

视频图像振动测试技术应用研究*

黄文,袁向荣,刘超,胡朝辉

(广州大学 土木工程学院,广东 广州 510006)

摘要:介绍了基于普通 USB 数码摄像头与 PC 机作为硬件设备的视频图像振动测试技术,并采用该技术识别了索模型的一阶、二阶模态参数。基于 Matlab 软件编制相应程序,获取结构振动的位移时程曲线,采用模态分析确定索模型的一阶、二阶频率以及相应的振型。试验结果表明,该测振系统实现低频结构的振动测试是可行的,同时可以逐步应用于工程实际。

关键词: 视频图像;多项式拟合;索模型;振动测试;索力测量

中图分类号: TN911.7; TU311

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)22-0062-03

The research and application of video image technology in vibration test

Huang Wen, Yuan Xiangrong, Liu Chao, Hu Zhaohui

(School of Civil Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: This paper introduces the video image vibration testing technique based on common USB digital camera and PC. The first-order modal and second-order modal parameters of the cable model are also identified adopting the video image vibration testing technique. Based on Matlab software, the program is developed to obtain structural vibration displacement-time curves. And the cable model of the Multi-stage frequency and mode shapes are determined using modal analysis. The test results show that the vibration testing technique is feasible for low frequency vibration system, and also it can be gradually applied to engineering practice.

Key words: digital video; polynomial fitting; cable model; vibration testing; cable force measurement

在工程实际使用过程中,拉索往往由于腐蚀和振动等原因导致索力松弛,拉索的损害将会给结构带来灾难性的后果。索力的变化会影响结构内力分布和结构线型,因此索力可以作为结构健康状态评估的重要指标。目前可供现场测定索力的方法主要有:(1)压力表测定法;(2)压力传感器测定法;(3)频率法;(4)磁通量法;(5)光纤光栅振动测试法。其中频率法是目前索力测试的最佳选择^[1]。

图像测量技术^[2]具有表面全尺度、非接触式、无负载效应、环境适应性强、重复可比性好、无设备损耗等优点,不仅适用于静态测量,也适用于动态测量,还可进行全域高密度检测。近年来数字图像测量技术迅速发展,例如有刘敏^[3]提出的结构一维大变形识别的数字图像边缘检测法;袁向荣^[4]提出的结构边缘变形检测一维 DIC 法,其边缘识别精度可达到 0.05 像素;胡朝辉^[5]提出的视频图像技术的结构振动测试。

本文基于数字图像测量技术,用普通数码摄像头、

PC 机作为硬件设备,结合 Matlab 软件完成了视频图像振动测试的系统设计,并且采用该测试系统在实验室实现了索模型的振动测量。试验结果表明,采用该测振系统对低频结构的振动测量是可行的,并且在适当的安排下可以测得结构的高阶模态参数。

1 视频图像振动测试系统简介

视频图像振动测试是基于图像测量技术的一种新的振动测试方法,相比常规振动测试方法,利用视频图像传感器进行振动测试^[6]是通过图像传感器实时拍摄并记录被测对象振动状态下的一系列瞬时图像,然后对图像进行数字化处理,最后获得被测对象的一系列振动信息,并以此获得被测对象的振动轨迹。具体测试流程如图 1 所示。

提高图像测量精度的关键技术是边缘的定位方法,早期流行的经典边缘检测算子^[7]提取的边缘精度为整像素,因此只能判断边缘在某个像素点处,但是对更准

* 基金项目:国家自然科学基金项目(51078093);西南交通大学牵引动力国家重点实验室开放项目(TPL1001)

技术与方法

Technique and Method

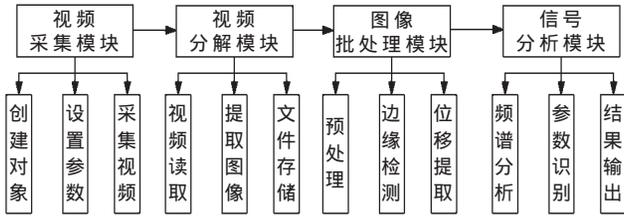


图1 测试流程图

确的位置便不能够判断了。随着所需测量精度的提高,整像素级精度已经不能满足实际测量的要求。因此高精度的亚像素边缘定位算法便被应用于其中,较为常用的如矩算子法^[8]、二次曲线拟合法^[9-10]、高斯曲线拟合法^[11]和多项式拟合法^[3]。其中多项式拟合法定位精度高、计算简单且易于实现,其基本思想是采用多项式函数拟合边缘灰度的变化趋势,数学表达式如下:

$$I(z) = c_0 + c_1z + c_2z^2 + \dots + c_nz^n$$

式中, z 为边缘附近像素点的位置, I 为 z 点处的灰度值, c_0, \dots, c_n 为拟和多项式中的系数,可通过最小二乘法来确定。

相比常规测试方法,多项式拟合法具有明显的优点:

