

文章编号:1001-5078(2007)06-0555-03

基于光楔的光纤法-珀应变传感器解调系统原理研究

周红军

(重庆科技学院,重庆 400050)

摘要:根据基于光楔的光纤法-珀应变传感器解调系统的结构,分析了解调系统的解调原理,并给出了仿真结果。得出当光楔厚度与法-珀传感器腔长相等时,其输出光强最大。通过实验结果与仿真结果的比较,说明基于光楔的光纤法-珀应变传感器解调系统在原理上是正确的。

关键词:光楔;光纤法-珀应变传感器;解调原理

中图分类号:TN253

文献标识码:A

Research on the Principle of Demodulation System of Optic Fiber F-P Strain Sensor Based on Optic Wedge

ZHOU Hong-jun

(Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 400050, China)

Abstract: According to the structure of optic fiber F-P sensor based on optic wedge, the collative demodulation principle is analyzed, and the simulation result is given as that when the thickness of the optic wedge equates to the cavity length, the optic intensity output is maximum. The result of the comparison between simulation and experiment indicates that the demodulation system of optic fiber F-P sensor based on optic wedge is available in principle.

Key words: optic wedge; optic fiber F-P strain sensor; demodulation principle

1 引言

与其他传感器相比,光纤法-珀传感器因其制作简单、结构稳定、受温度影响小而广泛用于大型土建结构的应变监测中^[1]。目前常用的光纤法-珀传感器解调方法主要有条纹计数法、傅里叶解调法和腔长匹配法^[2]。其中,腔长匹配法有体积小、成本低、适合便携式使用等优点而成为主要的研究热点。其实现形式有可调法-珀腔法^[3]和光楔法^[4-5],可调法-珀腔法由于有迟滞效应,重复性和稳定性差,制作困难等缺点而未能广泛用于实际工程中。而光楔法由于没有运动部件,稳定性好,成本低,从而具有广泛的应用前景。因此,对其解调原理进行研究具有非常重要的理论和实用意义。

2 解调原理

基于光楔的光纤法-珀传感器解调系统结构框图如图1所示。准直透镜对光纤传感器调制后的光

信号进行准直,以形成等厚干涉的平行光入射条件;由于光电阵列探测器的每个像素都远小于其与光楔对应位置处的宽度,因此采用柱面会聚镜将光楔宽度上的光能会聚于同一个像素上,以获得足够的光强度。通过搜索光电探测器最大输出光强所对应的像素就可以得到光楔的厚度从而得到传感器的腔长。

在解调系统中,其解调核心器件是光楔。光楔的结构如图2(a)所示,它是由两块间距不大的反射率为 R_1 光学平面之间的反射形成干涉。当两平面构成夹角为 θ 的楔角时,楔角内任意位置 x 处的间隙 $l(x)$ 为:

$$l(x) = x \cdot \tan\theta$$

作者简介:周红军(1965-),男,重庆科技学院电子信息学院工程师,重庆大学通信学院在读硕士,研究方向为检测与电子电路。
E-mail:zhjzsj007@163.com

收稿日期:2007-01-29

根据干涉原理知,在波长为 λ 的单色光平行入射到平面内时,此光楔的光强透射函数为^[6]:

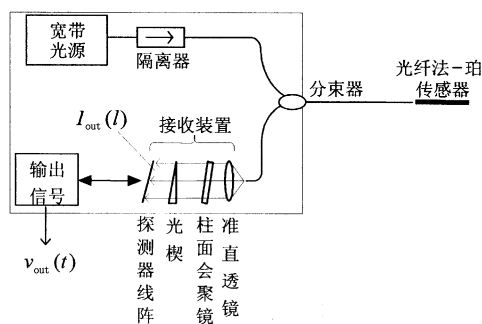


图1 解调系统结构示意图

$$I_{\text{Fiz}}(\lambda) = \frac{(1 - R_1)^2}{1 + R_1^2 - 2R_1 \cos\left(\frac{4\pi}{\lambda}l(x)\right)} I_0(\lambda) \quad (1)$$

由式(1)可知,其光强输出近似满足余弦分布,如图2(b)所示。

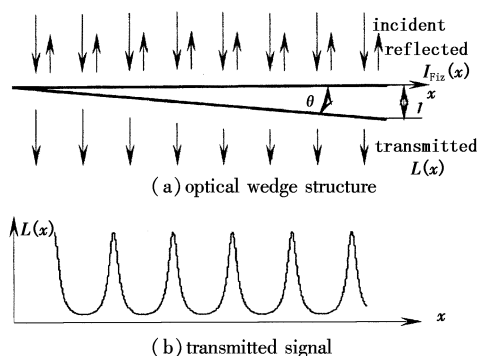


图2 光楔结构及信号输出

在实用的光源中,高斯分布宽带光源是一种常用的光源,其表达式可以写为:

$$I_0(\lambda) = I_0 e^{-\frac{(\lambda - \lambda_p)^2}{B_\lambda^2}}$$

在高斯分布宽带光源条件下,光纤法-珀传感器的干涉输出光强表达式为^[7]:

$$I_r(\lambda) = \frac{2R_2 \left[1 - \cos\left(\frac{4\pi}{\lambda}L\right) \right]}{1 + R_2^2 - 2R_2 \cos\left(\frac{4\pi}{\lambda}L\right)} I_0 e^{-\frac{(\lambda - \lambda_p)^2}{B_\lambda^2}} \quad (2)$$

