

基于图像识别的水下地形冲刷过程监测

孙东坡¹, 谢 锋², 张先起¹, 王鹏涛¹

(1. 华北水利水电学院, 河南 郑州 450011; 2. 河海大学, 江苏 南京 210098)

摘要: 针对水下地形冲刷过程发展的特点, 引进医学领域图像处理与分析技术, 提出了以波长 635 nm 的红色线状激光为辅助光源、以 MATLAB 图像识别处理技术为基础的水下地形冲刷监测方法. 该方法具有非接触性测量、实时同步监测等特点. 同时基于 MATLAB 的图像识别原理, 提出了重现水下地形的数字化方法. 通过在河工模型局部冲刷发展研究中的实际应用及误差分析, 结果表明监测系统十分有效, 可以实现水下地形冲刷过程的实时精细监测及动态分析.

关键词: 图像识别; 水下地形; 冲刷过程; 激光; 监测

中图分类号: TV149.3

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2011)03-0053-06

河流在自然状况或修建工程情况下的河势变化及局部河床变形, 经常需要采用河工模型试验来确定, 需要在实验室内观测工程附近水下地形的变化及河床变形过程^[1]. 为了准确得到河工模型试验中河道地形或建筑物附近河床冲淤变化, 尤其是局部河床冲淤随时间的变化, 需要对水下地形信息进行实时、动态的测量和分析^[2].

随着计算机及图像技术、光学技术、超声波技术和激光技术的发展, 国内外开发了多种测量仪器用于对河工模型地形的测量, 如光电反射式地形仪^[3]、电阻式地形仪、跟踪地形仪、超声地形仪、激光扫描仪等仪器^[4]及近景摄影测量技术^[5]. 阻抗地形仪和光电地形仪精度相对较高、应用较广泛, 但这类接触式地形仪会破坏局部地形, 影响测量精度^[6]. 超声地形仪是非接触式的, 测速快, 但精度不高, 多应用于实际工程测量^[7]. 激光测距传感器测量精度高, 测量速度快, 但价格较昂贵. 根据水下地形冲刷过程监测的特点, 即测量设施为非接触式、测量速度快、测量精度需满足需求, 本文提出以图像识别为基础, 借助线激光为参照线的一种新型水下地形监测与分析方法; 研发了一种既不干扰河床地形、又保证测量速度及精度, 可以在河工模型试验局部冲刷观测中方便使用的监测系统. 经实际应用, 该方法简单易行, 对提高河工模型量测技术具有一定的参考价值.

1 监测系统的建立

1.1 基本思路

通过线激光在水下地形上照射出一条轮廓线, 由摄像头捕获该时刻图像信息, 再通过图像识别技术获取该时刻的水下地形轮廓线. 当线激光完成对整个水下地形的照射后, 就可以获得完整的水下地形. 反复地逐行(列)扫描就能实现对水下地形的实时监测(见图1).

收稿日期: 2010-08-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51079055); 水利部公益性科研专题资助项目(200901018)

作者简介: 孙东坡(1952-), 男, 河南开封人, 教授, 主要从事水力学及河流动力学研究. E-mail: sundongpo@ncwu.edu.cn

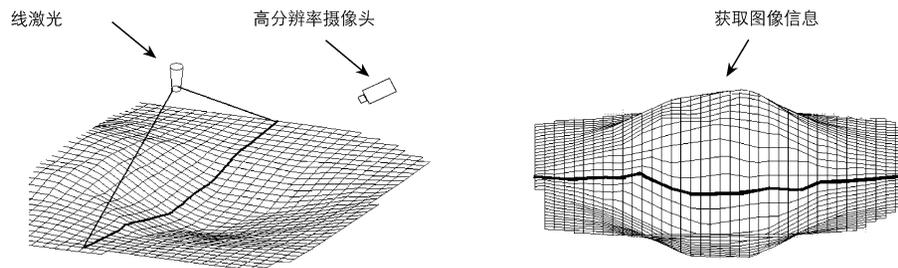


图1 监测系统示意图

Fig. 1 Monitoring system

1.2 监测系统的主要构成

激光与普通光相比具有三好一高的特点:单色性好、相干性好、方向性好和亮度高^[8]. 由于激光定向性好、使用方便、易于安装和稳定可靠,能较大幅度提高工作效率,因此激光被广泛应用于医疗、军事、测量仪器等产品中. 地形测量通常使用 635 nm 的红色激光,因为红色较为醒目,特殊情况也可选择 532 nm 绿色激光. 系统测量范围的宽度就是激光的线宽宽度,测量范围的长度是与水流流速有关的函数;经过试验得知,测量范围的长度以激光线宽的 2 倍为宜. 根据实际模型尺寸确定选用的激光器参数见表 1.

表 1 激光器参数

Tab. 1 Laser parameters

品牌	型号	波长/ nm	输出功 率/ mW	供电电 压/ V	工作电 流/ mA	光斑 模式	线宽/ m	外型 尺寸	发散角/ mrad	输出 波段	运转 方式	激励 方式	工作 介质
FU	635L5-C9	635	5	DC 5.0	45	一字 线状	3(镜高 1.5 m 处)	Φ9×23 mm	0.5~2.0	可见 激光器	连续 激光器	电激励式 激光器	半导体 激光器

摄像头的成像质量对地形数据的识别影响很大,不同分辨率的摄像设备对系统的误差依存关系如图 2 所示. 通过对不同分辨率的比较分析,从精度与经济两方面考虑,相对误差控制在 15% 左右较为合适,所以监测系统选用工业级摄像头 (SONICA SCC-380 COLOR CCD CAMERA).

1.3 基于 MATLAB 的图像识别

通过动态监测系统图像获取模块获得的是视频文件(通常为 AVI 格式),MATLAB 通过对监测视频的每一帧图像进行识别处理^[9],从而完成水下地形的重现. 在获得图像后,首先要对图像增强,即根据某种应用需要,人为地突出输入图像中的某些信息,从而抑制或消除另一些信息的处理过程^[10]. 根据增强处理过程所在的空间不同,图像增强技术可分成频率域法和空间域法^[11].

频率域法把图像看成一种二维信号,对其进行基于二维傅里叶变换的信号增强,其主要有低通滤波法和高通滤波法. 采用低通滤波法(即只让低频信号通过),可去掉图中的噪声;采用高通滤波法,则可增强边缘等高频信号,使模糊的图片变得清晰,在 MATLAB 中可以使用 `fir1()` 函数设计出低通、高通滤波器.

空间域法则直接对图像灰度级做基于频域的运算,即在图像的某种变换域内对图像的变换系数值进行某种修正,是一种间接增强的算法,具体可通过点运算或邻域增强算法实现. 点运算算法即灰度级校正、灰度变换和直方图修正等,目的使图像成像均匀、扩大图像动态范围及扩展对比度等. 在 MATLAB 中,灰度调整可以用 `imadjust()` 函数,直方图均衡化使用 `histeq()` 函数. 邻域增强算法有图像平滑和锐化两种. 平滑技术用于平滑图像中的噪声,基本应用在求空间域上的平均值或中值,或在频域上采取低通滤波;在 MATLAB 中,以用 `smooth()` 函数实现图像平滑. 锐化技术采用的是频域上的高通滤波法,通过增强高频成分减少图像中

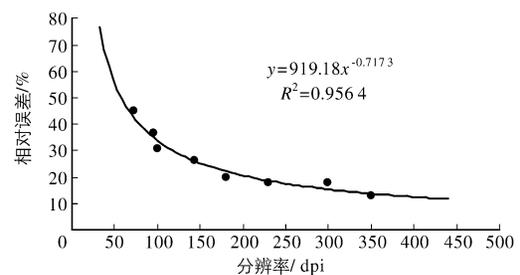


图2 误差分析曲线(分辨率)

Fig. 2 Error analysis curve (resolution)

的模糊,特别是使模糊的边缘部分得到了增强,但同时也放大了图像的噪声.在MATLAB中可以采用Robert梯度算子和Laplacian算子对应的模板对图像进行锐化.

通过线激光辅助获取的水下地形轮廓线,MATLAB图像识别后是一个带状分布的点群(见图3(a)),再经过图像的平滑过滤增强得到较理想的轮廓线(见图3(b)).

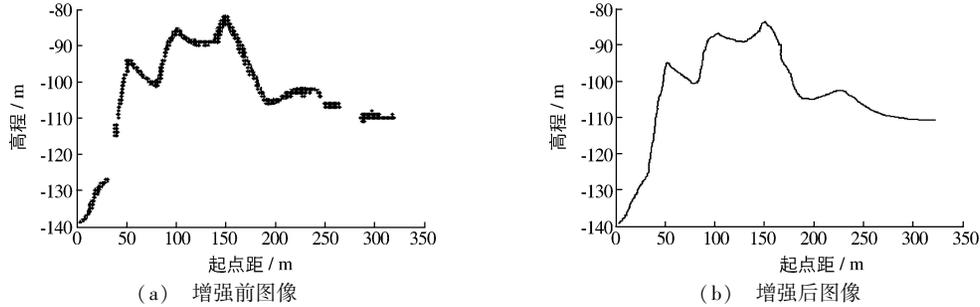


图3 图像增强对比

Fig.3 Image enhancement comparison

适当运用图像增强法对原始图像进行处理,将使原始图像变得较清晰,能够较真实地反映图像的结构特征,便于水下地形重建的处理及显示.

1.4 数字化水下地形的重现

在实际运用中,线激光需要垂直照射地形,目的是为了减少水折射对图像的影响.摄像头安装的最佳角度是与激光面垂直,但现实中需调整适当角度才能完整拍摄水下地形轮廓线,这就要对图像变形及拍摄角度引起的系统误差进行分析.由于图像识别后得到的是像素坐标,需要还原成实际坐标.针对图像变形和坐标还原问题,可借鉴参考点法^[12],选取3个或3个以上校正点就可解决.对于不同入射角度下图像采集的误差进行大量试验,得到误差分析曲线(见图4).图4左上角为极坐标系.

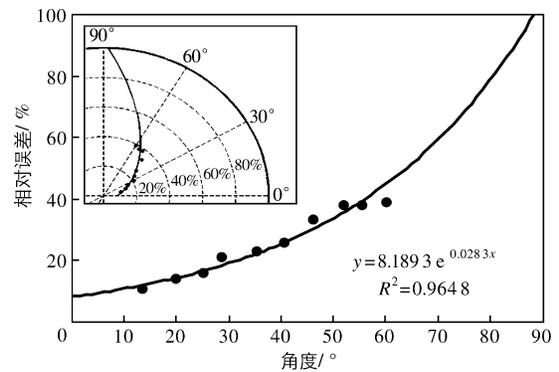


图4 误差分析曲线(拍摄角度)

Fig.4 Error analysis curve (shooting angle)

下面是水下地形重建的MATLAB代码:

```
mov = mmreader('Test. avi'); fnum = mov.NumberOfFrames; % 读入“Test. avi”的监测视频.
for ii = 1 : fnum
    pix = read(mov, ii); % 读取视频的帧
    for i = 1 : size(pix,1)
        for j = 1 : size(pix,2)
            if pix(i,j,1) >= 100 % 筛选红色激光,调节红色灵敏度.
                rst = cat(1, rst, [i j]);
            end
        end
    end
end
x = rst(1, :); y = rst(2, :); % 图像平滑过滤
yy_loess = smooth(x, y, 0.1, 'loess'); [xx, ind] = sort(x);
new = [xx; ii * dist * ones(size(xx)); yy_loess(ind)']; % 根据监测范围重建空间坐标
sf = cat(2, sf, new);
```

```

end
minsfx = min(sf(1,:));maxsfx = max(sf(1,:));
minsfy = min(sf(2,:));maxsfy = max(sf(2,:));
[XI,YI] = meshgrid(minsfx:maxsfx,minsfy:maxsfy);
ZI = griddata(sf(1,:),sf(2,:),sf(3,:),XI,YI);
surf(XI,YI,ZI);Shading interp %重建水下冲刷地形

```

2 实例分析

为验证本文所述方法的可行性,在模型试验中进行了一系列应用与验证.图5是采用本系统对某河工模型试验的水下地形冲刷过程进行实际监测、利用不同时刻的监测数据重构冲刷地形.图6为某新型管桩潜坝模型试验,工程附近局部冲刷地形照片(图6(a))与本系统监测数据的地形数值模拟再现(图6(b)),可以看出监测数据很好地反映了工程附近河床局部变形的特点,具有很高的模拟精度.

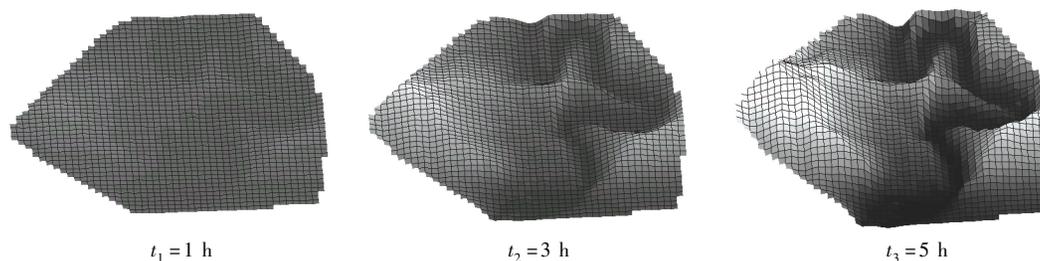


图5 水下地形冲刷过程的重建

Fig.5 Scouring process rebuilding of underwater topography

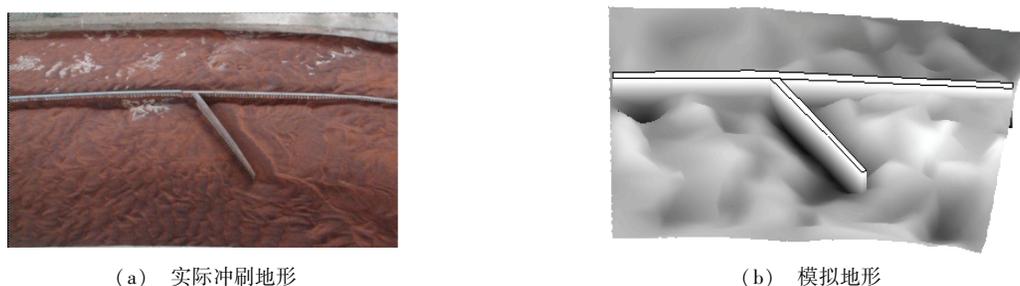


图6 冲刷地形比较

Fig.6 Comparison of topography scouring

水下地形数据的采集速度影响到监测数据采集的时间间隔,数据采集速度越快,对水下地形冲刷过程的还原就越好.本文就数据采集速度与拓普康全站仪(GPT-3000N)进行了比较,结果见表2.

表2 速度对比分析

Tab.2 Velocity comparison

名称	点数/ 个	耗时/ s	速度/ (个·s ⁻¹)	平均速度/ (个·s ⁻¹)	名称	点数/ 个	耗时/ s	速度/ (个·s ⁻¹)	平均速度/ (个·s ⁻¹)
全站仪 (GPT-3000N)	128	844.8	0.15	0.19	摄像头 (SONICA SCC-380)	635	2.9	219	268.19
	101	525.2	0.19			584	2.1	278	
	78	335.4	0.23			492	1.6	308	

从表2可见,全站仪数据采集速度远小于本文所述方法,这是因为全站仪是单点采集数据,而该系统是

线采集;更重要的是全站仪采集数据的大部分时间花费在数据储存上,而该系统则是先采集图像后处理数据,所以可节省时间、提高效率。

系统的测量精度受摄像头像素的影响,在同等清晰度条件下,像素或分辨率越大,越能体现出水下地形的细节部分。在实际应用中,并不是选用像素或分辨率越大的摄像头就越好,还应考虑镜头的质量和感光元件的性能。总之,要使采集的图像细节尽量清晰,才有助于提高图像识别的精度。

在清水及含沙量较少时,水体能见度较好,系统监测结果精度较高;随着含沙量的增加,水体能见度降低,监测精度受到影响;在激光不能照射到床面时,可以通过水下地形传感器采集床面上一些特征点的冲刷变化过程,辅助完成水下地形冲刷过程监测。在高含沙水流中,这种方法受到限制。

3 结 语

(1)引进医学图像处理与分析技术,借助线激光辅助得到水下地形轮廓线。经验证该方法可行,具有实用价值。

(2)使用图像采集方法采集数据、图像识别方法处理数据,可大大节省数据采集时间,提高效率,适宜于对动态过程的监测。

(3)监测系统误差主要来自摄像头的精度。另外,图像采集时的变形、水的折射与线激光的照射角度也对测量精度有一定影响。

(4)在清水及含沙量较少时,系统监测结果精度较高;含沙量较大时,可通过辅助方法取得床面特征点的变化过程,完成水下地形冲刷过程监测。

参 考 文 献:

- [1] 谢鉴衡. 河流模拟[M]. 中国水利电力出版社, 1990. (XIE Jian-heng. River models[M]. Beijing: China WaterPower Press, 1990. (in Chinese))
- [2] 华东水利学院. 模型试验量测技术[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984: 148-149. (East China Water Conservancy Institute. Measurement technology of model test[M]. Beijing: China WaterPower Press, 1984: 148-149. (in Chinese))
- [3] 唐洪武, 李瑾, 周浩祥. 光电反射式地形仪的研制及应用[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 1995, 23(1): 80-84. (TANG Hong-wu, LI Jing, ZHOU Hao-xiang. Development and application of photoelectric reflecting topographic apparatus[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 1995, 23(1): 80-84. (in Chinese))
- [4] 王锐. 河流动床模型激光三维扫描数据应用研究[D]. 南京: 河海大学, 2007. (WANG Rui. Research and applications of 3D scanning data of river models[D]. Nanjing: Hohai University, 2007. (in Chinese))
- [5] 蔡守允. 河流海岸模型测试技术[M]. 北京: 海洋出版社, 2004. (CAI Shou-yun. Measurement technology of river and coast models[M]. Beijing: Ocean Press, 2004. (in Chinese))
- [6] 刘树东, 田俊峰. 水下地形测量技术发展述评[J]. 水运工程, 2008(1): 11-15. (LIU Shu-dong, TIAN Jun-feng. Development of bathymographic survey technique[J]. Port & Waterway Engineering, 2008(1): 11-15. (in Chinese))
- [7] 王振先, 金欢阳. 实验室用超声地形测量仪[J]. 海洋工程, 2001, 19(1): 94-98. (WANG Zhen-xian, JIN Huan-yang. Development of ultra-acoustic topographic surveying meter for use in laboratory[J]. Ocean Engineering, 2001, 19(1): 94-98. (in Chinese))
- [8] 谭定忠, 邱英, 高明, 等. 基于 CCD 的激光扫描测距技术研究[J]. 半导体光电, 2010, 31(3): 485-487. (TAN Ding-zhong, QIU Ying, GAO Ming, et al. Research on laser scanning rangefinder based on CCD[J]. Semiconductor Optoelectronics, 2010, 31(3): 485-487. (in Chinese))
- [9] 林睿, 常鸿森, 保宗悌, 等. 光学图像识别技术的 MATLAB 仿真[J]. 云南师范大学学报: 自然科学版, 2004, 101(6): 36-40. (LIN Rui, CHANG Hong-sen, BAO Zong-ti, et al. Simulation of the optical image recognition by using MATLAB[J]. Journal of Yunnan Normal University (Natural Sciences Edition), 2004, 101(6): 36-40. (in Chinese))
- [10] 章鲁, 顾顺德, 陈瑛. 医学图像处理与分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006. (ZHANG Lu, GU Shun-de, CHEN

- Ying. Achieving disposal and analysis of medical image[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishing House, 2006. (in Chinese)
- [11] 李辉, 蒋秀明, 高殿斌, 等. Matlab 语言在数字图像中值滤波中的应用研究[J]. 天津工业大学学报, 2003, 22(1): 87-88. (LI Hui, JIANG Xiu-ming, GAO Dian-bin, et al. Application and study of Matlab in image median filtering[J]. Journal of Tianjin Institute of Polytechnic University, 2003, 22(1): 87-88. (in Chinese))
- [12] 骆永正, 聂咸或. 用参考点法建立地图扫描形变校正系统[J]. 南方冶金学院学报, 1999, 20(3): 139-142. (LUO Yong-zheng, NIE Xian-huo. The establishment of the system for deformation correction in map scanning by using the method of reference point[J]. Journal of Southern Institute of Metallurgy, 1999, 20(3): 139-142. (in Chinese))

Monitoring technology of scouring process of underwater topography based on image recognition

SUN Dong-po¹, XIE Feng², ZHANG Xian-qi¹, WANG Peng-tao¹

(1. North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450011, China; 2. Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: According to the development characteristics of underwater topography scouring process, the paper introduces medical image processing and analysis technique and puts forward the monitoring method of underwater topography scouring, which takes red line laser with 635 nm wavelength for auxiliary and MATLAB image recognition as basis. At the same time, the paper introduces the characteristics of this method such as non-contact, real-time and image recognition based on MATLAB and the creation method of digital terrain model (DTM) of underwater topography. Through the application and error analysis of this system, the results show that this system is very effective for the study of local scouring development during river model tests. And the system realizes real-time monitoring and dynamic analysis of underwater topography scouring process, which further proves that this system is well practical for river model test studies.

Key words: image recognition; underwater topography; scouring process; laser; monitoring