

文章编号: 1671-7449(2026)05-0561-08

J. Test Measur. Technol., 2026, 40(5): 561-568.

面向光纤法珀腔压力传感器的高精度联合解调算法

魏月娟, 张斌*

(中北大学 软件学院, 山西 太原 030051)

摘要: 光纤压力传感器在航空航天、石油开采、环境监测等领域具有重要的应用前景。为解决现有压力传感器解调算法精度差的问题, 提出了一种基于傅里叶变换滤波(Fourier Transform Filtering, FTF)和最小均方差(Minimum Mean Squared Error, MMSE)的联合解调算法, 并通过高温热压键合技术制备了基于复合式法布里-珀罗腔的光纤膜片式压力传感器。该解调算法通过FTF实现空气腔光谱信号提取, 通过预测腔长构建模版光谱序列, 建立MMSE腔长匹配模型。仿真得到FTF-MMSE算法的腔长解调误差仅为0.0013%。为了验证解调算法的实际效果和传感器的性能, 搭建了压力传感器测试系统。实验结果表明, FTF-MMSE算法可以实现高精度的压力解调, 该传感器可以在0~5 MPa的压力范围内实现 $-2.51 \mu\text{m}/\text{MPa}$ 的高灵敏度, 具有较高的线性度(0.999), 且重复测试性能良好, 稳定性测试误差仅为0.0025%。

关键词: 光纤压力传感器; 法布里-珀罗腔; 高精度解调; 最小均方差算法; 高灵敏度

中图分类号: TP212

文献标识码: A

DOI: 10.62756/csjs.1671-7449.2026068

引用格式: 魏月娟, 张斌. 面向光纤法珀腔压力传感器的高精度联合解调算法[J]. 测试技术学报, 2026, 40(5): 561-568.

Wei Yuejuan, Zhang Bin. High-Precision joint demodulation algorithm for fiber-optic Fabry-Pérot cavity pressure sensor[J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2026, 40(5): 561-568.

High-Precision Joint Demodulation Algorithm for Fiber-Optic Fabry-Pérot Cavity Pressure Sensor

Wei Yuejuan, Zhang Bin*

(School of Software, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Fiber optic pressure sensors are in high demand across diverse industries, such as aerospace, oil extraction, and environmental monitoring. To address the issues of low sensitivity and poor measurement accuracy in existing pressure sensors, a joint demodulation algorithm based on Fourier transform filtering (FTF) and minimum mean squared error (MMSE) was proposed. Furthermore, an optical fiber diaphragm pressure sensor based on a composite Fabry-Pérot cavity was fabricated using high-temperature thermal compression bonding technology. The proposed algorithm accomplishes high-precision cavity length demodulation by leveraging a process which involves: Fourier filtering for signal extraction, predictive modeling for reference spectrum generation, and the establishment of an MMSE matching model. A demodulation error of merely 0.0013% for the cavity length was achieved by the FTF-MMSE algorithm in simulations. An experimental system for the pressure sensor was established to validate the practical

【收稿日期】2025-11-04

【修回日期】2026-02-28

【录用日期】2026-03-02

【作者简介】魏月娟(1981—), 女, 高级工程师, 硕士, 主要从事工程力学、智能检测等研究。E-mail: weiyuejuan@nuc.edu.cn。

*【通信作者】张斌(1979—), 男, 副教授, 博士, 主要从事图像处理、智能检测等研究。E-mail: zhangbin@nuc.edu.cn。

performance of the demodulation algorithm and the testing capabilities of the sensor. Experimental results demonstrate that the proposed FTF-MMSE algorithm achieves high-precision pressure demodulation. The sensor achieved a high sensitivity of $-2.51 \mu\text{m}/\text{MPa}$ over a range of $0\sim 5 \text{ MPa}$, with excellent linearity ($R^2=0.999$). It also demonstrated good repeatability, along with an outstanding stability test error of merely 0.0025% .

Key words: fiber-optic pressure sensor; Fabry-Pérot cavity; high-precision demodulation; minimum mean squared error algorithm; high sensitivity

0 引言

光纤压力传感器由于灵敏度高、响应速度快、耐高温、抗电磁干扰等优点^[1],在航空航天^[2]、环境监测^[3]、能源开采^[4]、石油化工^[5]等领域具有广泛的应用需求。多年来,科研人员进行了大量相关研究,开发了众多类型传感器,如基于马赫-曾德尔干涉仪^[6]、光纤布拉格光栅^[7]的压力传感器。相较于其他类型的传感器,基于光纤法布里-珀罗干涉仪(Fabry-Pérot Interferometer, FPI)制备的压力传感器结构简单、体积小、制造成本低,成为面向工业恶劣环境应用的理想方案^[8-9]。膜片式传感器是光纤FPI压力传感器的典型代表,其敏感膜片通常采用碳化硅、石英和蓝宝石等材料制备^[10-12],适用于燃气轮机和航空航天发动机等高温恶劣环境,已成为主流的研究方向^[13-14]。

光纤FPI压力传感器的主要解调方法包括寻峰法^[15]、傅里叶变换解调法^[16]、白光干涉相位解调法^[17]和互相关法^[18]等。寻峰法、傅里叶变换解调法均不受光谱自由谱宽的限制,可以实现较大范围的压力检测,但是其解调误差较大。白光干涉相位解调法利用光谱相位的变化进行解调,其解调精度有所提高,但是受到光谱波长范围的限制。互相关法可以实现较高的解调精度,但是运算过程较为复杂。

2019年,Guo等^[19]利用白光干涉扫描解调法进行复合FP腔的绝对腔长解调,实现了长度为 $60\sim 95 \mu\text{m}$ 的蓝宝石FP腔解调,在 $0\sim 2.9 \text{ MPa}$ 的压力范围内进行了测试,解调精度达到 0.04% 。2020年,Cui等^[20]利用白光干涉解调技术实现了全光纤双腔FPI传感器的解调,其压力测试范围较宽,为 $0\sim 10 \text{ MPa}$,但是腔长解调范围为 $614\sim 630 \mu\text{m}$,常温下的测试误差为 1.5% 。2021年,张鹏等^[21]开发了一种基于滤波与局部拟合的峰值解调方法,通过Savitzky-Golay算法抑制噪声,并结合洛伦兹函数进行拟合,该算法将腔长解调精度

提升至 $0.031 \mu\text{m}$,但该算法运算量较大,仅适用于 $10 \mu\text{m}$ 以下的腔长变化。2022年,Kang等^[22]将寻峰法与互相关法相结合实现了FP腔传感器的快速解调,解决了互相关算法计算量大的问题,在 $20\sim 130 \mu\text{m}$ 的腔长范围内实现了 2.62 nm 的腔长分辨率。为了减小测试误差,2024年,陈斯彤等^[23]提出了一种双峰级次解调算法,极大提高了腔长解调精度,实现解调误差小于 0.7 nm 。目前,航空航天等工业领域对光纤FPI压力传感器的性能提出了更高的要求,迫切需要开发高精度、高稳定性的解调算法,并研究高灵敏度、抗恶劣环境的压力传感器件。

本文为解决上述问题,提出了一种基于傅里叶变换滤波(Fourier Transform Filtering, FTF)和最小均方差运算(Minimum Mean Squared Error, MMSE)的联合解调算法,并通过光纤膜片式FP腔压力传感器进行实验验证。该解调算法通过FTF实现空气腔光谱信号提取,构建基于预测腔长的模版光谱序列,以实现高精度的腔长匹配运算,并通过MATLAB对该算法进行了仿真验证。为了验证解调算法与传感器的综合测试性能,搭建了实验系统,在 $0\sim 5 \text{ MPa}$ 对压力传感器进行了测试。实验证明了该解调算法与传感器的良好匹配,实现了高精度的压力解调。基于FTF-MMSE算法的压力传感技术在众多领域具有广阔的应用前景。

1 光纤FPI的基本原理

光纤FPI是一种基于多光束干涉原理的光学结构,通常由两个平行反射平面组成。来自同一光源的入射光在FPI内会发生多次反射与折射,具有不同光程的反射光在光纤中叠加形成干涉。在忽略半波损耗的情况下,任意两束相邻光束之间的相位差均相同,可以表示为

$$\varphi = \frac{4\pi}{\lambda} nL \cos \theta_1, \quad (1)$$

式中: n 为FPI腔内的折射率; L 为FPI的腔长;

λ 为真空中光波长; θ_i 为折射角。根据多光束干涉理论,所有反射光束形成的干涉信号可以表示为反射光强 I_r 与入射光强 I_0 之比,即

$$I = \frac{I_r}{I_0} = \frac{4R \sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)}{(1-R)^2 + 4R \sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)} \quad (2)$$

图 1 所示为膜片式光纤压力传感器结构,膜片四周被固定。在外界压力作用下,膜片会发生机械形变,向内弯曲,导致FPI的腔长减小。根据弹性力学原理,膜片的形变量 L_p 可以表示为

$$L_p = \frac{3(1-\mu^2)}{16Eh^3} r^4 P, \quad (3)$$

式中: E 为杨氏模量; μ 为泊松比; r 为膜片半径; h 为膜片厚度; P 为施加的压力。

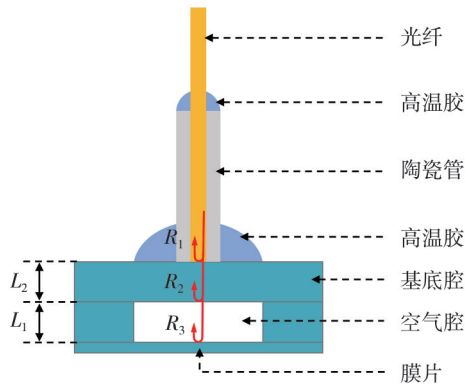


图 1 膜片式光纤 FPI 压力传感结构

Fig. 1 Diaphragm optical fiber FPI pressure sensing structure

膜片式压力传感器的灵敏度可以表示为

$$L_p = \frac{dL_p}{dP} = \frac{3(1-\mu^2)}{16E} \cdot \frac{r^4}{h^3} \quad (4)$$

膜片的形变量与施加的压力大小为近似线性的关系,膜片中心的形变量等同于FPI腔长的变化。因此,可以通过检测传感器腔长的变化来实现压力的检测。从式(3)和式(4)可知,膜片式光纤FPI传感器的压力灵敏度与膜片半径的四次方成正比,与膜片厚度的三次方成反比,同时还受膜片材料的泊松比和杨氏模量影响。因此,如果想要提高灵敏度,通常选用泊松比小、杨氏模量低的膜片材料,并尽可能增大膜片半径,减小膜片厚度。然而,这样的设计会限制传感器的压力检测范围。若需检测较大压力,则要反向调整参数,例如采用更小半径或更大厚度的膜片。在实际传感器设计中,必须根据具体测量需求,在灵敏度与检测范围之间做出合理权衡,以优化膜片参数配置。

2 FPI 传感器解调算法

为实现对上述FPI压力传感器的高精度解调,本文提出一种FTF-MMSE自适应联合解调算法。该算法通过傅里叶变换结合带通滤波实现空气腔光谱信号提取,然后由双峰法估算腔长,通过设定合适的腔长步进构建预测腔长序列,再基于预测腔长序列生成模板光谱,最后将空气腔光谱与模板光谱进行均方差计算,通过确定最小均方差得到真实的腔长值。

本文所提出的FTF-MMSE联合解调算法的流程如图 2 所示。设置如图 1 所示FPI传感器的基底腔腔长为 1 500 μm ,空气腔腔长为 300 μm ,利用MATLAB软件仿真运行该解调算法。下面结合程序仿真结果详细阐述利用FTF-MMSE算法进行腔长解调的具体过程。

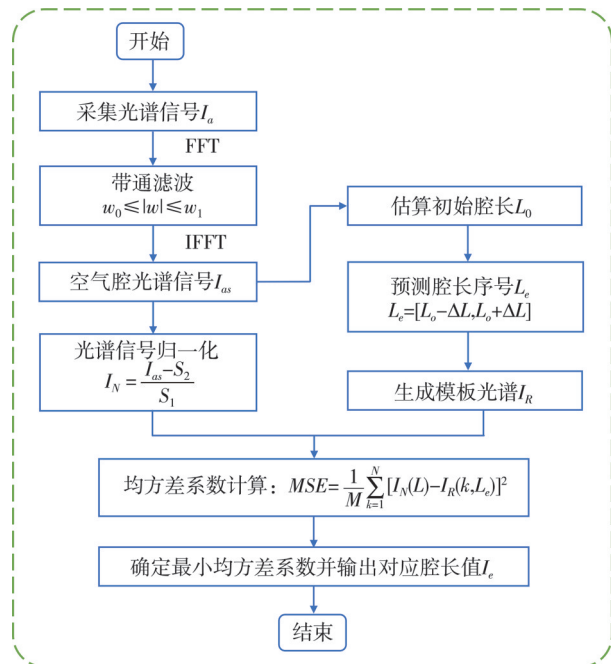


图 2 FTF-MMSE解调算法总体流程

Fig. 2 Overall process of FTF-MMSE demodulation algorithm

算法初始化后首先完成传感器反射光谱信号的采集,其光谱为基底FP腔和空气FP腔的级联光谱,如图 3(a) 所示,并将其定义为 I_a 。利用快速傅里叶变换(Fast Fourier Transform, FFT)将 I_a 信号转换为频域信号 $F(\omega)$,转换后的频域信号如图 3(b) 所示。

图 3(b) 中的频域信号存在 3 个频率峰值,第 1 个峰对应空气腔频率,第 2 个峰对应基底腔频率,第 3 个峰为空气腔和基底腔频率的叠加。当

外界压力改变时,膜片形变导致的空气腔腔长变化将引起频率的偏移。因此,需要通过带通滤波器来提取空气腔光谱, ω_0 和 ω_1 分别为带通滤波器的起始频率和截止频率。带通滤波后的信号只保留了空气腔光谱所对应的频率,如图3(c)所示。接着,对带通滤波后的频域信号执行快速傅里叶逆变换(IFFT),还原空气腔干涉光谱信号曲线(I_{as}),如图3(d)所示。信号 I_{as} 在振幅强度上是不标准的,幅值存在差异,无法进行匹配计算,需要

对其进行归一化处理。信号振幅归一化为

$$I_N = \frac{I_{as} - S_2}{S_1}, \quad (5)$$

式中: I_N 为归一化后的空气腔光谱; S_1 和 S_2 分别为光谱信号 I_{as} 的上、下包络线。如图3(e)所示,蓝色曲线为上包络线 S_1 ,绿色曲线为下包络线 S_2 。振幅归一化后的标准干涉光谱如图3(f)所示,其幅值位于0~1之间,但自由光谱范围与传感器空气腔光谱一致。

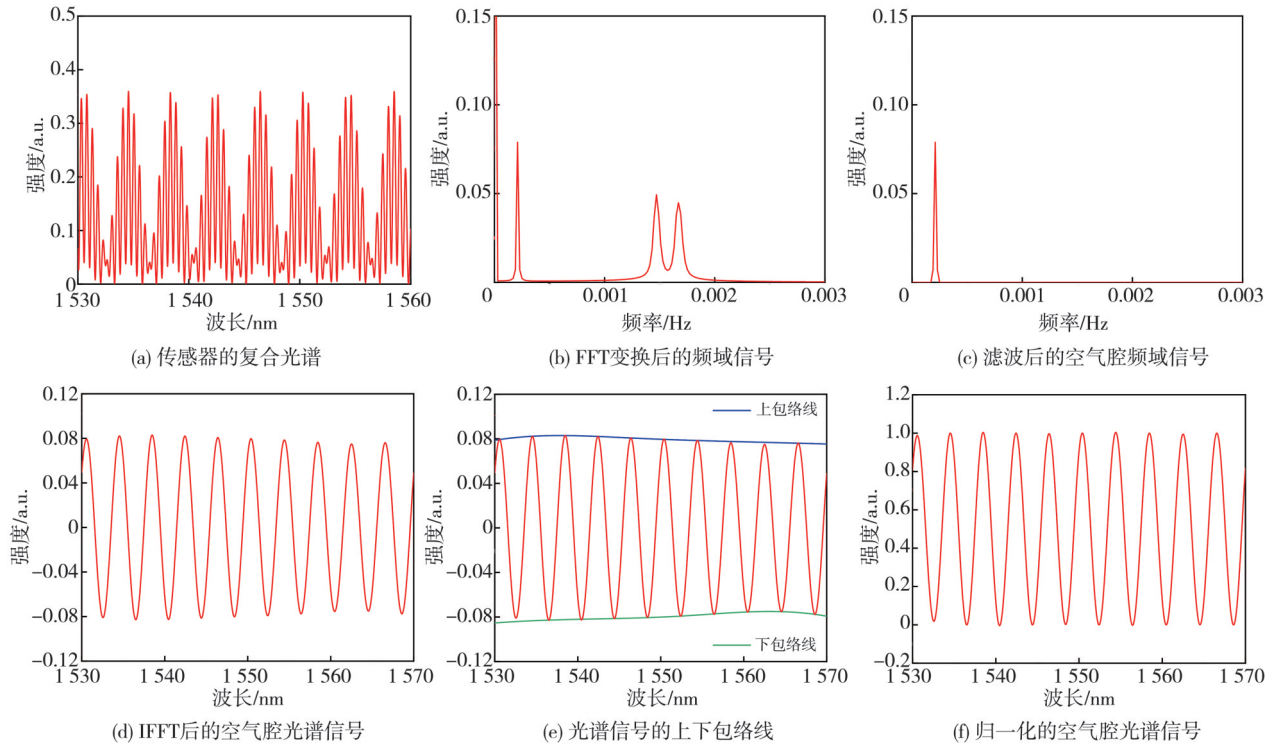


图3 FTF-MMSE联合解调算法的仿真运行结果

Fig. 3 Simulation results of FTF-MMSE joint demodulation algorithm

MMSE求解腔长算法本质上是一种实际腔长和预测腔长的匹配算法,该算法需要给出一个估算的腔长值 L_0 作为基准,其可利用双峰法公式计算得到,

$$L_0 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_2 - \lambda_1)}. \quad (6)$$

通过在 L_0 两端以间隔1 nm延长适当的长度 ΔL ,得到预测的腔长值序列 L_e 为

$$L_e = [L_0 - \Delta L, L_0 + \Delta L]. \quad (7)$$

接着,将腔长值序列 L_e 中的每个预测值都代入式(2),构造模板光谱序列 I_R 。预测腔长值与模版光谱都是一一对应的,根据模版光谱就可以确定具体的预测腔长值。

通过将归一化后的空气腔光谱和模版光谱进行MSE计算,可得到预测腔长与MSE系数的对

应关系,计算公式为

$$MSE = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^N [I_N(L) - I_R(k, L_e)]^2, \quad (8)$$

式中: $I_N(L)$ 为归一化后的空气腔光谱信号; $I_R(k, L_e)$ 为预测腔长值生成的模版光谱序列; M 为传感器光谱的采样点数; N 为预测腔长值的样本数量。根据MMSE算法原理和式(8)可知,当MSE系数最小时,其对应的预测腔长即为真实腔长值。

图4显示了一组预测腔长为290~310 μm 的MSE运算结果,其中,最小值对应的腔长 L'_e 为300.003 8 μm ,腔长解调误差仅为0.001 3%。该结果证明了本文所提FTF-MMSE算法具有超高的腔长解调精度。此外,该算法的分辨率取决于预测值的步进间隔,减小间隔可以带来更高的解调精度,但是其计算量呈现指数倍的增加。

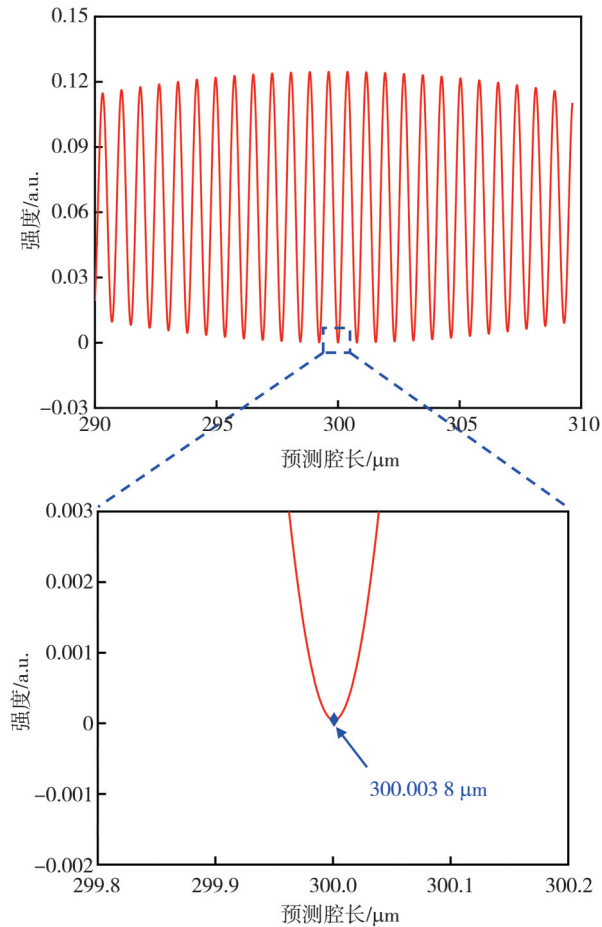


图4 MSE系数与预测腔长的对应关系

Fig. 4 Relationship between MSE coefficient and predicted cavity length

3 实验验证

为了验证解调算法的性能,基于图1所示的结构原理制备了FPI膜片式压力传感器,如图5所示。其中,在传感器的光路对准过程中,利用高精度位移台进行光谱调节,确定最佳位置后,利用无机胶固定光纤与敏感芯片。该传感器敏感芯体的基底腔厚度约为 $899.63\ \mu\text{m}$,膜片厚度约为 $211.18\ \mu\text{m}$,空气腔腔长约为 $430.81\ \mu\text{m}$,空气腔直径为 $3\ 843.48\ \mu\text{m}$ 。

利用光谱仪可以观察到该传感器在 $1\ 530\sim 1\ 560\ \text{nm}$ 波长范围内的复合反射光谱如图6所示,可以看出光谱的干涉效应明显,信号对比度约为 $2\ \text{dB}$ 。基底腔和空气腔的光谱呈现明显的周期性,有利于FFT后的信号提取,为传感器信号的高精度解调和测试奠定了基础。

为了测试所提出的解调算法与传感器的综合性能,搭建了如图7所示的压力测试系统。

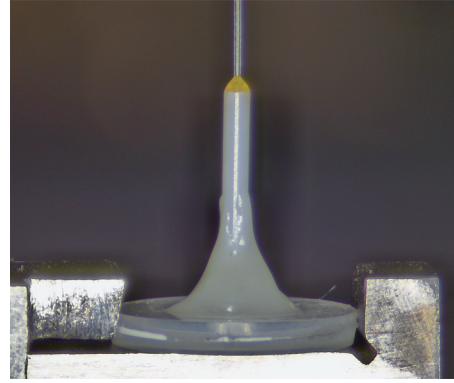


图5 压力传感器实物图

Fig. 5 Physical diagram of pressure sensor

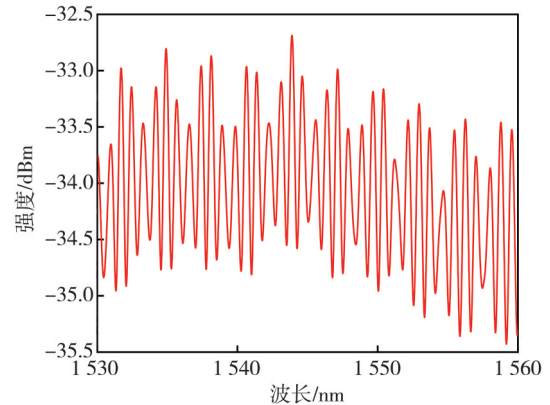


图6 传感器的复合反射光谱

Fig. 6 Composite reflectance spectrum of sensor

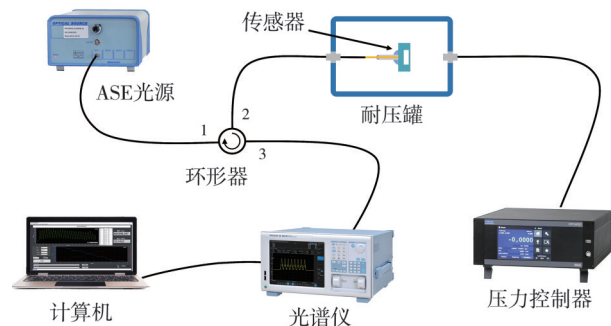


图7 压力传感器性能测试系统图

Fig. 7 System diagram for pressure performance test of sensor

该系统主要包括ASE光源、环形器、光谱仪、计算机、耐压罐、压力控制器,以及待测传感器。ASE光源的最大光功率输出为 $20\ \text{mW}$,覆盖 $1\ 530\sim 1\ 600\ \text{nm}$ 波长范围,其发出的光经过环形器2端口进入传感器中形成反射光谱,再经过环形器3端口传输到光谱仪采集光谱信号,然后将光谱信号传输到计算机,利用所提出的FTF-MMSE算法进行解调,并将结果直观显示在上位机界面中。传感器被放置在一个钢制耐压罐中,可以通过压力控制器来调节耐压罐中的压力。压力控制器内部具有标准压力表,可以实时显示耐压罐中的压力。

灵敏度是传感器最重要、最核心的性能指标,描述传感器在稳态工作情况下,其输出变化量与输入变化量之间的比值。灵敏度测试时,利用压力控制器将耐压罐中的压力从0 MPa升高到5 MPa,步进为1 MPa;然后,将压力以相同的步进降到0 MPa,测试结果如图8所示。在升压和降压的过程中,该传感器表现出良好的线性响应,拟合系数均大于0.999。传感器在升压和降压过程中均表现出高灵敏度的特性,压力灵敏度分别为 $-2.51 \mu\text{m}/\text{MPa}$ 和 $-2.50 \mu\text{m}/\text{MPa}$ 。根据图8的测试结果,可以得到最大迟滞误差为0.79%,处于较低的误差水平,证明了传感器的高精度特性。

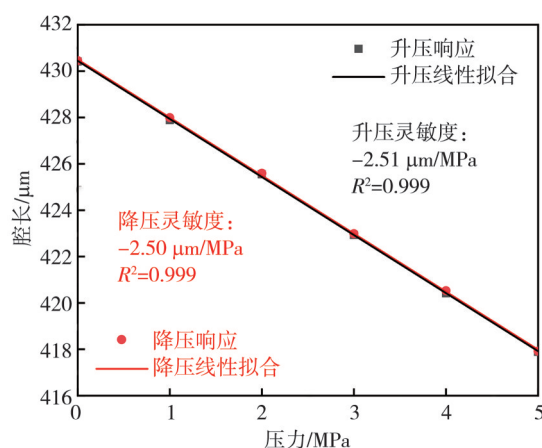


图8 传感器的灵敏度测试结果

Fig. 8 Sensitivity test results of sensor

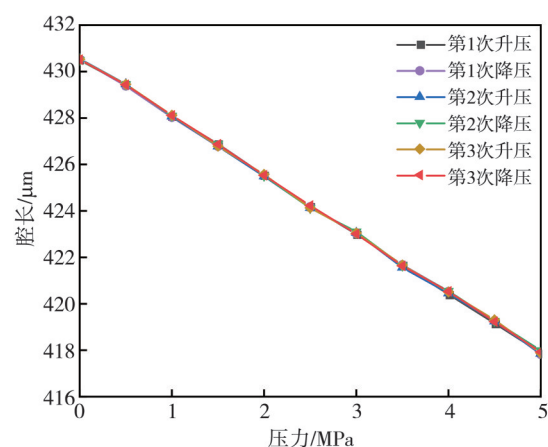
为了探究该传感器在重复测试中的性能,利用压力控制器以0.5 MPa为间隔,在0~5 MPa范围内对其进行了3次升压、降压的循环测试,测试结果如图9(a)所示。该传感器在3次重复测试中表现出较高的一致性,重复性误差 δ 为

$$\delta = \frac{\Delta L}{L_{F.S.}} \times 100\%, \quad (9)$$

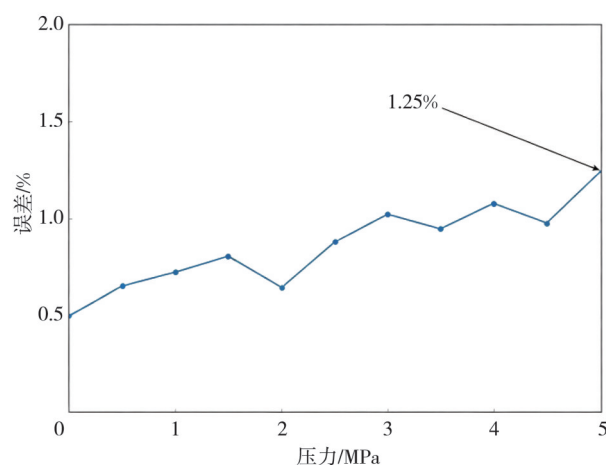
式中: ΔL 为3次重复测试中空气腔长度变化曲线的差值; $L_{F.S.}$ 为在压力从0~5 MPa变化过程中总的空气腔长度变化。通过式(9)计算得到的各个压力点的误差如图9(b)所示,误差总体呈现随压力增大而增加的趋势,5 MPa时的最大误差为1.25%。重复性测试结果表明该传感器具有良好的重复性。