其中, R_2 为法-珀腔两端面的反射率; L 为法-珀腔的腔长; λ 为光波长; λ_p 是光源光谱的中心波长; B_λ 为光源光谱带宽所决定的高斯函数的半宽度。

宽带光源发出的光经法-珀传感器反射后的信号通过光楔时,相当于作相关运算,其输出光强表达式为:

$$I_c(l) = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} I_{\text{Fiz}}(\lambda) \cdot I_r(\lambda) d\lambda = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} \frac{(1 - R_1)^2}{1 + R_1^2 - 2R_1 \cos\left(\frac{4\pi}{\lambda}l(x)\right)} \cdot$$

$$\frac{2R_2 \left[1 - \cos\left(\frac{4\pi}{\lambda}L\right) \right]}{1 + R_2^2 - 2R_2 \cos\left(\frac{4\pi}{\lambda}L\right)} I_0 e^{-\frac{(\lambda - \lambda_p)^2}{B_\lambda^2}} d\lambda \quad (3)$$

相应的仿真结果如图3所示。其中宽带光源的光谱范围为 500 ~ 700nm,传感器腔长为 15 μm ,反射系数 $R_1 = R_2 = 0.04$ 。

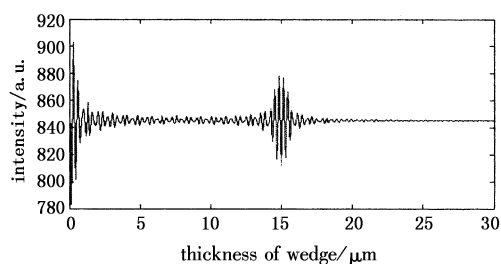


图3 $I(l)$ 与变量 l 的仿真关系曲线

(采用腔长可调透射信号)

由图3可以看出,变量 l 的取值由 0 μm 增大到 30 μm 时,腔长变换值 $I_c(l)$ 将在零值和传感器腔长附近两段区域出现相关条纹。其中,零值区域条纹分布在 0 ~ 2 μm 之间,当 $l = 0 \mu\text{m}$ 时, $I_c(l)$ 取得最大值。当变量 l 的取值接近传感器腔长时,也将产生相关条纹,当二者完全相等时, $I_c(l)$ 取得区域最大值。可以通过读取光电探测器上的光强最大值获得传感器的腔长从而实现传感器的解调。当传感器腔长较小时,两段条纹将产生混叠,从而无法实现传感器的解调。因此,在制作光纤法-珀传感器时,初始腔长需要大于 2 μm 。

由以上分析可知,该解调方法和可调法-珀腔解调法原理上非常类似,差异仅在于前者是利用可调法-珀腔的机械扫描从时间上实现 l 的连续变化;而后者则利用光楔的楔角 θ ,从空间上实现 l 的连续可调。

3 实验方法及结果

为了验证解调原理的正确性,根据图1设计了实验装置。其中,接收装置放在一暗盒中,以避免外界光源的干扰。探测器线阵用来实现相关信号的光/电转换,其像敏元数量为 2700,所需驱动信号由 TI 公司的 DSP 芯片 TMS320LF2407 提供,探测器线阵的驱动时序如图4所示。

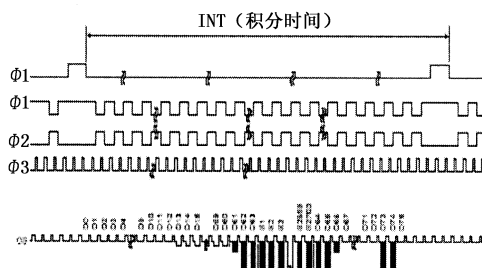


图4 CCD 时序图

其驱动信号包括扫描时钟 Φ_1 、 Φ_2 、复位时钟 RS 和帧同步脉冲 SH。系统中采用 TSM320LF2407 定时器 1 的 PWM 输出作为复位时钟 RS, 采用 I/O 口来产生扫描时钟 Φ_1 、 Φ_2 和帧同步脉冲 SH, 时钟周期由定时器来控制。

