

基于 LabVIEW 的光纤布拉格光栅动态解调系统

摘要：为了实现光纤光栅动态解调的目的，采用了一种基于长周期光栅(LPFG)边缘滤波特性解调光纤布拉格光栅(FBG)的动态应变检测系统。将 FBG 作为传感元件，利用长周期光栅边缘滤波特性对光强调制，经光电转换获得电压信号，通过高速数据采集卡与 LabVIEW 软件设计结合由计算机采集。进行了振动实验，采集信号的时域波形图并进行频谱分析。试验结果表明该系统具有良好的动态响应特性，可实现 2.5 kHz 以内的动态应变监测。

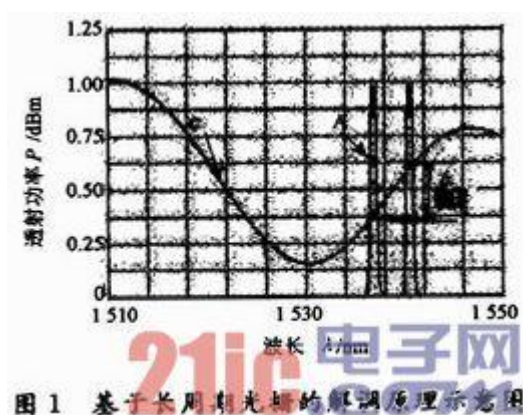
关键词：虚拟仪器；光栅；边缘滤波；动态解调

0 引言

与传统电子传感器相比，光纤光栅传感器是目前最具发展前途的传感器之一。降低了自身的重量和体积，在抗电磁干扰能力、电气隔离和传输损耗等方面都有着优越的表现，光纤光栅的出现给传感器技术领域发展带来了一种新的发展趋势。波长解调技术是实现光纤光栅传感的关键，在光纤光栅的应用领域，光纤光栅解调技术一直是人们关注的重点课题。目前正在研究的光纤光栅传感解调方案有许多，如利用干涉滤波法，可调谐光纤法布里-珀罗腔法，边缘滤波解调法等，其中，干涉滤波法仅适用于测量动态应变，无法测得绝对应变；高精度的可调谐光纤法布里-珀罗腔价格高昂，滤波损耗大。因此能够实际应用的解调产品并不多，特别是用于动态解调的解调设备，大多尤为昂贵，不利于工程应用。本文利用长周期光栅(Long-Period Fiber Grating, LPFG)具有边缘滤波特性，自行研制了一套光纤布拉格光栅(Fiber Bragg Grating, FBG)动态检测系统并将其用于振动方面的测试。试验结果表明，该解调系统能够较好地检测振动信号，相对于其他的解调方案，具有结构简单，解调速度快，成本较低等优点。本文利用高速数据采集卡读取采集数据传送到 PC 机，通过 LabVIEW 进行数据分析，实现了对动态应变系统状态的实时准确掌控。

1 解调原理

基于长周期光纤光栅解调系统解调原理如图 1 所示。



图中，曲线 A 为光纤布拉格光栅(FBG)的反射光谱，曲线 C 为长周期光纤光栅(LPFG)的透射谱，FBG 反射光经过 LPFG 滤波后，光功率信号 $I(\lambda)$ 为：

式中: $R(\lambda)$ 为 FBG 的反射光谱; $H(\lambda)$ 为 LPFG 的透射光谱; 在一定的波长范围内, $H(\lambda)$ 近似线性函数, 而 $R(\lambda)$ 的光谱宽度远小于该波长范围, 因此 $I(\lambda)$ 也近似线性函数, 也即:

$$I(\lambda) \approx H(\lambda)I_1(\lambda) \quad (2)$$

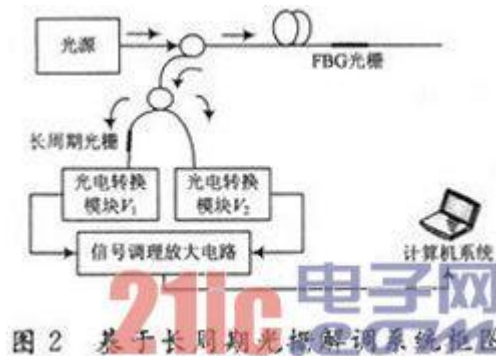
式中: $I_1(\lambda) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\lambda - \lambda')d\lambda'$ 是 FBG 的反射谱总功率^[9], 则:

$$H(\lambda) \approx I(\lambda)/I_1(\lambda) \quad (3)$$

由式(3)可知, 通过测量 $I(\lambda) / I_1(\lambda)$ 的值即可获得波长信息, 从而实现对 FBG 波长的检测。

2 解调系统的构建

基于 LabVIEW 的光纤布拉格光栅动态解调系统框图如图 2 所示。宽带光源经过 1×2 耦合器到达传感 FBG, 该传感光栅的反射中心波长为 1536.529 nm, 其反射的窄带光携带待测量信息, 窄带光经过 1×2 耦合器耦合另一个 1×2 耦合器, 50%光能进入长周期光栅, 该长周期光栅的中心波长为 1531.137 nm, 在 1510~1550 nm 之间有明显的损耗峰, 并且该光栅的透射谱在 1534~1542 nm 区域具有很好的线性, 经光电转换模块转换为电压 V1, 50%光能直接经过光电转换模块转换为参考电压 V2。经过调制过的光信号由光电转换电路转换为电压信号。采用高速数据采集卡 NI6024E 将采集到的信号输入计算机进行处理。



3 数据采集软件系统

采用美国 NI 公司的图形化编程语言 LabVIEW 作为开发平台。LabVIEW 程序主要用来进行数据采集、仪器控制及数据处理分析, 是一款开放式的虚拟仪器开发系统应用软件。

软件部分的实时数据采集程序由 LabVIEW 提供的硬件驱动模块和 VI 子程序搭建完成, 完成对硬件的配置, 测量函数功能的设定以及最终数据采集。数据分析处理模块主要完成测量数据曲线的校正、滤波、信号特性分析、信号存储与读取功能。数据采集部分可以实现采集通道数的选择, 由实验的实际情况选择通道数量, 提高系统的效率。因为测量系统中输入

信号一端与模拟输入通道相连接，另一端连接系统地，故选择 RES(单端由参考地)数据采集系统。数据存储部分可以将数据存储至指定的路径。

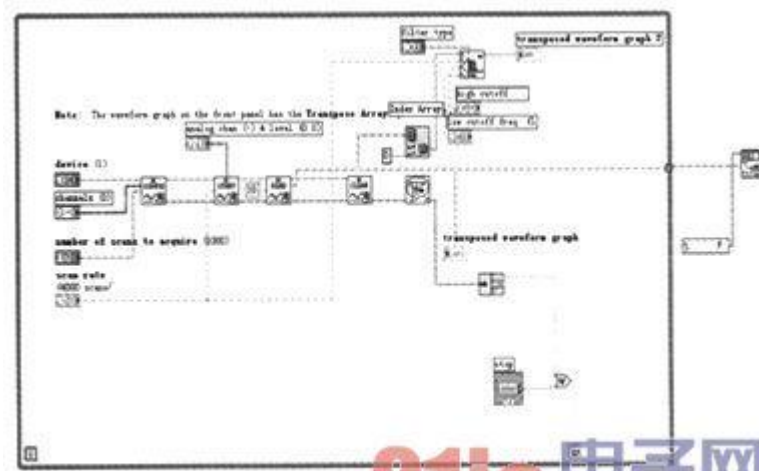
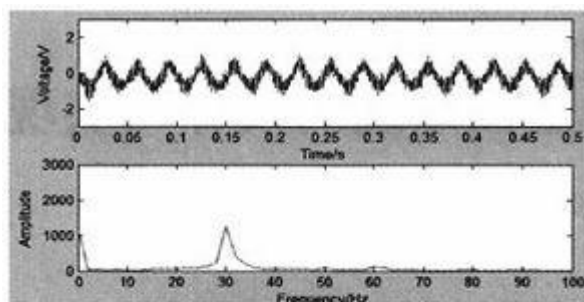


图3 数据采集关键程序

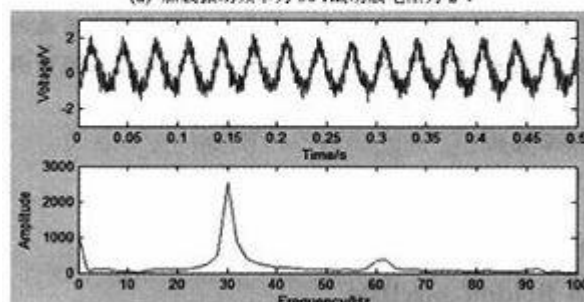
为了便于实时监测，该系统设计了状态信息选择界面，系统状态显示界面。运行主程序，系统将自动初始化各个模块参数。本系统的关键程序如图3所示。配置模拟输入的子VI，AI config. vi，指定模拟输入操作硬件，通道等。范围常量子VI: Scaling constant tuner, vi，把模拟信号转化为数字信号。读取数据子VI: ARead. vi，从数据采集的缓存中读取数据；初始化数据现实与保存模块。包括 Array to bluster, Spilt 1D array, formula nod, Write to spreadsheet file 等函数；初始化程序运行控制模块，程序运行控制模块的功能是控制程序的运行、暂停、停止、保存和恢复等状态。

4 模拟机翼蒙皮结构监测实验及结果分析

实验利用四边简支(长×宽×厚=1 500 mm×250 mm×2 mm)，弹性模量 E=68 GPa 试件，模拟飞机蒙皮结构。在试件的中间位置粘贴一根光纤布拉格光栅，在室温 20℃时，其反射中心波长为 1 536. 529 nm。在实验过程中，将 HEV-02 的激振器产生的垂直周期力加载到试件上，通过改变激振器的振动频率和幅值来激发板结构做周期振动。利用 LabVIEW 软件显示实验中信号的变化，数据采集和处理部分实现观察输出信号波形和信号的频谱特性。



(a) 加载振动频率为 30 Hz, 功放电压为 2 V



(b) 加载振动频率为 30 Hz, 功放电压为 4 V

图 4 加载不同振幅的 30 Hz 振动频率的时域波形图和频谱分析图

图 4(a), (b)所示都是在试件上加载 30 Hz 垂直周期力时的时域波形图和经过快速傅里叶变换的频谱分析图, 所不同的是图 4(a)是功放输出电压为 2 V 时所采集的信号及分析图, 图 4(b)是功放输出电压为 4 V 时采集的信号及分析图。通过两幅图的对比显示, 当激振幅度增大, 采集到的信号幅值也大, 幅频图上相应的谐波分量也随之增大。由此可见, 利用长周期光栅的线性滤波准确测量试件的振动幅度。

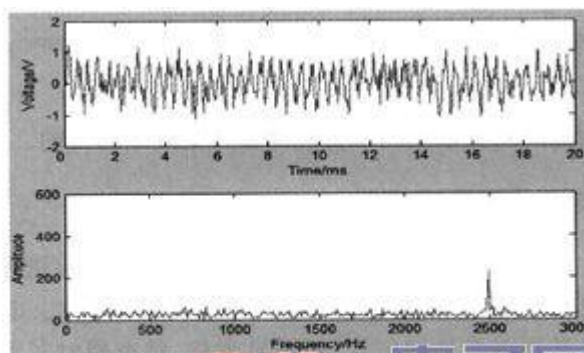


图 5 加载振动频率为 2 500 Hz 的时域波形图和频谱分析图

图 5 为系统采集到的电压信号时域波形图以及由 FFT 得到的频谱分析图。研究中选取频率为 2 500 Hz 激振器激励下的响应图。实验中, 系统采集数据频率为 50 kHz, 从频谱图中看出激振产生的能量集中频段与施加载荷的频率吻合。

本系统带通滤波器设置为 200 Hz~3 kHz, 对动态信号的响应带宽约为 3 kHz, 系统进行自动跟踪, 在 2 500 Hz 的激励频率下, 对试件施加激励, 并对采集到的数据进行频谱

分析, 结果证明系统有较好的响应速度, 改变光电探测电路的反应速度可以改善这个指标。在 200 Hz~5 kHz 带宽内, 电路输出的本底噪声为 100 mV, 其分辨率为。

5 结语

基于 LabVIEW 的光纤布拉格光栅动态解调系统实现了光纤布拉格光栅的动态解调。此方案相对于其他解调办法, 较容易实现。本文采用该系统对 2.5 kHz 以下的振动信号进行监测, 结果表明系统在解调范围内能较好地恢复出施加的激励信号, 很好的实现动态波长的解调, 达到较高的信噪比和可靠性, 并且抗电磁干扰能力强, 可以实现低速冲击, 振动信号的实时、在线监测。