

文章编号: 0253-2239(2001)11-1313-03

无源式光纤光栅空、时分复合复用传感系统*

余有龙¹⁾** 谭华耀²⁾ 王 骐¹⁾

1), 哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 哈尔滨 150001
2), 香港理工大学电机工程系, 香港

摘要: 受 1×3 光开关控制, 脉冲宽带光波被导入 3×5 光栅传感器阵列中待查询的任一光栅串, 根据传感元间光纤延时程度的不同, 利用电子程控开关, 对来自不同光栅信号的选择通导, 借助非平衡迈克耳孙扫描干涉仪对传感信息进行解调, 成功地实现了空、时分复合复用传感。

关键词: 光纤光栅; 传感网络; 时分复用; 空分复用; 时、空分复合复用; 干涉解调

中图分类号: TN253 文献标识码: A

1 引 言

光纤光栅(FBG)已成功用来对不同物理量进行传感^[1~5], 单光栅传感系统价格昂贵, 将诸多传感光栅组合起来进行分布式、网络化监测^[3, 6, 7], 可大幅度提高系统的性能价格比而引起人们的广泛关注。波分复用^[3]为常见的信号处理技术, 受光源带宽限制, 其复用数目有限。光在空间分布着的任一光栅串中传播时, 根据传感元间反射信号时序分布的差异进行分割, 构成空、时分复合复用传感网络, 则可查光栅的数目得以显著增加, 并使准分布式、立体化传感成为现实。选用匹配光栅串可减少成栅成本, 断裂时也便于替换。

本文借助 1×3 光开关和电子开关的控制以及非平衡迈克耳孙干涉仪解调技术, 对 3×5 光纤光栅传感器阵列进行了高精度的空、时分复合复用传感研究。

2 原理与实验结果

脉冲宽带信号经光栅串反射后进入一臂长差为 L 的非平衡迈克耳孙扫描干涉仪, 输出为

$$I = \sum_{i=1}^m I_i [1 + k_i \cos(\omega_0 t + \Delta\phi_i)], \quad (1)$$

其中 m 为呈等光程分布的光栅的数目, I_i 取决于光栅 i 的反射光强, 并与光路中的损耗有关, k_i 与条纹

的可见度有关, ω_0 为干涉仪扫描角频率。 i 光栅处的应变 ε_i 通过波长漂移引起的相移为

$$\Delta\phi_i = -\frac{4\pi n L}{\lambda} (1 - P_e) \varepsilon_i, \quad (2)$$

其中 n 为折射率, λ 为该光栅的布拉格波长, P_e 为光纤介质的有效弹光系数。干涉仪虽无法直接给出所需应变信息, 但若光源单一脉冲产生独立分布的 m 个反射脉冲, 且不同光源脉冲对应的反射信号不会重叠, 引入程控选择开关, 使得来自 i 光栅的信号通导, 其它均被阻隔, 滤掉载频信号, 用相位计观测相位变化便可监测该光栅处的应变信息。 $1 \times N$ 的光开关可按需要让光信号在 N 个匹配光栅串间切换, 则系统可查询光栅的数目将增至 N 倍, 并成为空、时分复合复用传感系统。

为验证上述功能, 设计如图 1 所示的装置。并列着的 3 个匹配光栅串中相邻光栅的间距为 51.75 m, 其布拉格波长自左至右分别为 1552.84 nm, 1555.54 nm, 1557.79 nm, 1558.65 nm 以及 1562.44 nm, 各光栅的长度均为 1 cm, 带宽约为 0.2 nm。脉冲宽带光源的平均输出功率为 0.75 mW。插入损耗约为 1 dB 的 1×3 光开关将之注入任一光栅串, 反射后由环形器耦合进入端镜反射率均接近 90% 的非平衡全光纤扫描迈克耳孙干涉仪, L 为 3.2 mm, M_2 所在的短臂缠绕在一压电陶瓷(PZT)上, 探测器将消光比为 0.3 的干涉输出转换为电信号, 放大后由电子开关选择通导。锯齿波驱动信号的频率为 80 Hz, 占空比接近于 1。