实验采用 TSM320LF2407 的 A/DC 数据采集电路通过 DSP 仿真器在显示器上观察输出信号, 得到系统的输出信号如图 5 所示。

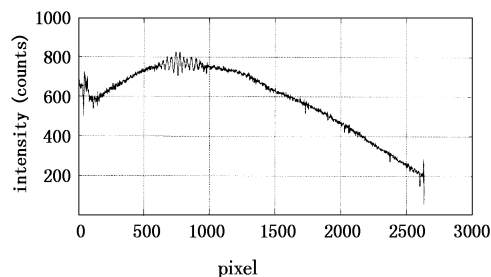


图5 ADC 数据采集结果

图 5 所示的输出信号包含由光源所引起的低频信号以及高频噪声。因此, 必须对输出信号进行滤波, 实验中采用了三阶巴特沃斯数字带通滤波器来对输出信号进行滤波, 滤波结果如图 6 所示。

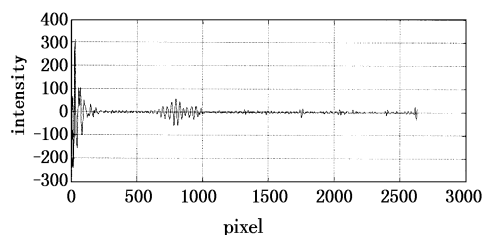


图6 带通滤波结果

由图 6 可以看出, 解调系统输出的实验结果与图 3 所示的仿真结果极为相似。证明利用光楔来实现光线法-珀传感器解调的原理是完全正确的。

4 结 论

理论研究和实验结果表明, 采用基于光楔的光纤法-珀应变传感器的解调系统在原理是全完可行的, 能够实现光纤法-珀传感器的解调。此解调系统没有运动部件, 具有很好的长期可靠性; 它不需要昂贵的光谱接收器件, 成本非常低, 将是今后光纤法-珀解调的发展方向。

参考文献:

- [1] 章鹏, 等. 光纤法-珀传感器并联复用的互相关解调[J]. 光电工程, 2004, 31(11): 70-72.
- [2] 章鹏. 光纤法-珀传感器变换解调原理研究及嵌入式系统实现[D]. 重庆: 重庆大学, 2003, 6: 9-23.
- [3] 孙吉勇. 可调法-珀腔解调的光纤法珀应变传感器的技术研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2002, 6: 3-7.
- [4] J W Berthold, L A Jeffers, R L Lopushansky. Fiber optic sensors for the refinery of the future[R]. Sensors for Industry Conference, USA: Houston, Texas, 2002, 12: 19-21.
- [5] Claude Belleville, Gaetan Dupalin. White-light interferometric multimode fiber-optic strain sensor[J]. Optics Letters, 1993, 18: 78-80.
- [6] M 波恩, F 沃耳夫. 光学原理(上)[M]. 杨葭荪, 译. 北京: 科学出版社. 1978: 422-424.
- [7] 孙吉勇, 等. 基于可调谐法-珀腔解调的光纤法-珀应变传感系统[J]. 激光杂志, 2002, 23(4): 49-50.
- [8] [J]. Photon. Technol. Lett., 2006, 18(12): 1371-1373.
- [5] 李春斌, 孙成城, 曹京, 等. 用于 10Gb/s WDM 系统色散补偿的波长取样啁啾光纤光栅[J]. 激光与红外, 2001, 31(5): 318-320.
- [6] Erdogan T. Fiber grating spectra[J]. Journal of the Lightwave Technology, 1997, 15(8): 1277-1294.
- [7] 贾宝华, 盛秋琴, 冯丹琴, 等. 超结构光纤布喇格光栅的理论研究[J]. 中国激光, 2003, 20(3): 247-251.
- [8] 张东升, 姜莉, 开桂云, 等. 取样光纤光栅的理论分析及其写入技术[J]. 南开大学学报, 2006, 39(1): 79-83.
- [9] 贾宝华, 冯丹琴, 盛秋琴. 矩形取样 Bragg 光纤光栅研究[J]. 南开大学学报, 2003, 36(2): 41-46.
- [10] 金宏发, 董孝义, 刘志国, 等. 光纤布喇格光栅的理论分析[J]. 光子学报, 1996, 25(9): 809-813.
- [11] 张自嘉, 王昌明. 光纤光栅传输矩阵研究[J]. 光子学报(已录用, 近期刊出)
- [1] Xiufeng Yang, Xinyong Dong, Shumin Zhang. Multiwavelength erbium-doped fiber laser with 0.8nm spacing using sampled Bragg grating and photonic crystal fiber[J]. Photonics Technology Letters, IEEE, 2005, 17(12): 2538-2540.
- [2] Chinhua Wang, Azana J Chen L R. Efficient technique for increasing the channel density in multiwavelength sampled fiber Bragg grating filters[J]. Photonics Technology Letters, 2004, 16(8): 1867-1869.
- [3] Junqiang Sun, Ying Zhang, Xinliang Zhang. Multiwavelength lasers based on semiconductor optical amplifiers[J]. Photon. Technol. Lett., 2002, 14(5): 750-752.
- [4] Xi-Hua Zou, Wei Pan, Bin Luo, et al. Periodically chirped sampled fiber bragg gratings for multichannel comb filters

(上接第 554 页)

参考文献: