不同船速尾流图像直方图, 并对直方图进行了数值化分析, 其结论为随着船速的增加直方图峰值向右移动。

参考文献

- [1] ZHANG Jian-sheng, HE Jun-hua, JI Bang-jie, *et al.* Managing of wake optical signal[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(8):1274-1277.
张建生, 何俊华, 冀邦杰, 等. 尾流光学信号的处理方法[J]. 光子学报, 2005, **34**(8):1274-1277.
- [2] ZHANG Jian-sheng, ZUO Jian-jun. Bubble transport equation and its applications [J]. *Journal of Ordnance Engineering College*, 2001, **13**(2):33-38.
张建生, 左建军. 气泡运输方程及其应用[J]. 军械工程学院学报, 2001, **13**(2):33-38.
- [3] ZHANG Jian-sheng, LIU Jian-kang, JI Bang-jie. Optical specialty of real wakes[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(10):1284-1288.
张建生, 刘建康, 冀邦杰. 真实尾流的光学特性[J]. 光子学报, 2002, **31**(10):1284-1288.
- [4] ZHANG Jian-sheng, LÜ Qing, JI Bang-jie. Laboratory simulation of the optical properties of wake [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2001, **30**(9):1146-1149.
张建生, 吕青, 冀邦杰. 实验室模拟尾流的光学特性[J]. 光子学报, 2001, **30**(9):1146-1149.
- [5] LI Ke, WANG Jiang-an, GUO Yi. Ship-based canny operator infrared thermal wake of edge detection [J]. *Infrared Technology*, 2007, **29**(8):463-465.
李恪, 王江安, 郭谊. 基于 Canny 算子的舰船热尾流红外图像边缘检测研究[J]. 红外技术, 2007, **29**(8):463-465.
- [6] ZHANG Yu-fen, TIAN Ji, WANG Cheng-long, *et al.* Analysis on light extinction characteristic of ship wake[J]. *Optoelectronic Technology & Information*, 2003, **16**(4):40-42.
张毓芬, 田稷, 王成龙, 等. 舰船尾流消光特性分析[J]. 光电子技术与信息, 2003, **16**(4):40-42.
- [7] 飞思科技产品研发中心. 小波分析理论与 MATLAB7 实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [8] LI Ke, WANG Jiang-an, GUO Yi. Mapping function based on gray gradient thermal wake of ship infrared image segmentation[J]. *Laser and Infrared*, 2007, **31**(11):1123-1125.
李恪, 王江安, 郭谊. 基于灰度梯度映射函数的舰船热尾流红外图像分割[J]. 激光与红外, 2007, **31**(11):1123-1125.
- [9] DU Qi, XIANG Jian-yong, YUAN Sheng-chun. An improved otsu method[J]. *Infrared Technology*, 2003, **25**(5):33-36.
杜奇, 向健勇, 袁胜春. 一种改进的最大类间方差法[J]. 红外技术, 2003, **25**(5):33-36.
- [10] 冈萨雷斯 C. 数字图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.

Digital Processing of Wake Images Based on MATLAB

CUI Hong, CHANG Yang, ZHANG Jian-sheng

(*Math-physical Department, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China*)

Abstract: The working principles and methods of wake images digital processing system were introduced. The gray-scale transformation, filtering, Canny marginalization, binary transformation and histogram transformation of two wake flow images were carried on, the speed of which are 30 km/h and 40 km/h respectively, using MATLAB software, experimental results were analyzed, and the speed of the ship wake edge angle, edge curvature and histogram peak change were obtained. The research results provide a basis for wave images entering the informationization system.

Key words: Wake; Histogram; Edge; MATLAB



CUI Hong was born in 1979. She is currently a M. S. degree candidate at Math-physical Department, Xi'an Technological University, and her research interests focus on information optics and photoelectric detection.



ZHANG Jian-sheng was born in 1966, and received the Ph. D. degree from Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, CAS, in 2001. He is currently a professor at Xi'an Technological University, and his research interests focus on acoustics, magnetic material, SERS and optical engineering.

勘 误

2010 年第 39 卷 11 期 1938 页作者第一单位有误,更正为:
(1 中国石油大学(华东)物理科学与技术学院,山东 东营 257061)