

天馈伺系统

用加速度传感器测量振动位移的方法^{*}刘继承¹, 徐庆华², 查建新¹

(1 南京电子技术研究所, 南京 210013)

(2 南京航空航天大学振动工程研究所, 南京 210016)

【摘要】 介绍了一种用加速度传感器测量振动位移信号的方法。该方法采用频谱转换法, 首先将加速度谱转换成位移谱, 再计算出位移谱中每个频率分量对应的幅值、圆频率和初相角, 最后对各位移分量进行叠加得到振动位移的时间历程。验证试验结果表明该方法可行, 精度可满足工程实践的需要。

【关键词】 振动; 加速度; 位移; 频谱

中图分类号: TN 820 文献标识码: A

Method of Vibration Displacement Measured with Acceleration Sensor

LU Ji-cheng¹, XU Qing-hua², ZHA Jian-xin¹

(1 Nanjing Research Institute of Electronics Technology, Nanjing 210013, China)

(2 Institute of Vibration Engineering Research, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

【Abstract】 Method of vibration displacement measured with acceleration sensor is introduced. Based on frequency-spectrum-transformation, this algorithm first changes acceleration spectrum into displacement spectrum, then calculates its amplitude, angular frequency and initial angle related to every displacement spectrum, finally sums up all the displacement components and forms the time course of the measured vibration. Verifying test results show that the algorithm is feasible and its precision meets the needs of engineering practices.

【Key words】 vibration; acceleration; displacement; frequency spectrum

0 引言

振动位移的准确测量在工程实践中具有非常重要的意义。例如: 雷达工作时, 需要对雷达天线阵面在振动环境下的位移响应(平面度)进行实时监测以对雷达目标的方位精度进行评估。振动位移的测试方法主要有两种: 一种是非接触式测量, 利用位移传感器如涡流传感器、光纤传感器、激光多普勒测振仪等直接测出结构的振动位移^[1-2]。这种方法具有测量精度高、频带宽的优点, 但该方法要求在被测点附近必须有可安装传感器的刚性基础, 且测得的振动位移是传感器与被测点之间的相对位移。另一种是接触式测量, 将加速度传感器直接安装在结构需要测量的部位, 测得该点的加速度, 然后将加速度信号两次积分后得到振动位移信号^[3]。该方法简单方便, 得到的振动位移为绝对位移。但由于测试上的原因, 所测得的加速度信号均值可能不为零, 经二次积分后, 位移振幅值将产生严重偏移趋势项, 极大地影响了测量的准确程度。虽

然零均值处理可以在一定程度上改善这种情况, 但由于在采样的一个样本中一般包含多个信号周期, 信号总体上实现零均值化后, 局部均值不为零的情况仍会造成位移振幅值的偏移。本文采用频谱转换法, 将加速度谱转换成位移谱来测量振动位移信号的方法。

1 频谱转换法原理

信号的时域、频域分析从不同的角度揭示了信号的物理特征, 傅里叶变换是信号从时域向频域转换的有力工具。

一样本长度为 T 的时域信号 $x(t)$ 经数据采集后, 形成离散数据 $x(n)$ 。如果在时间 T 内采集 N 个数据, 则 $x(t)$ 归一化的离散傅里叶变换 (DFT) 为

$$X(k) = \text{DFT}[x(n)] = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j\left(\frac{2\pi}{N}\right)nk} \quad (1)$$

式中: n 和 k 取为 $0, 1, 2, \dots, (N-1)$ 。DFT 采用离散傅里叶变换快速算法 (FFT)。 $x(n)$ 经离散傅里叶变换后得到的 $X(k)$ 是一个长度为 N 的复数序列 (频谱)

* 收稿日期: 2006-10-08 修订日期: 2007-02-20

$$X(k) = \text{DFT}[x(n)] = [(a_0, \beta_0), (a_1, \beta_1), \dots, (a_{N-1}, \beta_{N-1})] \quad (2)$$

$x(n)$ 中各谐波分量的幅值、圆频率及初相角可由式(3)求出

$$\begin{cases} A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \\ \omega_k = 2\pi \frac{k}{T} \\ \varphi_k = \arctan \frac{b_k}{a_k} \end{cases} \quad (3)$$

