

文章编号: 1001-4888(2023)05-0625-09

# 数字图像相关方法辅助的视频运动放大 改进方法及其在位移测量中的应用\*

丁彤, 田奎

(中国地质大学(北京)数理学院, 北京 100083)

**摘要:** 视频运动放大 (Video Motion Magnification, VMM) 方法因其能放大视频中的微小运动, 而受到工程测量领域的广泛关注。当放大微小运动的视频时, 若 VMM 方法中的时域滤波器参数设置不恰当, 放大后的视频容易产生图像伪影和噪声。为了克服传统方法中需要手动设置滤波器参数的缺点, 提出一种由数字图像相关 (Digital Image Correlation, DIC) 方法辅助的 VMM 改进方法。该方法的主要思想是由 DIC 方法计算图像位移并由此分析出运动主频, 然后将 VMM 方法中的时域滤波器参数设置在包含该运动主频的较窄区间范围内。这种参数设置方法可保证放大后的视频中保留图像细节且无明显伪影。室内多频运动实验以及室外单频运动实验的结果表明, 本文所提出的方法不需要反复手动设置参数试错, 可直接获得清晰的运动放大后视频, 并可进一步实现微小运动的位移测量。

**关键词:** 视频运动放大; 数字图像相关; 时域滤波器; 参数设置; 位移测量

**中图分类号:** TP301.6      **文献标识码:** A      **DOI:** 10.7520/1001-4888-22-277

## 0 引言

微小的运动一般难以被肉眼捕捉, 但是这些运动中往往包含着有价值的信息。通过视频运动放大 (Video Motion Magnification, VMM) 方法, 可以使微小运动可视化, 这类似于“运动的放大镜”。该方法是由美国麻省理工学院的 Freeman 团队提出的<sup>[1-8]</sup>, 它可以放大人眼不可见的微小运动, 通过对视频中感兴趣物体的微小运动进行放大处理从而获取有价值的信息。由于 VMM 方法具有可将微小运动可视化的显著优点, 在医学、结构工程、航空航天、军事等领域均得到了广泛的应用。在结构工程领域, 结构模态测量有多种接触式和非接触式方法。基于视频图像的方法因其高精度、低成本和易于安装等优势, 被普遍认为是结构模态测量的最佳选择。建筑结构的运动通常幅度微小, 难以直接观察, 尽管这种运动可以测量, 但在视频中难以直观呈现出来。通过对视频进行运动放大处理后, 可直接观察物体的运动特性, 也更易于测量物体的模态特性。

目前, 被广泛认可的 VMM 方法是由 Wadhwa 等<sup>[3]</sup>在 2013 年提出的基于相位的 VMM 方法, 该方法能够有效抑制噪声, 并且支持较大的放大倍数。国内外众多研究者<sup>[9-15]</sup>将该方法引入到结构模态测量实验中, 有效提高了由数字图像中获取位移数据的信噪比。VMM 方法需要手动设置时域滤波器参数, 虽然在很多应用场景中可凭经验设置参数, 但在结构模态测量实验中, 待测物体的中心频率未知, 因此难以实现对滤波器参数的准确设置。当参数设置不当时, 放大后的视频会形成较明显的伪影和模糊,

\* 收稿日期: 2022-11-06; 修回日期: 2022-12-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(12102402); 中央高校基本业务费项目(2652019016); 中国地质大学(北京)2021年度本科教育质量提升计划建设项目(JG202146)

通信作者: 田奎(1985-), 女, 博士, 副教授。主要从事数字图像相关方法及其应用研究。Email: tianl@cugb.edu.cn

也无法实现基于视频的一系列模态测量,研究者只能通过不断试错的方法反复设置参数,需要花费大量的时间成本。因此,为把 VMM 方法广泛推广到结构模态测量实验中,必须发展一种可有效设置时域滤波器参数的方法。数字图像相关(Digital Image Correlation, DIC)方法<sup>[18-22]</sup>由于具有测量精度高、抗干扰能力强和适用范围广等优点,已成为当前最受欢迎且应用最广泛的光测力学方法。相关研究者已将其成功应用于大型建筑的位移测量<sup>[23-25]</sup>,位移数据经傅里叶变换可得到运动的主频,而时域滤波器参数设置的通带就是包含主频的频率区间,因此,引入 DIC 方法可解决传统 VMM 方法中时域滤波器参数需要手动设置的问题。

本文提出一种由 DIC 方法辅助的 VMM 改进方法,并将其应用于结构位移测量实验。首先,分别介绍了 DIC 方法和 VMM 方法的基本原理;然后,阐述了本文方法的基本原理和具体流程;最后,室内多频运动实验和室外单频运动实验验证了本文方法的有效性以及将其应用于结构位移测量的可行性。

