

doi:10.3788/gzxb20124112.1405

# 一种高准确度光纤光栅波长解调系统

李永倩, 姚国珍, 杨志

(华北电力大学 电子与通信工程系, 河北 保定 071003)

**摘要:**为了消除 F-P 滤波器的温度特性对光纤光栅波长解调系统准确度的影响,提出了一种采用 F-P 标准具作为波长参考计算波长的方法,设计了一种高准确度波长解调系统,并采用虚拟仪器开发平台 LabWindows/CVI 实现了光谱数据的滤波、寻峰及波长计算算法.测试结果表明,该系统的重复性误差小于 1.56 pm,稳定性误差小于 1.13 pm.

**关键词:**F-P 标准具; 光纤光栅传感; 波长解调; 虚拟仪器

**中图分类号:**TN253

**文献标识码:**A

**文章编号:**1004-4213(2012)12-1405-7

## 0 引言

光纤光栅传感器具有抗电磁干扰、耐腐蚀、电绝缘、高灵敏度和低成本等特点<sup>[1]</sup>,已在土木工程<sup>[2]</sup>、航空航天<sup>[3]</sup>、机械制造<sup>[4]</sup>、医疗卫生<sup>[5]</sup>等领域广泛用于测量应变、温度、振动等参量<sup>[6]</sup>.光纤光栅传感器是一种波长调制型器件,外界物理量的变化会影响光纤光栅的中心波长,通过测量光纤光栅中心波长的变化,就可以获得外界物理量的变化情况<sup>[7]</sup>.所以,精确解调光纤光栅波长的变化是光纤光栅传感的一项关键技术.

光纤光栅波长解调方法有很多种,其中,基于可调谐法布里珀罗(Fabry-Perot, F-P)滤波器的光纤光栅波长解调方法具有灵敏度高、可调谐范围大等特点,得到了广泛应用<sup>[8]</sup>.但是,可调谐 F-P 滤波器的滤波特性对环境温度比较敏感,其温度稳定性将直接影响整个光纤光栅波长解调系统的准确度,另外,控制可调谐 F-P 滤波器的三角波的线性程度也会对系统准确度产生影响.

为了消除 F-P 滤波器温度特性对光纤光栅波长解调系统准确度的影响,本文设计了一种基于 F-P 标准具及参考光栅的高准确度光纤光栅波长解调系统,采用 F-P 标准具及参考光栅作为波长参考来计算波长,从而提高光纤光栅波长解调系统的准确度.

## 1 光纤光栅波长解调系统

### 1.1 解调系统组成

本文设计的基于 F-P 标准具及参考光栅的光

纤光栅波长解调系统如图 1.系统中宽谱光源采用超辐射发光二极管(Super luminescent LED, SLED),谱宽为 78.2 nm,SLED 发出的光经隔离器进入可调谐 F-P 滤波器,可调谐滤波器在三角波的驱动下对宽谱光进行扫描.可调谐 F-P 滤波器自由光谱范围为 98.8 nm,大于宽谱光源的谱宽,可以扫描宽谱光源所有波长的光.可调谐 F-P 滤波器输出的光经耦合器后分为两路,一路经环形器送入接有传感光纤光栅的传感通道,另一路送入接有 F-P 标准具和参考光栅的参考通道.

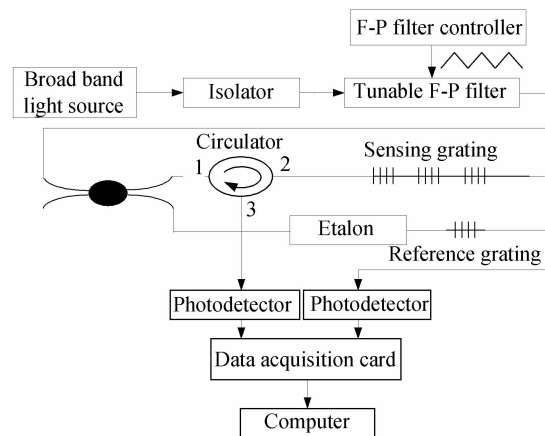


图 1 光纤光栅波长解调系统图

Fig. 1 Diagram of fiber Bragg grating wavelength demodulation system

环形器和参考通道输出的光信号经光电检测器转换为电信号后送入数据采集卡进行数据采集,系统选用美国国家仪器(National Instrument, NI)公司的数据采集卡 PCI6133. PCI6133 为 8 通道 16 bit 同步数据采集卡,其采样速率可达 3 MS/s,可实现

基金项目:苏州市科技发展计划项目(No. SYG201013)资助

第一作者:李永倩(1958—),男,教授,硕士,主要研究方向为光通信与光传感. Email: liyongqian1958@163.com

导师(通讯作者):姚国珍(1979—),男,讲师,硕士,主要研究方向为光纤传感技术. Email: ygz7943@163.com

收稿日期:2012-04-19;修回日期:2012-07-30

参考通道和传感通道的同步数据采集,保证了系统的准确度.计算机负责对采集到的光谱数据进行滤波、寻峰和波长计算.

F-P 滤波器的主体是 F-P 腔.在一定波长范围内,若以平行光入射到 F-P 腔,则只有满足相干条件的某些特定波长的光才能发生干涉,产生相干极大值,利用 F-P 腔的这个特性可以对光纤光栅传感器的反射波长进行解调<sup>[9-10]</sup>.将 F-P 腔固定于压电陶瓷上,通过改变加在压电陶瓷上的电压,使 F-P 腔体长度发生变化,当 F-P 腔的透射波长与光纤光栅的反射波长重合时,光电检测器能够检测到最大光强.

### 1.2 F-P 标准具的应用

传统的波长解调方法是通过标定获得压电陶瓷的驱动电压和光纤光栅反射波长的对应关系,实现波长解调.这种解调方法简单实用,但不能根据环境温度和系统性能的变化对测量结果进行动态校准.首先,当外界温度发生变化时,F-P 滤波器的腔长会发生微小漂移,即当温度不同时,相同的驱动电压会对应不同的反射波长,如果仍按照标定的数据进行波长解调,则会产生误差;其次,F-P 滤波器的驱动电压一般采用由电路产生的锯齿波或三角波电压,当电路受到干扰或元器件特性发生变化时,锯齿波或三角波电压的线性程度会发生改变,此时如果仍按标定获得的驱动电压和波长的关系进行解调,也会产生误差.

为了消除上述误差对波长解调准确度的影响,本文在光纤光栅波长解调系统中设计了 F-P 标准具和参考光栅串联的参考通道.F-P 标准具和 F-P 滤波器结构类似,主要部分也是由 F-P 腔构成,但是 F-P 标准具温度系数很小,可以忽略其腔长随温度的变化.F-P 标准具的自由光谱范围(Free Spectrum Range, FSR)比 F-P 滤波器小得多,当 SLED 的光入射到 F-P 标准具时,透射光的光谱为多个频率间隔为 FSR 的波峰.

系统中采用了热稳定 F-P 标准具,其温度稳定性为 $\pm 1.1125$  GHz,即在 $(0\sim 70)$  °C 范围内,其波长漂移约为 $\pm 8.9$  pm,具有很高的温度稳定性;FSR 为 99.77 GHz;Finesse 为 6.61.在 F-P 标准具后串联参考光栅的目的是为了使其滤掉某个波长的光,在透射谱中产生一个负峰,在后续波长解调中起到标记作用,该参考光栅进行了特殊封装,也具有温度稳定性高的特点.

### 1.3 波长解调方法

利用数据采集卡 PCI6133 对参考通道和传感通道的光谱进行同步采集,采集结果如图 2.图 2(a)

中的负峰为参考光栅形成的透射峰,正峰为 F-P 标准具形成的波峰,除中间部分被参考光栅滤除的正峰外,每个正峰之间的频率间隔为 FSR;图 2(b)中的三个波峰为传感通道中 3 个光纤光栅形成的反射峰.因为参考通道和传感通道进行数据采集时为同步采样,所以,只要确定出图 2(a)中每个正峰对应的波长值,即可确定每个采样点对应的波长值,进而可确定图 2(b)中传感通道每个峰对应的波长值.

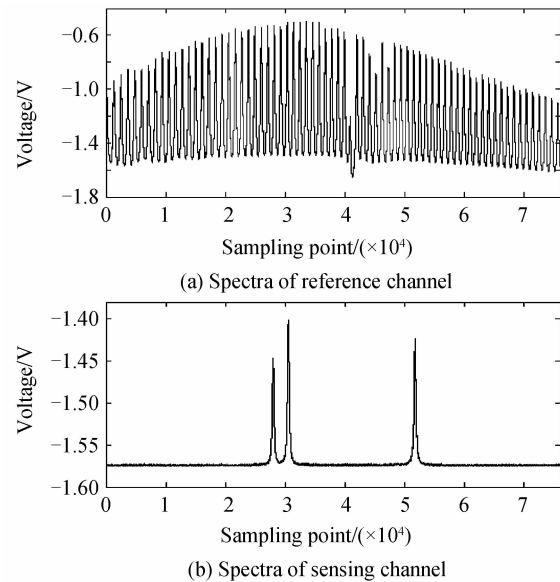


图 2 参考通道和传感通道光谱

Fig. 2 Spectra of reference channel and sensing channel

因为 F-P 滤波器的扫描电压和其腔长为线性关系,腔长和 F-P 滤波器的透射光波长为线性关系<sup>[11]</sup>,而扫描电压为三角波,数据采集为等间隔采集,所以图 2 中横坐标采样点和波长为线性关系.假设图 2(a)中某两个连续的正峰对应的波长分别为 $\lambda_m$ 和 $\lambda_{m+1}$ ,则其频率值分别为