根据信号叠加原理,任何周期信号是若干简谐信号的叠加。加速度信号可用式(4)表示,其相应的位移用式(5)表示,两者幅值和相位之间的关系如式(6)

$$a = A_{a_0} \cos(\omega_0 t + \varphi_{a_0}) + A_{a_1} \cos(\omega_1 t + \varphi_{a_1}) + \dots + A_{a_{N-1}} \cos(\omega_{N-1} t + \varphi_{a_{N-1}}) \quad (4)$$

$$d = A_{d_0} \cos(\omega_0 t + \varphi_{d_0}) + A_{d_1} \cos(\omega_1 t + \varphi_{d_1}) + \dots + A_{d_{N-1}} \cos(\omega_{N-1} t + \varphi_{d_{N-1}}) \quad (5)$$

$$A_{d_i} = A_{a_i} / \omega_i^2, \quad \varphi_{d_i} = \varphi_{a_i} - \pi \quad (6)$$

通过上述转换即可得到振动位移信号的时间历程。从中可以看出,二次积分法难以处理的趋势项在频域中处理起来即简单又彻底,只需将低于有用频率的谐波分量振动幅置零即可。

用频谱转换法将加速度信号转换成位移信号的步骤如下:

(1) 经数据采集得到离散加速度信号 $a(n)$, 将 $a(n)$ 做 FFT 求出其频谱 $A(k)$

$$A(k) = \text{FFT}[a(n)] = [(a_{a_0}, \beta_{a_0}), (a_{a_1}, \beta_{a_1}), \dots, (a_{a_{N-1}}, \beta_{a_{N-1}})]$$

(2) 由式(3)计算各加速度谐波分量的幅值 A_{a_k} , 圆频率 ω_k 和初相角 φ_{a_k} ;

(3) 由式(6)求出各位移谐波分量的幅值 (A_{d_k}) 和初相角 (φ_{d_k});

(4) 利用式(5)求出振动位移信号。

2 实验验证

Polytec公司的 PDV 100激光多普勒测振仪测量精度高、频带宽,因此,在此次实验中,以它的测量结果作为参照标准,对加速度信号经频谱转换法得到的位移精度进行评估。实验与分析设备如下:

Agilent35670动态信号分析仪;

Labwork141激振器及功率放大器;

UD 振动控制仪;

PDV 100激光多普勒测振仪;

PCB 333B32 ICP型加速度传感器。

2.1 振动台验证

振动台系统由激振器和振动控制仪组成。由振动台分别产生正弦、随机、正弦加随机三种振动信号。用动态信号分析仪同时测量、记录振动台台面上同一点处由 PDV 100激光测振仪测得的位移和 PCB 加速度传感器测得的加速度信号(如图 1),并按频谱转换法将 PCB 加速度传感器测得的加速度数据转换成位移数据,实验结果如图 2~图 4。在各图中, a 为 PDV 100测得的位移, b 为 PCB 加速度传感器测得的加速度, c 为用频谱转换法将加速度传感器测得的加速度进行转换得到的位移。

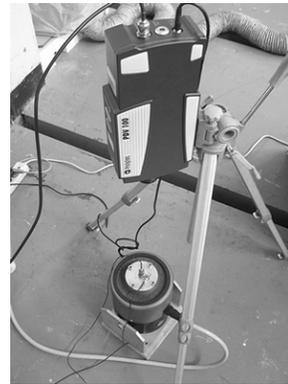


图 1 振动台验证实验

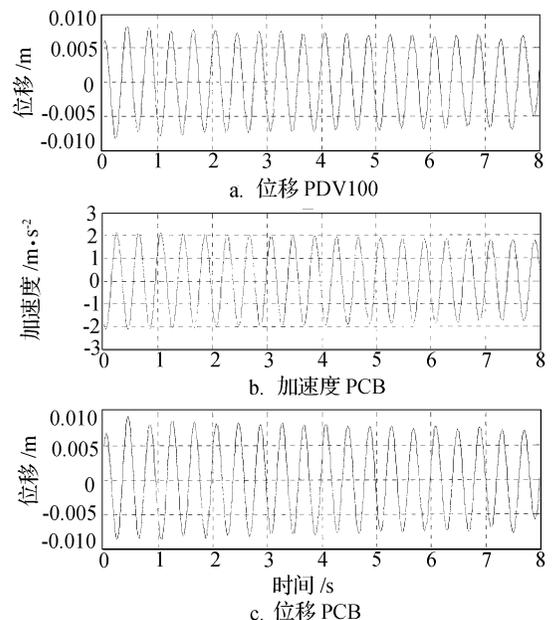


图 2 2.5 Hz 正弦信号

2.2 测量悬臂梁位移

对一根第一阶固有频率为 2.5 Hz 的悬臂梁施加

外力使其产生初始位移, 快速释放外力使悬臂梁做自由振动, 用动态信号分析仪同时测量、记录悬臂梁上同

一点处由激光测振仪 PDV 100 测得的位移和 PCB 加速度传感器测得的加速度信号 (如图 5), 并按频谱转换法将加速度传感器测得的加速度数据转换成位移数据, 测量结果如图 6

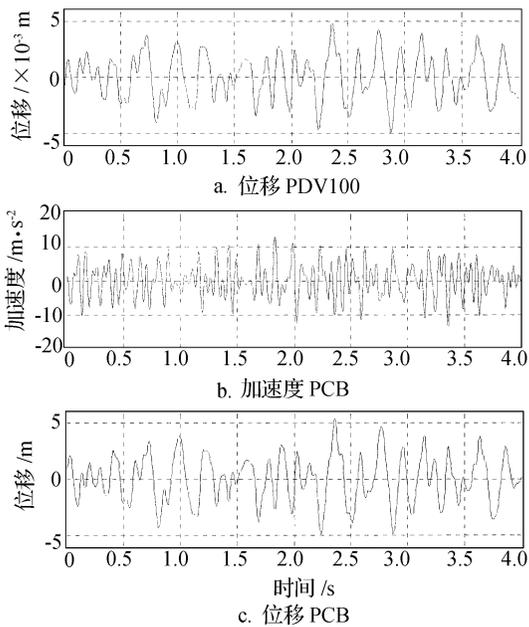


图 3 随机信号 (5 Hz ~ 20 Hz (0.01 g²/Hz))

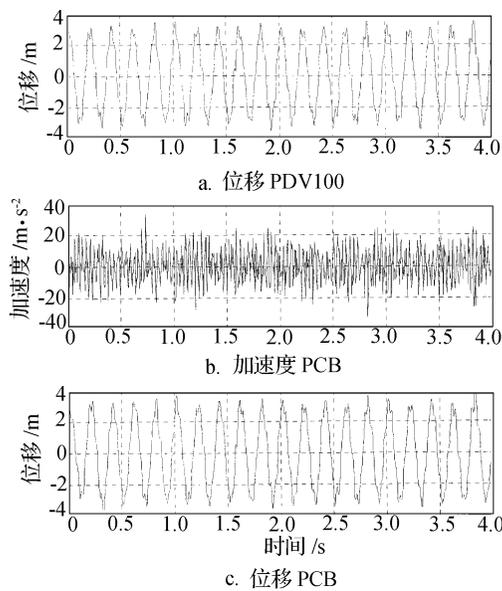


图 4 正弦 + 随机信号

(5 Hz (0.5 g) + 27 Hz (1 g) + 20 ~ 100 Hz (0.005 g²/Hz))



图 5 测量悬臂梁位移

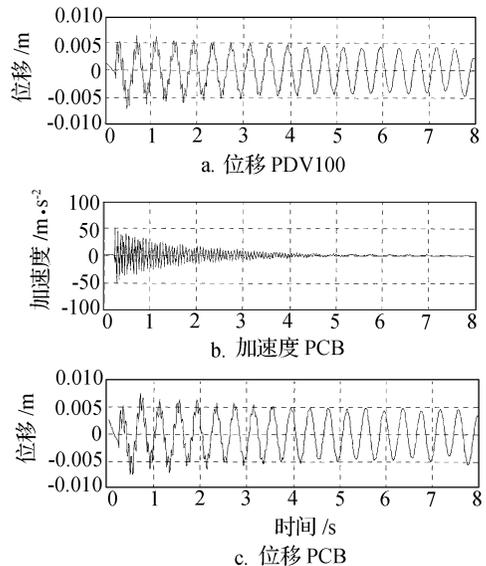


图 6 悬臂梁位移

3 结 语

根据理论分析与验证实验结果, 有以下两点结论:

- 1) 用频谱转换法将加速度信号转换成位移信号, 其方法是正确可行的;
- 2) 任何有限长的随机 (或随机 + 正弦) 信号, 存在准直流分量。该分量将使转换得到的位移数据头、尾约 10% 的数据产生一定的误差。实际使用位移数据时, 应将该段数据剔除。

参 考 文 献

- [1] 吴思育, 杨桂霞. 采用电涡流传感器测量机构位移参数的研究 [J]. 机械工程师, 1994(6): 32-33
- [2] 丛 红. 反射式光纤微位移传感器 [J]. 传感器技术, 2003, 22(9): 70-77.
- [3] K+Tae Park. The determination of bridge displacement using measured acceleration [J]. Engineering Structures, 2005, 27: 371-378

刘继承 男, 1965年生, 博士, 高工。研究方向为结构动力学及环境试验。

徐庆华 男, 1964年生, 硕士, 高工。研究方向为振动测试与分析。

查建新 男, 1974年生, 硕士, 工程师。研究方向为可靠性工程及环境试验。