## 1 基本原理

### 1.1 VMM 方法

为了能直观地看到微小的运动,人们需要借助 VMM 方法对微小运动进行精密的计算,并根据速度矢量来改变视频帧,以达到放大局部微小运动的目的。VMM 方法因具有广阔的应用前景而被深入研究<sup>[9-17]</sup>。该方法在 2013 年被美国《Science》杂志提名为过去 10 年将科学研究成果带入人们生活的重要发现之一<sup>[4]</sup>。基于相位的 VMM 方法是一种基于复值可操作金字塔的运动分析方法,通过对金字塔中的相位图进行时域滤波和放大处理,可达到放大微小运动的目的。相比于早期的欧拉线性 VMM 方法,基于相位的方法通过计算局部的相位变化对运动进行放大,降低了运动放大过程中同时放大噪声的可能,并拥有更好的鲁棒性,同时也支持更大的放大倍数。



图 1 基于相位的 VMM 方法流程图

Fig. 1 Flow chart of phase-based VMM method

如图 1 所示,基于相位的 VMM 方法首先对视频做空间分解,即创建复值可操纵金字塔,在不同空间尺度和方向的金字塔上计算局部相位,以分离出局部小波的相位和幅度;然后对局部相位采用傅里叶级数分解,可得到单频复正弦函数的和:

$$f(x + \delta(t)) = \sum_{\omega=-\infty}^{\infty} A_{\omega} e^{i\omega(x + \delta(t))} \quad (1)$$

式中:  $f$  为图像灰度;  $\delta(t)$  为位移响应函数;  $\omega$  为每一个子带对应的频率,单一频率  $\omega$  对应的子带正弦函数为  $A_{\omega} e^{i\omega(x + \delta(t))}$ ,其中所包含的相位信息  $\omega(x + \delta(t))$  经过时域带通滤波,利用直流平衡滤波器消除相位信息中的直流分量  $\omega x$ ,放大  $\alpha$  倍后加回到对应子带正弦信号中,从而得到放大后的信号:

$$f(x + (1 + \alpha)\delta(t)) = \sum_{\omega=-\infty}^{\infty} A_{\omega} e^{i\omega(x + (1 + \alpha)\delta(t))} \quad (2)$$

式(2)是输入信号放大  $(1 + \alpha)$  倍后的结果。最后,对复值可操纵金字塔逆变换即视频重构,输出运动放大后的视频。

图 1 中的“时域滤波”是基于相位的 VMM 方法流程中的重要步骤,它决定了放大后视频的主要频段,为滤波器选择恰当的参数可使放大后视频清晰无伪影。在 VMM 方法的很多应用领域中,运动主频通常是已知的,可根据以往经验对参数进行手动设置,然而,在结构模态测量实验中,由于运动主频未知,只能通过反复试错的方法设置滤波器参数,因此本文将就 VMM 方法中的时域滤波器参数设置问题开展研究。

### 1.2 DIC 方法

DIC 方法<sup>[21]</sup>通过匹配变形前后图像中对应的图像子区获得各待测点的位移,原理如图 2 所示。以

参考图像中待计算点  $(x_0, y_0)$  作为中心的  $(2M+1) \times (2M+1)$  图像子区, 根据相关性最大原则, 使用特定搜索算法在变形图像中找到以  $(x_0', y_0')$  为中心的一个图像子区, 从而确定该计算点在  $x$  和  $y$  方向的位移分量  $p$ 。

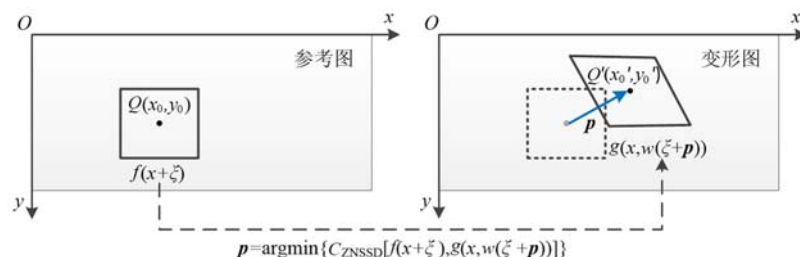


图 2 DIC 原理图

Fig. 2 DIC schematic diagram

一般选取抗干扰能力强的零均值归一化最小平方距离函数 (Zero-normalized sum of squared differences, ZNSSD) 作为相关函数<sup>[22]</sup>。ZNSSD 相关函数是目前使用频率最高的匹配准则函数, 其表达式如下:

$$C_{ZNSSD} = \sum_{\xi} \left[ \frac{f(x + \xi) - f_m}{\sqrt{\sum_{\xi} (f(x + \xi) - f_m)^2}} - \frac{g(x + w(\xi + p)) - g_m}{\sqrt{\sum_{\xi} (g(x + w(\xi + p)) - g_m)^2}} \right]^2 \quad (3)$$