100 kHz 的时钟信号控制系统运作, 其占空比为 0.025, 幅值为 4 V, 直流电平为 -1.5 V; 它触发

* 香港研究资助局(RGC)资助课题(Polyu 5123/97E)。

** 通讯地址: 黑龙江大学光纤技术研究所

收稿日期: 2000-09-06; 收到修改稿日期: 2000-10-31

延时信号发生器, 与时钟信号同频、脉宽为 400 ns 的延时信号用来控制电子开关。延时量编程可控, 以确保被测信号到达时开关处于通导状态。设置延时量为 56 ns, 556 ns, 1056 ns, 1556 ns 以及 2056 ns 时开关分别只对来自 G_{i1} 、 G_{i2} 、 G_{i3} 、 G_{i4} 以及 G_{i5} ($i = 1, 2, 3$) 光栅的信号通导[图 2(a) 为 G_{22} 处于通导时的开关输出]。 G_{i1} ($i = 1, 2, 3$) 通导对应的延时量不为 0, 乃信号沿两个方向传至开关位置的时程差不为 0 所致。

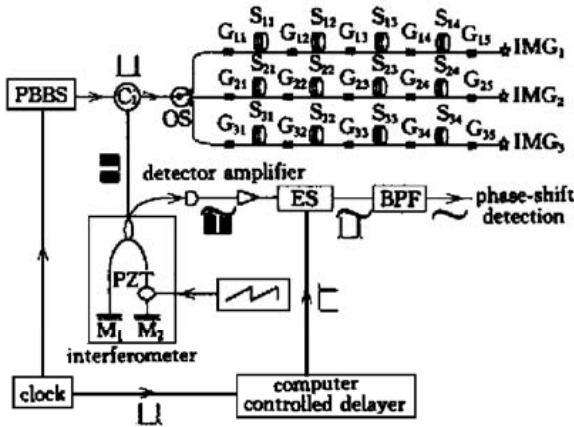


Fig. 1 Experimental arrangement. PBBS: pulsed broadband source; M_i ($i = 1, 2$): mirror; C: circulator; BPF: band-pass filter; S_{ij} ($i = 1, 2, 3; j = 1, 2, \dots, 4$): delay fiber coil; G_{ij} ($i = 1, 2, 3; j = 1, 2, \dots, 5$): sensor element; ES: electrical switch; OS: optical switch; IMG_i ($i = 1, 2, 3$): index matched glue

考察三光栅串中任一串的任一光栅 (如 G_{22}), 对应开关输出为调制的脉冲信号[图 2(b) 中曲线 1 所示], 经 [75, 85] Hz 带通滤波后见图 2(b) 中曲线 2 所示。应变不变时, 其位置不变。随着应变的增加, 曲线向左平移, 这表明扫描干涉仪将应力诱致的波长漂移变为输出条纹的相移, 从而证实干涉仪的解调功能。

图 3 表明两者间呈线性关系, 斜率 $1.6755^\circ/\mu\epsilon$ 是系统传感灵敏度的实验值。 $n = 1.4489$, $P_e = 0.22$, (2) 式确定的理论值为 $1.6739^\circ/\mu\epsilon$ 。改变延时量分别监测作用于 G_{21} 、 G_{23} 、 G_{24} 以及 G_{25} 上的应变。测得各自对应的灵敏度为 $1.6718^\circ/\mu\epsilon$, $1.6691^\circ/\mu\epsilon$ 、 $1.6684^\circ/\mu\epsilon$ 以及 $1.6637^\circ/\mu\epsilon$, 而它们的理论值分别为 $1.6768^\circ/\mu\epsilon$ 、 $1.6715^\circ/\mu\epsilon$ 、 $1.6706^\circ/\mu\epsilon$ 以及 $1.6665^\circ/\mu\epsilon$, 可见理论与实验结果基本一致; 其它两串光栅的结论大致相同, 从而证实了系统的传感探测能力。干涉仪两臂间光程差以及相位计的分辨率决定了系统的传感分辨率, 所用相位计能分辨 0.01° , 对应于 $6 \text{ n}\epsilon$ 的分辨能力。

相位计结合峰值计数器时, 系统应变测量范围主要取决于光栅的应变承受能力, 甚至可达到 $[-4000, 4000] \mu\epsilon$ 。

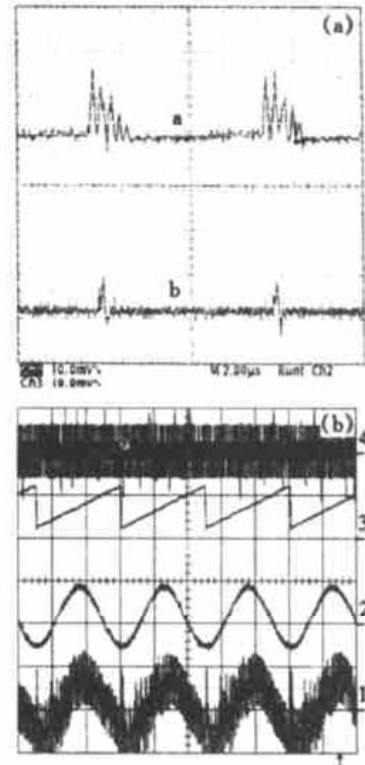


Fig. 2 Different signals. (a) a: input of ES; b: output of ES; (b) trace 1: output of ES; 2: output of BPF; 3: PZT driving signal; 4: clock signal. The horizontal scale of (b) is 5 ms/div, vertical, trace 1 and 2 are 50 mV/div, trace 3 and 4 are 10 and 1 V/div, respectively

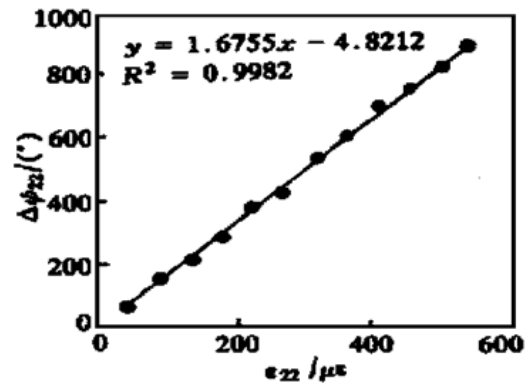


Fig. 3 Experimental plot of $\Delta\phi_{22}$ vs ϵ_{22} . R^2 : fitting coefficient

结论 根据不同位置光栅对同一脉冲光束反射时间的差异, 利用程控电子开关和 1×3 光开关选择通导, 采用非平衡迈克耳孙扫描干涉仪对应变信息进行解调, 成功地进行了 3×5 光栅阵列的空、时分复合复用传感探测, 传感灵敏度的实验值与理论值基本一致。本系统具备查询大量传感元的能力, 以植入方式用之对复合材料或其它结构的内应力分布进

行实时监测,使得皮蒙技术变为现实,在国防和民用工业中将具有广阔的应用前景。

参 考 文 献

- [1] Volanthen M, Geiger H, Cole M J *et al.*. Measurement of arbitrary strain profiles within fiber gratings. *Electron. Lett.*, 1996, **23**(11): 1028~ 1029
- [2] Xu M G, Geiger H, Dakin J P. Fiber grating pressure sensor with enhanced sensitivity using a glass bubble housing. *Electron. Lett.*, 1996, **32**(2): 128~ 129
- [3] Ball G A, Morey W W, Cheo P K. Fiber laser source/analyzer for Bragg grating sensor array interrogation. *J. Lightwave Technol.*, 1994, **12**(4): 700~ 703
- [4] Yu Youlong, Tam Hwayaw, Chung Wenghong *et al.*. Fiber Bragg grating sensor for simultaneous measurement of displacement and temperature. *Opt. Lett.*, 2000, **25**(16): 1141~ 1143
- [5] 余有龙,刘志国,耿淑伟等. 光纤光栅力传感器的无源温漂补偿技术. *光学学报*, 2000, **20**(3): 400~ 404
- [6] 余有龙,谭华耀,何海律等. 高分辨率单信道输出的光纤光栅传感系统时域地址查询技术. *光学学报*, 2001, **21**(7): 874877
- [7] Davis M A, Bellemore D G, Putnam M A *et al.*. Interrogation of 60 fiber Bragg grating sensors with microstrain resolution capability. *Electron. Lett.*, 1996, **32**(15): 1393~ 1394

Passive Fiber Bragg Grating Sensor System Using Combined Spatial- and Time-Division Multiplexing Technique

Yu Youlong¹⁾ Tam Hwayaw²⁾ Wang Qi¹⁾

1), *Institute of Opto-Electronics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001*

2), *Department of Electrical Engineering, Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong SAR*

(Received 6 September 2000; revised 31 October 2000)

Abstract: Controlled by an 1×3 optical switch, light from a pulsed broadband source was launched into one of 3 independent strings of 5 FBG sensors. By introducing suitable length of fiber as time delay between adjacent two gratings in the same string, the return signals can be selected by a programmable electric switch. Demodulation was achieved by using an unbalance Michelson scanning interferometer. Combined spatial- and time-division multiplexing operation was demonstrated successfully.

Key words: fiber Bragg grating; sensing network; spatial-division multiplexing; time-division multiplexing; combined spatial and time-division multiplexing; interferometric demodulation