$$f_m = c/\lambda_m \quad (1)$$

$$f_{m+1} = c/\lambda_{m+1} \quad (2)$$

式中  $c$  为光速.标准具的 FSR 为

$$\text{FSR} = \frac{c}{2nL} = |f_m - f_{m+1}| \quad (3)$$

式中  $n$  为 F-P 标准具腔内介质的折射率, $L$  为腔长.由于 F-P 标准具的  $n$  和  $L$  为定值,所以 FSR 为一定值,即图 2(a)中各峰之间的频率间隔为定值 FSR.设各峰之间的波长间隔为  $\Delta\lambda$ ,则

$$\Delta\lambda = |\lambda_m - \lambda_{m+1}| = \left| \frac{c}{f_m} - \frac{c}{f_{m+1}} \right| = c \left| \frac{f_{m+1} - f_m}{f_m f_{m+1}} \right| = c \left| \frac{c/2nL}{f_m f_{m+1}} \right| = \frac{\lambda_{m+1} \lambda_m}{2nL} \quad (4)$$

由式(4)可知, $\Delta\lambda$  不是定值,即图 2(a)中的正峰不是等间距的.

在确定 F-P 标准具正峰对应的波长值时,首先找到参考光栅形成负峰的位置,并将负峰左侧的正

峰记为  $r$ , 然后假设负峰左侧的正峰对应的波长为  $\lambda_r$ , 则其频率值为

$$f_r = c/\lambda_r \quad (5)$$

当采用 F-P 滤波器的三角波驱动电压的下降部分进行扫描时, 图 2 中由左至右峰值对应的波长依次减小, 所以频率值依次增大, 则光谱图中正峰  $r$  左侧的峰  $r-1$  的频率值为

$$f_{r-1} = c/\lambda_r - \text{FSR} \quad (6)$$

式中 FSR 为 99.77 GHz. 则峰  $r-1$  的波长值为

$$\lambda_{r-1} = c/f_{r-1} \quad (7)$$

以此类推, 可依次获得正峰  $r$  左侧的各个峰值对应的波长值. 同理, 正峰  $r$  右侧的峰对应的波长值也可按上述方法求得, 但需要注意的是, 正峰  $r+1$  和正峰  $r$  之间频率相差  $2 * \text{FSR}$ , 因为中间有一个正峰被参考光栅滤除了, 所以, 正峰  $r+1$  对应的频率和波长分别为

$$f_{r+1} = c/\lambda_r + 2 * \text{FSR} \quad (8)$$

$$\lambda_{r+1} = c/f_{r+1} \quad (9)$$

每个正峰对应的波长计算出来后, 就可以得到峰和峰之间每个采样点对应的波长值. 假设正峰  $m$  和正峰  $m+1$  对应的波长值分别为  $\lambda_m$  和  $\lambda_{m+1}$ , 对应的采样点分别为  $a$  和  $b$ , 则两个峰之间的采样点  $x$  对应的波长值为

$$\lambda(x) = \frac{\lambda_{m+1} - \lambda_m}{b - a}(x - a) + \lambda_m \quad (10)$$

计算传感通道中反射峰对应的波长值时, 首先要得到传感通道反射峰对应的采样点, 判断该点在哪两个 F-P 标准具的正峰之间, 然后, 利用式(10)就可得到该反射峰对应的波长值.

当温度变化导致 F-P 滤波器的滤波特性发生变化时, 相同的扫描电压对应的光的波长发生变化, 但此时 F-P 标准具的入射光也会跟随 F-P 滤波器变化, 所以可避免由此产生的解调误差; 上述方法利用了采样点和波长之间的关系, 没有采用扫描电压和波长之间的关系, 从而可避免扫描电压波动产生的解调误差.

## 2 解调系统软件设计

光纤光栅波长解调系统软件主要完成对光谱数据的采集和处理. NI 公司的虚拟仪器开发工具 LabWindows/CVI 提供了丰富的信号处理库函数和功能面板<sup>[12]</sup>, 还具有数据采集卡 PCI6133 的驱动函数, 便于程序开发, 所以, 本系统软件采用 LabWindows/CVI 实现.

### 2.1 数据采集设置

本系统中光源的谱宽为 78.2 nm, F-P 控制器

输出的三角波频率为 10 Hz, 三角波上升部分和下降部分扫描的光谱对称, 系统选用其下降部分数据进行计算. 数据采样间隔为 1 pm, 采样频率设置为  $78.2 \times 1000 \times 10 \times 2 = 1564$  kHz, 每 0.1 s 扫描一次, 采集的数据共 156 400 个, 取其中的一半为 78 200 个.

### 2.2 光谱信号滤波

在光纤光栅波长解调系统中, 光信号及电信号在产生和传输过程中难免会引入噪音, 当噪音达到一定幅度后, 会对峰值检测造成很大影响, 从而影响波长解调准确度, 所以在进行光谱峰值检测前需对光谱数据进行滤波处理.

光纤布喇格光栅的反射光强度谱可以用高斯函数近似表达为<sup>[13]</sup>

$$I(\lambda) = I_0 \exp \left[ -4 \times \ln 2 \times \left( \frac{\lambda - \lambda_s}{\Delta \lambda_s} \right)^2 \right] \quad (11)$$

式中,  $I_0$  为反射谱强度峰值,  $\lambda_s$  为反射谱强度等于  $I_0$  时对应的波长值, 即 FBG 反射谱的中心波长值,  $\Delta \lambda_s$  为反射谱的 3 dB 带宽. 为了分析反射谱的频率成分, 需将式(11)转换为时域表达式.

由于本系统中 F-P 腔的三角波扫描频率为 10 Hz, 扫描范围为 78.2 nm, 即扫描 78.2 nm 需要 0.1 s 的时间, 反射谱的 3 dB 带宽约为 0.15 nm, 所以反射谱的 3 dB 带宽对应的时间为

$$\Delta t = \frac{0.1}{78.2} \times 0.15 = 1.9182 \times 10^{-4} \text{ s} \quad (12)$$

假设反射谱的中心位置为 0.05 s, 即  $\lambda_s$  在时间轴上的对应位置为 0.05 s, 对应的反射谱峰值强度为 1, 那么式(11)可转换为式(13)给出的时域信号.

$$I(t) = \exp \left[ -4 \times \ln 2 \times \frac{(t - 0.05)^2}{(1.9182 \times 10^{-4})^2} \right] \quad (13)$$

由式(13)可得光谱采样信号仿真波形如图 3(a).

利用 MATLAB 对式(13)表示的光谱信号进行频谱分析, 仿真结果如图 3(b). 由图 3(b)可见, 信号能量主要集中在 10 kHz 以内.

LabWindows/CVI 提供了强大的信号滤波函数, 包括无限冲激响应 (Infinite Impulse Response, IIR) 和有限冲激响应滤波器, 由于 IIR 滤波器可以采用较低的阶数实现较好的滤波效果, 所以系统采用了 5 阶截止频率为 10 kHz 的 IIR 低通滤波器实现光谱信号的滤波, 实现代码如下:

```
filter_information = AllocIIRFilterPtr
(LowPASS, 5);
```

```
Bw_CascadeCoef (rate, 10000, 0, filter_
information);
```

```
IIRCascadeFiltering (ch0, sampsPerChan,
filter_information, ch0Filtered);
```

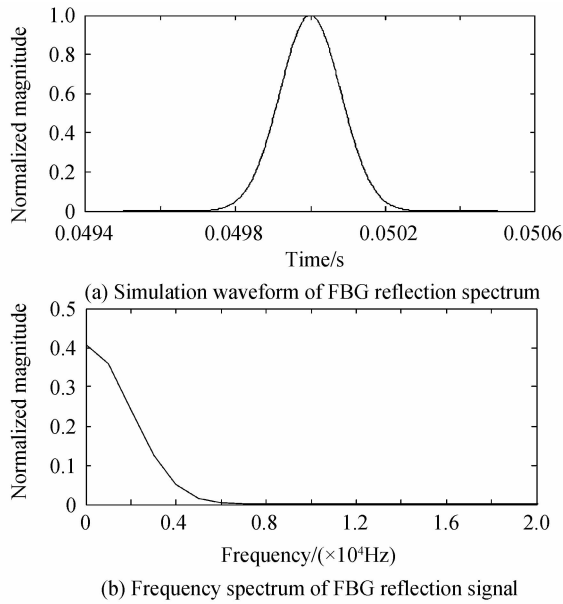


图 3 FBG 反射信号频谱分析

Fig. 3 Frequency spectrum analysis of FBG reflection spectrum

其中, `AllocIIRFilterPtr()` 函数分配一个 5 阶低通滤波器的结构体用于存放滤波器系数, 变量 `filter_information` 为指向这个结构体的指针; 函数 `Bw_CascadeCoef()` 根据采样频率、截止频率计算滤波器系数, 存放在结构体中; 函数 `IIRCascadeFiltering()` 完成对数组 `ch0` 中数据的滤波, 滤波结果存放在 `ch0Filtered` 数组中, `sampsPerChan` 为 `ch0` 中元素的个数, 本系统中为 78 200.

图 4 为同一个光纤光栅传感器的反射信号滤波前后的光谱, 由图可见, 滤波之后噪音减少了很多, 但波峰的位置发生了右移, 这是由于 IIR 滤波器对信号相位影响造成的, 由于所有峰的频率成分基本

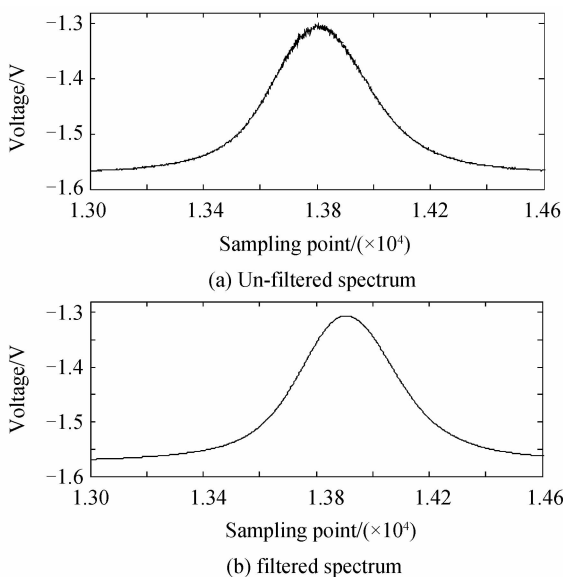


图 4 光谱滤波前后对比

Fig. 4 Contrast of Un-filtered spectrum and Filtered spectrum

一样, 所以经 IIR 滤波后峰值位置的移动也基本一样, 对波长解调影响很小, 后面的实验数据也验证了这一点.

### 2.3 光谱信号峰值检测

对光谱数据进行滤波处理后, 需要精确确定参考通道和传感通道中光谱谱峰的位置, 从而进一步确定光纤光栅传感器的反射波长. LabWindows/CVI 提供了峰值检测函数, 直接调用峰值检测函数, 就可确定光谱数据中峰值的个数、准确位置, 函数如下:

```
PeakDetector ( ch0Filtered, sampsPerChan,
Threshold, Width, DETECT _ PEAKS,
ANALYSIS _ TRUE, ANALYSIS _ TRUE,
&peakNumCh0, &peakIndices, &peakAmp,
&temp);
```

其中, `ch0Filtered` 为滤波后的光谱数据; `sampsPerChan` 为数据的个数; `Threshold` 为峰值检测时采用的阈值, 只有数据大于 `Threshold` 时才认为是有效数据, 这个参量的设定可消除噪音形成的假峰对峰值检测结果的影响. 根据图 2 中光谱数据的大小, 参考通道寻峰时阈值设置为 -1.16, 传感通道寻峰时阈值设置为 -1.5; `Width` 指定最小二乘法拟合时采用的连续数据点数, 本系统选择了推荐值 3; `peakNumCh0`、`peakIndices`、`peakAmp` 分别指光谱数据中包含的峰的个数、峰值对应的横坐标和峰的幅度.

### 2.4 波长计算

获得参考通道和传感通道信号峰值的横坐标后, 根据参考通道每个采样点对应的波长值即可确定传感通道每个峰对应的波长.

波长计算算法实现时将参考通道和传感通道各峰的横坐标存放在数组 `peakIndicesCh0[]` 和 `peakIndicesCh1[]` 中. 以计算传感通道中第  $i$  个峰的波长为例, 首先, 需要确定第  $i$  个峰在参考通道中哪两个正峰中间. 将 `peakIndicesCh0[]` 中的各数据减去传感通道第  $i$  个峰的横坐标 `peakIndicesCh1[i]`, 得到新的数组 `subIndices[]`, 然后将 `subIndices[]` 中各数据取绝对值, 并找到其中的最小值 `subIndices[m]`, 则可确定参考通道第  $m$  个峰距离传感通道中第  $i$  个峰最近. 其次, 判断传感通道中第  $i$  个峰在参考通道第  $m$  个峰左边还是右边, 只需判断取绝对值前 `subIndices[m]` 的正负, 如果 `subIndices[m]` 小于零, 说明传感通道中第  $i$  个峰在参考通道第  $m$  个峰右边, 如图 5(a), 如果 `subIndices[m]` 大于零, 则相反, 如图 5(b). 最后, 计算传感通道第  $i$  个峰对应的波长. 对于图 5(a) 所示的情况, 第  $i$  个峰位

于第  $m$  和第  $m+1$  个峰中间,两个峰之间的波长差为

$$\lambda_d = \lambda_{m+1} - \lambda_m \quad (14)$$

第  $m+1$  和  $m$  个峰之间横坐标差为

$$n_1 = \text{peakIndicesCh0}[m+1] - \text{peakIndicesCh0}[m] \quad (15)$$

则第  $m$  和  $m+1$  个峰之间 1 个采样点间的波长间隔为

$$\lambda_0 = \lambda_d / n_1 \quad (16)$$

传感通道第  $i$  个峰和参考通道第  $m$  个峰之间横坐标差为

$$n_2 = \text{peakIndicesCh1}[i] - \text{peakIndicesCh0}[m] \quad (17)$$

由式(14)~(17)可得传感通道第  $i$  个峰的波长为

$$\lambda_i = \lambda_0 \times n_2 + \lambda_m \quad (18)$$

图 5(b)所示的情况为传感通道第  $i$  个峰位于参考通道第  $m-1$  和第  $m$  个峰之间,则计算传感通道第  $i$  个峰的波长时将式(14)~(16)、(18)中  $m+1$  替换为  $m$ 、 $m$  替换为  $m-1$  即可。

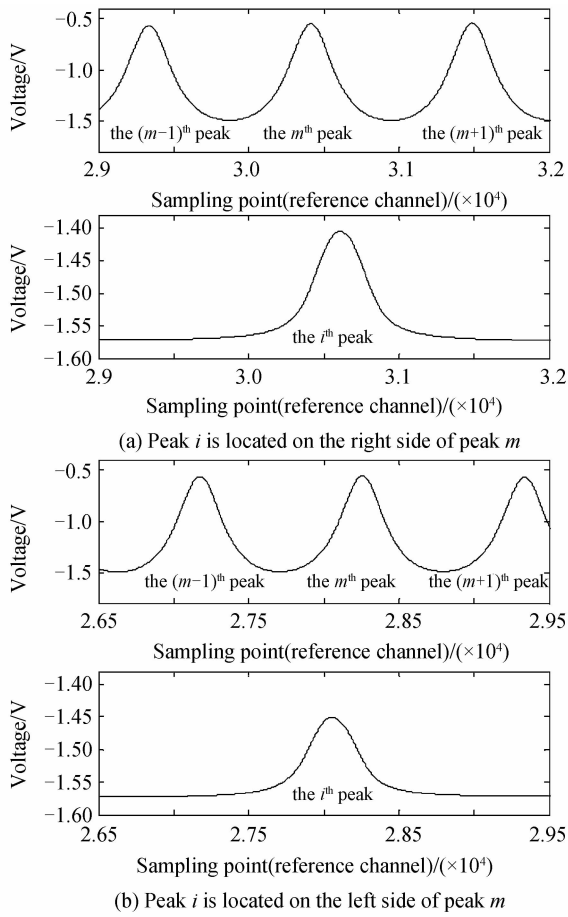


图 5 波长计算方法示例

Fig. 5 Example of wavelength calculation

### 3 实验结果

为了检验本文设计的光纤光栅波长解调系统的重复性及稳定性,在传感通道串联 3 个光纤光栅传

感器进行了实验。

#### 3.1 重复性实验

进行重复性实验时,将光纤光栅传感器放置于准确度为  $0.005^\circ\text{C}$  的恒温液浴槽中,水温由  $28^\circ\text{C}$  升至  $58^\circ\text{C}$ ,每隔  $2^\circ\text{C}$  记录一次数据;为了保证测量的准确性,每次温度到达设定值后稳定 10 min 再记录数据.为了评价系统的重复性,保持实验条件相同,按上述方法对三个光纤光栅传感器的反射波长进行了三次测量,将三次测量求平均值并进行二次拟合,所得拟合曲线如图 6.将拟合后的数据作为真值,每次的测量数据分别减去真值得到测量误差,如图 7.由图 7 可知,第一次测量时 FBG3 在  $28^\circ\text{C}$  的误差最大,为  $1.559 \text{ pm}$ .

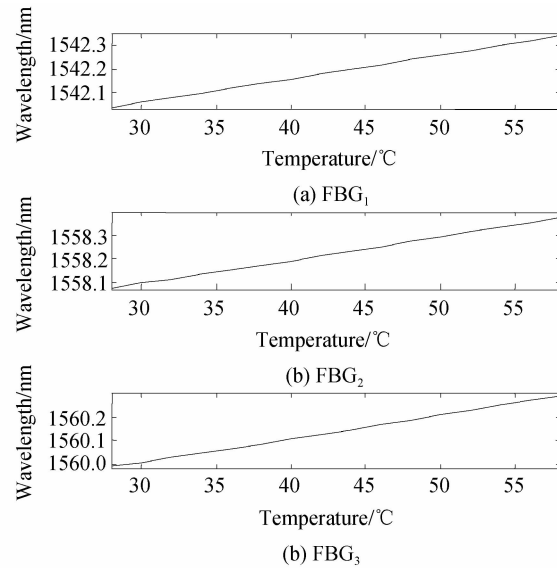


图 6 测量结果的二次拟合曲线

Fig. 6 Quadratic fitting curve of the measurements

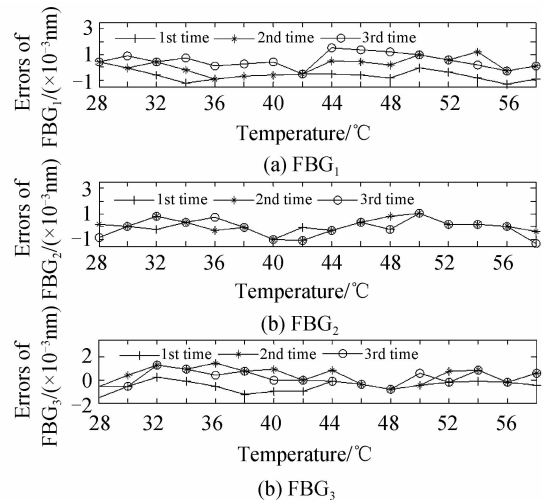


图 7 测量数据误差

Fig. 7 Errors of the measurements

#### 3.2 稳定性测试

进行稳定性测试时,将一个光纤光栅传感器置于  $38^\circ\text{C}$  的恒温液浴槽中,连续测量 4 h,每隔 10 min

记录一次数据,共记录 24 个数据,然后将恒温液浴槽温度设置为 50℃,重复上述过程.将测得的数据求平均值作为真值,用测量数据减去真值得到稳定性误差,如图 8.由图 8 可看出,温度为 38℃时,在时间点 80 min 处的误差最大,为 1.125 pm.

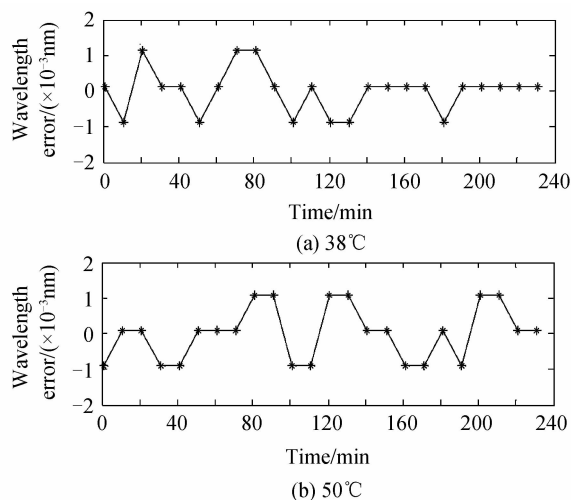


图 8 稳定性测试  
Fig. 8 Test of stability

## 4 结论

本文设计了一种高准确度光纤光栅波长解调系统,提出一种采用 F-P 标准具消除 F-P 滤波器温度特性对光纤光栅波长解调系统解调准确度影响的方法,并利用虚拟仪器开发平台 LabWindows/CVI 实现了光谱数据的滤波、寻峰和波长计算算法.通过对该实验系统进行重复性和稳定性测试可知,该系统的重复性误差小于 1.56 pm,稳定性误差小于 1.13 pm.

### 参考文献

- [1] WANG Chao, YAO Jian-ping. Ultrafast and ultrahigh-resolution interrogation of a fiber Bragg grating sensor based on interferometric temporal spectroscopy [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2011, **29**(19): 2927-2933.
- [2] CAI Han-li, HU Wen-bin, ZHANG Yan-xiao, *et al.* A fiber Bragg grating sensor of steel corrosion at different humidities [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2011, **40**(5): 690-693. 蔡汉莉,胡文彬,张艳晓,等.光纤光栅锈蚀传感器在不同湿度下的特性研究[J]. *光子学报*, 2011, **40**(5): 690-693.
- [3] TANG Da-qing, YANG De-xing, LIAO Wei, *et al.* Joystick transducer based on fiber Bragg gating [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, **39**(11): 1993-1997.
- [4] CHENG Zhen-long, ZHAO Jian-lin, ZHOU Wang-min, *et al.* A vibration sensor based on fiber Bragg grating Fabry-Perot cavity [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, **39**(1): 47-52. 成振龙,赵建林,周王民,等.一种基于光纤光栅法布里-珀罗腔的低频振动传感器[J]. *光子学报*, 2010, **39**(1): 47-52.
- [5] LIU Lin, YE Zhi-qing, RAO Chun-fang, *et al.* Evaluation of shrinkage stress and exotherm during light-curing of dental resin composites [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2012, **41**(5): 528-531. 刘林,叶志清,饶春芳,等.用布喇格光纤光栅传感器测定口腔复合树脂材料光固化收缩与温度演化特性[J]. *光子学报*, 2012, **41**(5): 528-531.
- [6] AU H Y, KHIJWANIA S K, FU H Y. Temperature-insensitive fiber Bragg grating based title sensor with large dynamic range [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2011, **29**(11): 1714-1720.
- [7] WU Hui-juan, LI Shan-shan, LU Xiang-lin, *et al.* A novel method for simultaneous intrusion detection and fire alarm in a single FBG-based fiber fence monitoring system configuration [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2011, **40**(11): 1671-1676. 吴慧娟,李姗姗,卢祥林,等.一种新型光纤光栅围栏防火防入侵同步预警系统[J]. *光子学报*, 2011, **40**(11): 1671-1676.
- [8] ALLAN W R, GRAHAM Z W, ZAYAS J R, *et al.* Multiplexed fiber Bragg grating interrogation system using a microelectromechanical Fabry-Perot tunable filter [J]. *Sensors Journal*, 2009, **9**(8): 936-943.
- [9] DONG Xiao-wei, LIU Wen-kai, WANG Dong-yu, *et al.* Study on Fabry-Perot cavity consisting of two chirped fiber Bragg gratings [J]. *Optical Fiber Technology*, 2012, **18**(4): 209-214.
- [10] ZHU Ping-yu, LIN Yu-chi, LIAO Chuan-jun. Development of dynamic strain measurement with fiber Bragg grating [J]. *Engineering Science*, 2007, **9**(1): 89-94. 朱萍玉,林玉池,廖传军.光纤 Bragg 光栅用于动态应变测试的研究进展[J]. *中国工程科学*, 2007, **9**(1): 89-94.
- [11] PICHONAT-GALLOIS E, PETRINI V, De LABACHELERIE M. Design and fabrication of thermal actuators used for a micro-optical bench: application to a tunable Fabry-Perot filter [J]. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2004, **114**(2-3): 260-266.
- [12] YU Min. Using the analyzer of fuzzy clustering developed on LabWindows/CVI to identify micro-cracks signal [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2005, **26**(8): 26-28, 59. 于敏.基于 LabWindows/CVI 的模糊聚类分析仪在裂纹识别中的应用[J]. *仪器仪表学报*, 2005, **26**(8): 26-28, 59.
- [13] WU Fu-gang, ZHANG Qing-sheng, JIANG De-sheng, *et al.* Method of Gaussian curve fitting for measuring fiber Bragg wavelength [J]. *Journal of Wuhan University of Technology*, 2007, **29**(12): 116-118. 吴付岗,张庆山,姜德生,等.光纤光栅 Bragg 波长的高斯曲线拟合求法[J]. *武汉理工大学学报*, 2007, **29**(12): 116-118.

## A High Precision Fiber Bragg Grating Wavelength Demodulation System

LI Yong-qian, YAO Guo-zhen, YANG Zhi

*(Department of Electronics and Communication Engineering, North China Electric Power University,  
Baoding, Hebei 071003, China)*

**Abstract:** In order to eliminate the influence of the F-P filter temperature characteristics on the accuracy of the fiber Bragg grating wavelength demodulation system, a method is put forward that uses the F-P etalon as a wavelength reference to calculate the wavelength. A high precision fiber Bragg grating wavelength demodulation system is designed, and the algorithms for filtering, peak detecting and wavelength calculating are achieved by LabWindows/CVI. The experimental results show that the repeatability error is smaller than 1.56 pm, and the stability error is smaller than 1.13 pm.

**Key words:** F-P etalon; Fiber Bragg grating sensing; Wavelength demodulation; Virtual instrument