式中:  $f(x)$  和  $g(x)$  分别表示参考图和变形图在  $x = (x, y, 1)^T$  处的灰度值;  $f_m = \frac{1}{(2M+1)^2} \sum_{\xi} f(x + \xi)$ ,  $g_m = \frac{1}{(2M+1)^2} \sum_{\xi} g(x + w(\xi + p))$  分别为参考图子区和变形图子区的平均灰度值;  $\xi = (\Delta x, \Delta y, 1)^T$  为每个图像子区中像素点的局部坐标;  $w(\xi + p)$  为变形函数, 在 DIC 方法中也称为位移映射函数, 描述变形图子区相对于参考图子区的位置和形状。当相关函数  $C_{ZNSSD}$  取最小值时, 变形前后图像的相关性最大, 从而可计算图像位移。

利用 DIC 方法计算图像中待测点的位移, 并通过对位移数据进行傅里叶变换, 以分析待测点的运动频率分布。为了解决 VMM 方法中时域滤波器参数设置困难的问题, 本文将 DIC 方法作为 VMM 方法的辅助。

### 1.3 DIC 辅助的 VMM 改进方法

DIC 辅助的 VMM 改进方法可直接计算出滤波器参数, 避免了盲目设置滤波器参数, 从而也提高了 VMM 方法的实用性。本文所提方法如图 3 所示, 与原 VMM 方法相比, 该方法增加了“计算位移”和“分析频率”两个流程。具体来说, “位移计算”是使用 DIC 方法计算图像中目标点的位移; “分析频率”

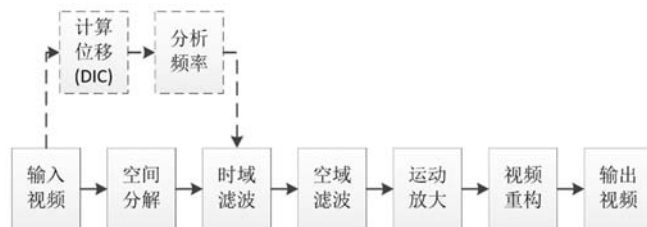


图 3 DIC 辅助的 VMM 改进方法流程图

Fig. 3 Flow chart of the improved VMM method assisted by DIC

是对目标点位移数据做傅里叶变换分析频率获得主频  $f$ , 然后设置 VMM 方法中的时域滤波器频率通带为  $[f - \frac{f}{2}, f + \frac{f}{2}]$ 。这两个流程应在“时域滤波”之前, 与“空间分解”的顺序不限或者可以同步进行, 该方法中的其他流程与原 VMM 方法相同。

本文方法增加了两个流程作为“时域滤波”的预处理步骤, 可有效解决 VMM 方法中需要根据经验

手动设置时域滤波器参数的问题。恰当地设置时域滤波器参数可使运动放大后的视频图像清晰无伪影,为进一步计算结构位移等相关信息提供了数据保障。

## 2 实验验证

为检验本文方法的有效性,设计了室内多频运动和室外单频运动两组实验。在室内室外实验中均要对待测点的位移和频率进行详细分析,量化对比实验效果。室内实验是由精密位移平台控制的多频运动测量实验,实验中视频采集系统的主要部件为工业相机(型号:大恒 MER2-160-227U3M,分辨率:1140×1040,帧率:60fps)和镜头(型号:KOWALM100JC,焦距:100mm)。精密位移平台可以精确控制平台上滑块的运动轨迹,位移定位精度为 0.01mm。室外实验的素材来源于网络,为虎门大桥涡振现象的网络视频<sup>[14]</sup>。

### 2.1 室内多频运动实验

在真实的位移测量场景中,目标点往往会产生多频运动,但是真实场景中的未知因素过多,不利于对本文方法的验证。因此,设计了一组由精密位移平台控制的室内多频运动实验,以验证本文方法对多频运动的有效性,实验现场如图 4 所示。为抑制室内照明光变化对测量结果的影响,实验采用 LED 灯作为待测目标。将 LED 灯紧密黏贴在位移平台的滑块上,保证运动轨迹与滑块一致。视频采集系统放置在距离精密位移平台 12.07m 的位置。实验的具体过程分为三个运动阶段,第一段运动为滑块上下往复运动,每次移动距离为 0.05mm,往复运动 10 次。随后加速向下移动 0.60mm 后,滑块进行第二段运动,每次上下往复 0.10mm 的移动,持续 100 次。滑块向上移动 0.60mm 后开始第三阶段运动,每次上下往复移动 0.05mm,持续 10 次,该阶段运动与第一段相同。在滑块运动过程中记录各段的运动时间,计算出各段真实振动频率。在第一段运动中,滑块运动时间为 40s,频率为 0.25Hz。滑块在第二段的运动时间为 40s,频率为 2.50Hz。在实验过程中,为了准确提取被测 LED 灯的垂直位移,在采集图片中选取以 LED 灯为中心的 31pixel×31pixel 的图像子区进行 DIC 计算。然后,对实时跟踪的 LED 灯垂直位移做傅里叶变换,分析运动的频率特性,根据结果设置 VMM 的时域滤波器参数。测量到的滑块位移曲线如图 5(a)所示,该曲线与位移平台设置的滑块运动轨迹相吻合。

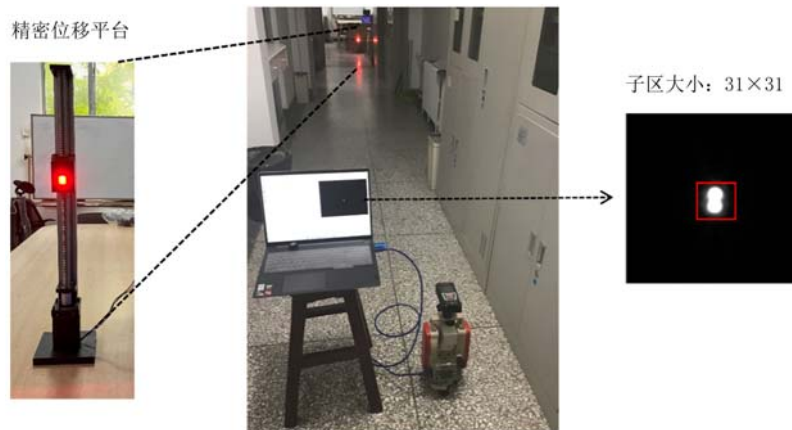


图 4 室内多频运动实验现场图(单位:pixel)

Fig. 4 Indoor multi-frequency motion experiment view(unit: pixel)

为了设置时域滤波器参数,应对 DIC 方法测得的垂直位移进行频谱分析。在图 5(a)中的曲线明显分为三个运动阶段,展示出了多频特性。为获得各阶段准确的运动主频,在整体频谱分析后,还可进行分段的频谱分析。由于第三段与第一段具有相同的运动特性,故仅针对第一、第二段数据进行频谱分析。如图 5(b)所示,频率曲线在零点附近存在峰值并在 2.00Hz 到 3.00Hz 之间存在局部最大值,多频运动实验对整体数据进行频谱分析,会使局部频率特性不显著,因此,需要针对不同的频率波段进一步分析;对位移曲线中的第一段运动进行频谱分析可得到主频为 0.28Hz,如图 5(c)所示,第二段的运动主频为 2.51Hz,如图 5(d)所示。在完成主频分析以后,将各主频设置为时域滤波器的中心频率,结果

见表 1。

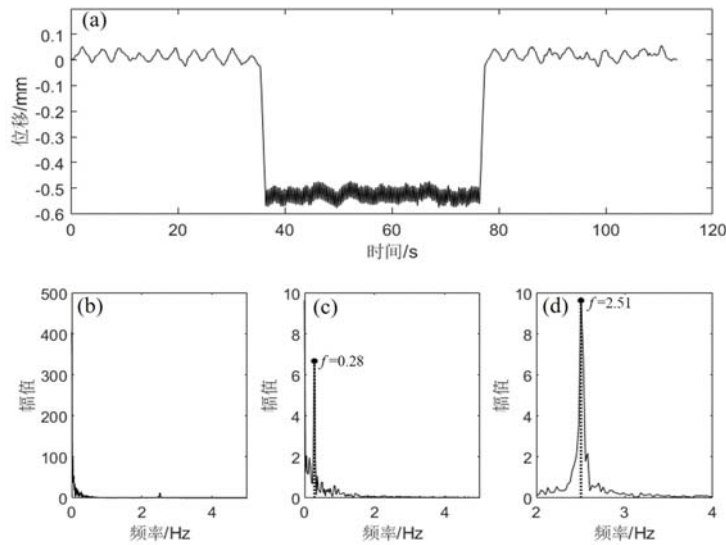


图 5 LED 灯垂直位移曲线及频谱分析图:(a)位移曲线图;(b)整体运动过程频谱分析图;  
(c)第一段运动过程频谱分析图;(d)第二段运动过程频谱分析图

Fig. 5 Vertical displacement curve and spectrum analysis of LED ((a) displacement curve, (b) spectrum analysis of the overall motion process, (c) spectrum analysis of the first segment motion process, (d) spectrum analysis of the second segment motion process)

表 1 本文方法中的频率参数与真实振动频率对比表(单位:Hz)

Tab. 1 The frequency parameters of the method in this paper and real vibration frequency comparison table (unit: Hz)

运动阶段	真实振动频率	本文方法	
		DIC 测得主频	设置 VMM 时域滤波器通带
第一段	0.25	0.28	0.14~0.42
第二段	2.50	2.51	1.26~3.77

由表 1 可知,LED 灯的真实振动频率与本文方法中所获取的主频相差较小,而且 VMM 时域滤波器通带将真实振动频率包含在其中,验证了参数设置方法的有效性。为达到清晰无伪影的运动放大效果,VMM 时域滤波器的通带应包含真实振动频率,还应具有较窄的带宽。DIC 方法是一种高精度、高效率的图像位移测量方法。通过傅里叶变换,我们能够准确分析 DIC 方法获得的高精度位移数据的频率特性,从而保证了本文方法中时域滤波器参数的可靠性。

实验中将运动放大因子设置为 20 倍,为了直观地观察实验效果,对水平方向的放大前后视频提取 X-t 时空切片图。图 6(a)所示为视频中的第一帧图像目标点附近区域,图中横线标识为待分析像素行;图 6(b)为原视频所在像素行的 X-t 时空切片图;图 6(c)为放大后视频的 X-t 时空切片图;图 6(d)、(e)分别为(b)、(c)中框选部分的局部放大图。在本文实验中,虽然只设置了垂直方向运动,但是精密位移平台中步进电机的周期性运动会引起水平方向发生微小运动,与图 6(e)中的水平运动规律相吻合。

为了充分验证本文方法的有效性,对放大后重构的视频再次使用 DIC 方法计算垂直位移,并转化为真实位移。如图 7 所示,时间位移曲线与实验预设的运动趋势一致,并且比原视频测得曲线的细节更丰富。由图 7 可见放大后视频与原视频中的目标点保留了相同的运动特性,可将放大后视频应用于图像位移计算。另外,相比于使用时空切片图的观察法,测量目标点的位移可量化运动放大效果,使结果更令人信服。