(1)属于非接触式测量,无需在被测对象上安装传感器,没有任何负载效应,省去了传感器的安装和传输线布局等大量工作。

(2)只需配置多个摄像头而无需进行现场传感器的配线即可实现多点测试和线测试。

(3)传感器与测试系统可集中放置,图像信息可直接数字化,因此可方便地构成全自动全数字化振动测试处理、记录系统,信息量比传统方法大得多。

2 模型试验及结果分析

测量环境:光照良好,模型索表面光滑平整,索的两端固定,采用直径为2.2 mm、长3.5 m的单根不锈钢丝,刚度未知,均布质量为0.102 kg/m,摄像头测量距离1.1 m。由于无法改变摄像头焦距,测距太近拍摄的索过短,太远则会降低像素精度,综合考虑,本次试验只拍摄索的中间一段。试验简图如图2所示。



图2 试验简图

开始振动试验,待索振动稳定后进行视频采集,采样时间为5 s,帧数为150帧。利用Matlab程序处理图像序列^[5],测试结果列于表1中。获取各像素点的位移时程曲线和频谱图,其中部分如图3所示, x 轴对应时间间隔, y 轴对应像素点在该时刻的位移(单位:像素)。

表1 实测频率与阻尼比列表

像素点位置	实测频率 f_1/Hz	实测频率 f_2/Hz	一阶频率与二阶频率的比值
80	3.515 6	7.031 3	$\frac{f_2}{f_1} = 2.0$
160	3.515 6	7.031 3	
240	3.515 6	7.031 3	
320	3.515 6	7.031 3	
400	3.515 6	7.031 3	
480	3.515 6	7.031 3	
560	3.515 6	7.031 3	

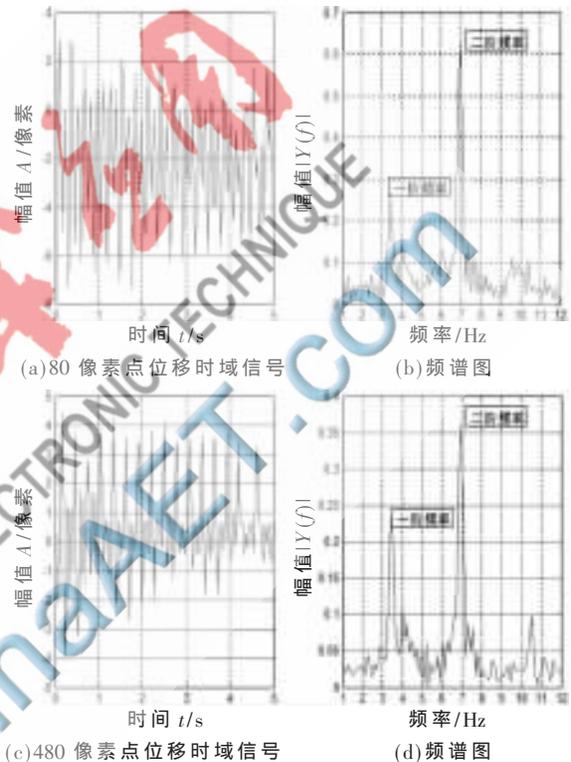


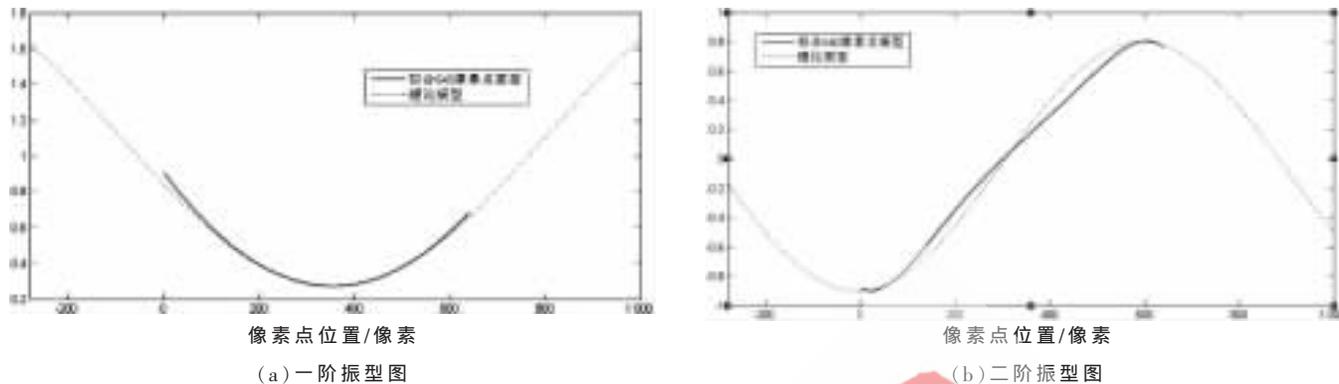
图3 部分像素点的位移时程曲线及频谱图

从表1可知,实测频率 $f_1=3.515\ 6\ \text{Hz}$, $f_2=7.031\ 3\ \text{Hz}$,二者的比值 $f_2/f_1=2.0$ 。因为摄像头的限制,大约只能拍摄到索的一半,根据振幅拟合识别出振型并不完整,但还是可以反映其基本趋势的。图4给出了拟合所有像素点得出的振型以及理论振型对比,其中实线所示为本次试验拟合振型,虚线为理论振型。从中可知其基本趋势还是一致的。故索力:

$$H = \frac{4ml^2f_n^2}{n^2} = 61.8\ \text{N}$$

通过对索的模型动载试验,经结果分析得出了以下结论:

(1)对于动态位移的测量,由本文方法测得的试验数据均较合理,试验均测出了对应索模型的一阶、二阶模态参数,一阶频率和二阶频率的测量值比值与理论值的比值误差较小,因此认为在适当的安排下,基于普通数码相机与PC机的测振技术可用于低频振动系统的测试,且可以通过测量得到二阶模态参数;



(2) 基于数字图像处理技术在振动测试中测试数据应用于索力测量是可行的,但还需进一步研究得到更精确的结果;

(3) 基于数字图像处理技术在振动测试中测试数据在空间密度方面远优于传统方法;对于结构高频、高阶的振动测试,可借助高速、高清图像采集设备,其测试分辨率有望得到提高。

参考文献

- [1] 林元培.斜拉桥[M].北京:人民交通出版社,1994.
- [2] 张红娜,王祁.图像测量技术及其应用[J].电测与仪表,2003,45(40):19-22.
- [3] 刘敏.数字图像处理技术在桥梁结构检测中的应用研究[D].广州:广州大学,2009.
- [4] 袁向荣.梁变形检测的一维数字图像相关法[J].广州大学学报,2010,9(1):54-56.
- [5] 胡朝辉.数字图像处理技术在桥梁结构振动测试中的应用研究[D].广州:广州大学,2010.
- [6] 廖立平.视频图像位移测试实验系统[J].湘潭大学自然科学学报,2004,2(26):88-91.

[7] 孙即祥.图像分析[M].北京:科学出版社,2004.

[8] TABATABAI A J, MITCHELL O R. Edge location to sub-pixel values in digital imagery[J].IEEE-PAMI, 1984, 6(2): 188-201.

[9] 苏翼雄,贺忠海,徐可欣,等.利用二次曲线拟合的 CCD 图像亚像素提取算法[J].计量技术,2003(7):3-7.

[10] 赵爱明.基于二次曲线拟合的图像亚像素边缘定位算法[J].哈尔滨理工大学学报,2006,11(3):68-70.

[11] Fu G K, MOOSA A G. An optical approach to structural displacement measurement and its application[J].Engineering Mechanics, 2002, 128(5): 511-520.

(收稿日期:2011-08-31)

作者简介:

黄文,男,1984年生,硕士,主要研究方向:桥梁结构振动分析与控制。

袁向荣,男,1957年生,教授,博士,主要研究方向:桥梁工程、结构工程检测数字图像法等。

刘超,男,1985年生,硕士研究生,主要研究方向:桥梁结构振动分析与控制。