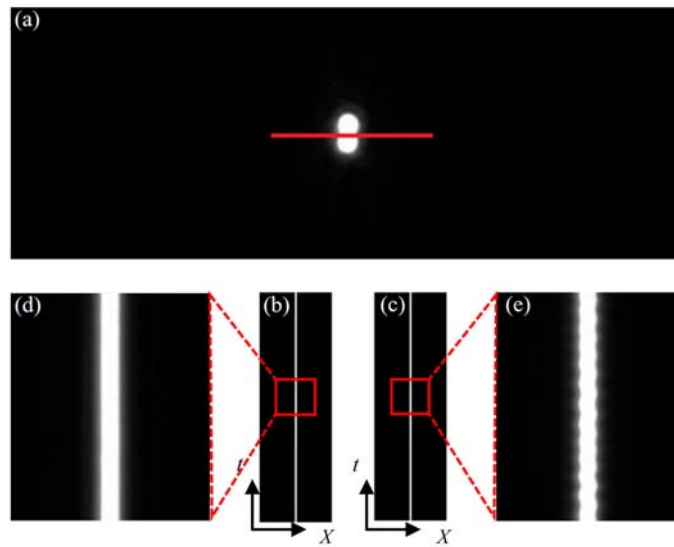


图6 目标点运动放大前后对比图

Fig. 6 Comparison of before and after motion magnification of target

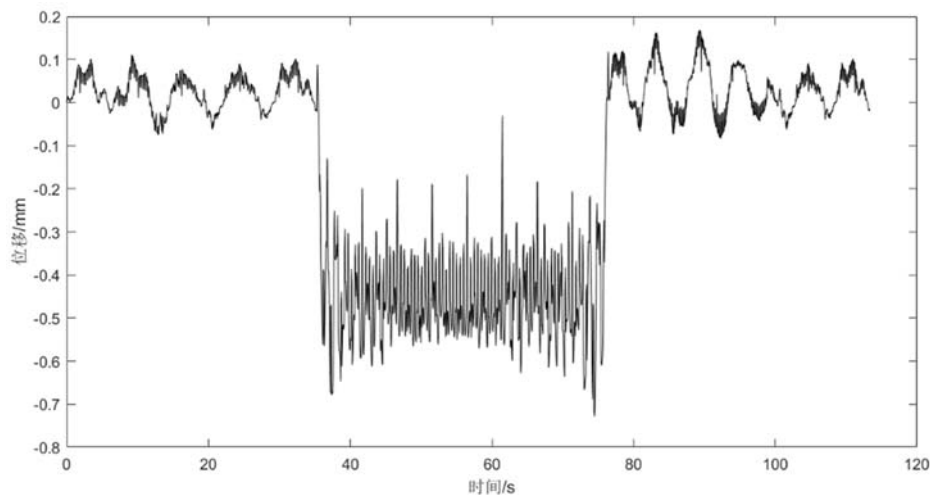


图7 目标点运动放大后的位移曲线

Fig. 7 Displacement curve of target motion after magnification

## 2.2 室外单频运动实验

由于室外多频运动实验中的未知运动参数过多,不利于方法的对比验证,因此为验证本文方法可推广到室外的真实实验场景,实验分析了典型的桥梁单频运动视频。实验素材为2020年5月虎门大桥涡振现象采集视频,数据来源于网络 [www.bilibili.com](http://www.bilibili.com) (编号: B767-400ER, 分辨率:  $852 \times 480$ , 帧率: 30fps)。由于该视频的标定信息未知,故在实验中未将图像位移转化为真实位移。实验视频截图如图8(a)所示,选取大桥侧面跨中的矩形区域为待测目标点的DIC计算子区。由DIC方法测得该目标点的图像位移曲线如图8(b)所示,曲线呈现出明显的周期性特征,图8(c)为对图8(b)中图像位移的频谱分析结果。

如图8(c)所示,幅值最大的频率为0.30Hz,即虎门大桥上目标点的振动主频为0.30Hz,由此可以设置时域滤波器通带为0.15Hz到0.45Hz。文献[14]显示虎门大桥在发生涡振现象时的频率为0.37Hz。由表2可知,本文方法测得频率与文献[14]中的频率基本吻合,所设置的时域滤波器通带包括实际振动频率,采用本文方法可以得到一个较窄的频率通带,从而达到抑制运动放大后视频噪声的效果。

在设置滤波器参数后,将视频运动放大倍数设置为8倍。为展示放大效果,对视频中目标点区域垂直方向的一列像素点做Y-t时空切片。图9(a)为原视频的第320帧局部图像,图中直线标识为第275

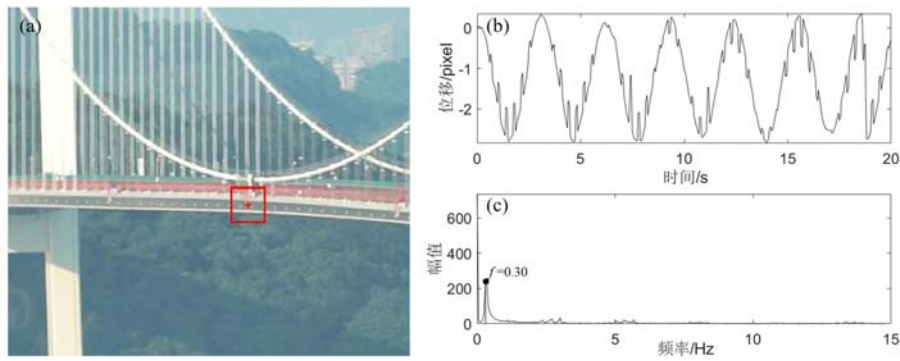


图 8 虎门大桥目标点位移曲线及频谱分析图:(a)待测图像及目标点位置;(b)目标点位移曲线图;(c)频谱分析图

Fig. 8 Displacement curve and spectrum analysis of target in Humen Bridge: (a)image to be measured and target location; (b)displacement curve of target; (c)spectrum analysis

列像素;图 9(b)为原视频的第 275 列像素的 Y-t 时空切片图;图 9(c)为放大后的第 320 帧局部图像;图 9(d)为放大后的第 275 列像素的 Y-t 时空切片图。图 9(d)与图 9(b)相比,垂直方向的运动被显著放大,达到了直观的运动放大效果。

表 2 本文方法的频率参数与参考频率对比表(单位:Hz)

Tab. 2 The frequency parameters of the method in this paper and the reference frequency comparison table (unit: Hz)

参考频率 <sup>[14]</sup>	本文方法	
	DIC 测得主频	设置 VMM 带通频率
0.37	0.30	0.15~0.45

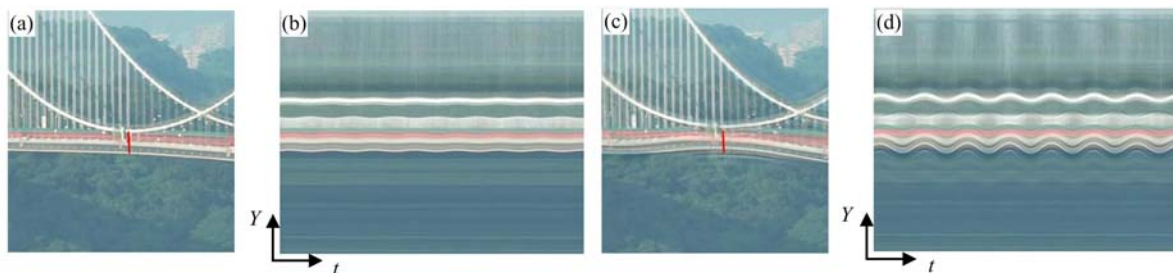


图 9 虎门大桥运动放大前后对比图:(a)原视频截图;(b)原视频 Y-t 时空切片图;

(c)放大后视频截图;(d)放大后视频 Y-t 时空切片图

Fig. 9 Comparison of before and after motion magnification of Humen Bridge:(a) screenshots of the original video;

(b) Y-t space-time slice diagram of the original video;(c) screenshot of the video after magnification;

(d) Y-t space-time slice diagram of the video after magnification

在重构的放大后视频中,选择与原视频中目标点相同的区域作为 DIC 计算子区,计算目标点的图像位移,结果如图 10 所示。与原视频的目标点位移曲线相比,图 10 中振幅明显增大,且噪声明显减少,运动趋势更加清晰。由此可见,运动放大后的视频不仅可用于观察,还可使位移测量更准确。通过对虎门大桥涡振视频的实验分析,印证了本文方法在室外真实测量场景中的有效性和应用价值。

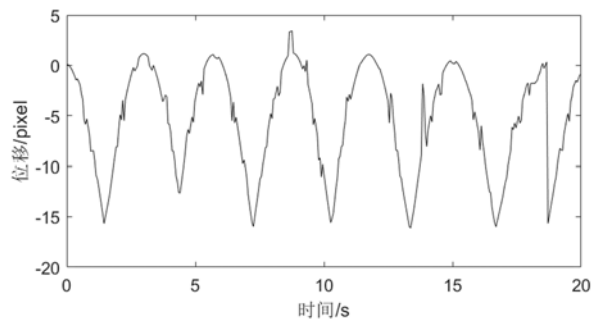


图 10 虎门大桥目标点放大后的位移曲线图

Fig. 10 Displacement curve of target in Humen Bridge after motion magnification

### 3 结 论

为解决 VMM 方法中的时域滤波器参数需要人工设置的问题,本文提出了一种由 DIC 辅助的 VMM 方法。以往凭借经验设置时域滤波参数,需要进行反复试错,大大降低了 VMM 的可执行度。由 DIC 辅助的 VMM 方法可直接计算得到准确的时域滤波器参数,从而获得清晰的放大后的视频。值得注意的是,通过分析放大后的视频,还可实现位移计算精度的提高,室内多频运动实验和室外单频运动实验证实了本文方法的有效性以及将其应用于结构位移测量的可行性。

#### 参考文献:

- [1] Liu C, Torralba A, Freeman W, et al. Motion magnification[J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2005, 24(3): 519–526.
- [2] Wu H Y, Rubinstein M, Shih E, et al. Eulerian video magnification for revealing subtle changes in the world[J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2012, 31(4):1–8.
- [3] Wadhwa N, Rubinstein M, Frédo Durand, et al. Phase-based video motion processing[J]. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 2013, 32(4):1–10.
- [4] Rubinstein M, Wadhwa N, Durand F, et al. Revealing invisible changes in the world[J]. *Science*, 2013, 339(6119):519–519.
- [5] Wadhwa N, Rubinstein M, Durand F, et al. Riesz pyramids for fast phase-based video magnification[C]. 2014 IEEE International Conference on Computational Photography (ICCP), IEEE, 2014.
- [6] Elgharib M A, Hefeeda M, Durand F, et al. Video magnification in presence of large motions[C]. *Computer Vision & Pattern Recognition*, IEEE, 2015.
- [7] Oh T H, Jaroensri R, Kim C, et al. Learning-based video motion magnification[C]//European Conference on Computer Vision. Springer, Cham, 2018:663–679.
- [8] Wadhwa N, Chen J G, Sellon J B, et al. Motion microscopy for visualizing and quantifying small motions[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2017, 114(44):11639–11644.
- [9] Chen J G, Wadhwa N, Cha Y J, et al. Modal identification of simple structures with high-speed video using motion magnification[J]. *Journal of Sound and Vibration*, 2015, 345:58–71.
- [10] Davis A, Bouman K L, Chen J G, et al. Visual vibrometry: estimating material properties from small motions in video[C]. 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE, 2015.
- [11] Sarrafi A, Mao Z, Niezrecki C, et al. Vibration-based damage detection in wind turbine blades using phase-based motion estimation and motion magnification[J]. *Journal of Sound & Vibration*, 2018, 421:300–318.
- [12] Eitner M, Musta M, Vanstone L, et al. Modal parameter estimation of a compliant panel using phase-based motion magnification and stereoscopic digital image correlation[J]. *Experimental Techniques*, 2020, 45(3):287–296.
- [13] Dms A, Sw B, Yf A. Noncontact operational modal analysis of light poles by vision-based motion-magnification method[J]. *Engineering Structures*, 2021, 244(10):112728.1–112728.14.
- [14] 李得睿. 基于数字图像相关与视频运动放大技术的结构形变测试[D]. 长沙:湖南大学, 2020:45–79 (LI Derui. Structural deformation test based on digital image correlation and video motion magnification[D]. Changsha: Hunan University, 2020:45–79 (in Chinese))
- [15] 蔡恩健. 机器视觉运动放大及其在结构模态参数识别中的应用研究[D]. 大连:大连理工大学, 2020:9–22 (CAI Enjian. Video motion amplification and its application in modal identification of structures[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2020:9–22 (in Chinese))
- [16] 雷林, 李乐鹏, 杨敏, 等. 基于 S 变换的非平稳微小运动自动放大[J]. *计算机应用*, 2017, 37(5):1460–1465 (LEI Lin, LI Lepeng, YANG Min, et al. Non-stationary subtle motion magnification based on stransform[J]. *Computer Applications*, 2017, 37(5):1460–1465 (in Chinese))
- [17] 雷林, 李乐鹏, 李准, 等. 自动检测及放大视频中的微小运动[J]. *小型微型计算机系统*, 2016, 37(9):2120–2124 (LEI Lin, LI Lepeng, LI Zhun, et al. Automated detection and magnification of small motion in videos[J]. *Small Microcomputer Systems*, 2016, 37(9):2120–2124 (in Chinese))



- [18] Pan B, Qian K, Xie H M, et al. Two-dimensional digital image correlation for in-plane displacement and strain measurement: a review[J]. *Measurement Science & Technology*, 2009, 20(6):152–154.
- [19] 王博, 俞立平, 潘兵. 数字图像相关方法中匹配及过匹配形函数的误差分析[J]. *实验力学*, 2016, 31(3):291–298 (WANG Bo, YU Liping, PAN Bing. On the error analysis of matched and overmatched shape function in digital image correlation method[J]. *Journal of Experimental Mechanics*, 2016, 31(3):291–298 (in Chinese))
- [20] 俞立平, 潘兵. 使用单彩色相机的单相机三维数字图像相关方法[J]. *实验力学*, 2017, 32(5):687–698 (YU Liping, PAN Bing. Single-camera three-dimensional digital image correlation using a single color camera[J]. *Journal of Experimental Mechanics*, 2017, 32(5):687–698 (in Chinese))
- [21] Pan B. Digital image correlation for surface deformation measurement: historical developments, recent advances and future goals[J]. *Measurement Science & Technology*, 2018, 29(8):082001.
- [22] Pan B, Xie H M, Wang Z. Equivalence of digital image correlation criteria for pattern matching [J]. *Applied Optics*, 2010, 49(28):5501–5509.
- [23] Pan B, Tian L, Song X L. Real-time, non-contact and targetless measurement of vertical deflection of bridges using off-axis digital image correlation[J]. *NDT & E International*, 2016, 79:73–80.
- [24] Tian L, Pan B. Remotebridge deflection measurement using an advanced video deflectometer and actively illuminated LED targets[J]. *Sensors*, 2016, 16(9):1344.
- [25] Junhwa L, Kyoung-Chan L, Soojin C, et al. Computervision-based structural displacement measurement robust to light-induced image degradation for in-service bridges[J]. *Sensors*, 2017, 17(10):2317.

## **An improved video motion magnification method assisted by the digital image correlation method and its application in displacement measurement**

DING Tong, TIAN Long

(School of Science, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** Video Motion Magnification (VMM) has attracted extensive attention in the field of engineering measurement because of its ability to magnify tiny motion in video. When the video with small motion is magnified, if the time domain filter parameters are not set properly in VMM, the magnified video is prone to produce image artifacts and noise. In order to overcome the shortcomings of traditional methods that require manual setting of filter parameters, an improved VMM method assisted by Digital Image Correlation (DIC) method is proposed. The main idea of this method is to calculate the image displacement by DIC method, analyze the motion master frequency, and then set the parameters of VMM time-domain filter in a narrow range including the motion master frequency. This parameter-setting method can ensure that the image details are preserved in the magnified video without obvious artifacts. The results of indoor multi-frequency motion experiments and outdoor single-frequency motion experiments show that the method proposed in this paper can directly obtain clear video after motion magnification without repeatedly setting parameters manually, and further realize the displacement measurement of small motion.

**Keywords:** video motion magnification; digital image correlation; time domain filter; parameter setting; displacement measurement