传感器的稳定性也是评价其性能的重要指标。通过压力控制器将耐压罐中的压力设置为5 MPa,并保持60 min,记录传感器腔长的解调结果,测试结果如图10所示。传感器在60 min内的

腔长变化量为0.31 nm,对应于0.12 kPa的压力变化量。对于5 MPa的压力,稳定性的误差仅为0.002 5%,这一实验结果表明该传感器具有卓越的稳定性,且FTF-MMSE算法具有较高的解调精度。



(a) 传感器的重复性测试结果



(b) 各压力点误差

图9 传感器测试重复性及误差

Fig. 9 Repetition test results for sensor

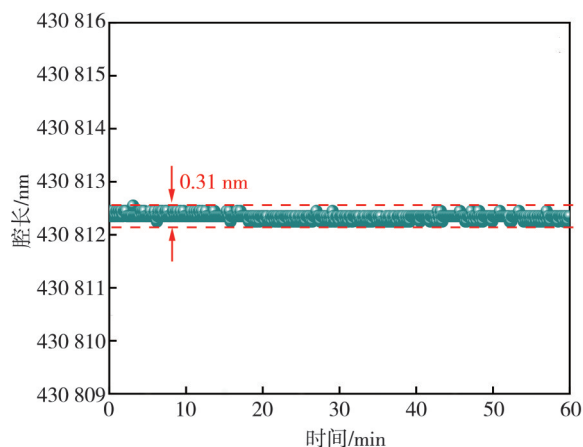


图10 传感器的稳定性测试结果

Fig. 10 Stability test result of sensor

通过全面的实验验证,证明了传感器具有高灵敏度、高稳定性的测试性能,且本文所提出的 FTF-MMSE 算法具有超高的解调精度,非常适用于此类压力传感器的解调。基于该算法的压力传感器具有巨大的应用潜力,可以在航空航天等众多工业领域布置应用。

4 结 论

本文提出了一种基于傅里叶变换滤波和最小均方差运算的自适应联合解调算法(FTF-MMSE 算法),并制备了基于复合式 FP 腔的光纤膜片式压力传感器。该算法通过 FTF 算法实现空气腔光谱信号提取,并构建了基于预测腔长的模版光谱序列,建立了 MMSE-腔长匹配模型,实现了高精度的腔长解调。算法仿真结果表明,其腔长解调误差仅为 0.001 3%。此外,搭建了压力传感器实验系统,对解调算法和传感器性能进行测试验证。实验结果表明,基于 FTF-MMSE 算法的传感器可以在 0~5 MPa 的压力范围内实现 $-2.51 \mu\text{m}/\text{MPa}$ 的高灵敏度,线性度大于 0.999,且具有良好的重复测试性能,稳定性测试误差仅为 0.002 5%。实验结果证明了该传感器可以在较大的范围内实现高精度的压力检测,可以在众多工业领域布置应用。

利益冲突声明/Conflict of Interests

所有作者声明不存在利益冲突。

All authors declare no relevant conflict of interests.

参考文献

- [1] Jiang Y, Ding W. Recent developments in fiber optic spectral white-light interferometry[J]. Photonic Sensors, 2011, 1(1): 62-71.
- [2] Dai X, Wang S, Jiang J, et al. High-sensitive MEMS Fabry-Perot pressure sensor employing an internal-external cavity Vernier effect[J]. Optics Express, 2022, 30(18): 31840-31851.
- [3] Zhu X, Jiang C, Chen H, et al. Ultrasensitive gas pressure sensor based on two parallel Fabry-Perot interferometers and enhanced Vernier effect[J]. Optics & Laser Technology, 2023, 158: 108755.
- [4] Chen Y, Xu Q, Zhang X, et al. Materials and sensing mechanisms for high-temperature pressure sensors: a review[J]. IEEE Sensors Journal, 2023, 23(22): 26910-26924.
- [5] Xu D, Feng D, Chen Q, et al. Small-sized temperature and pressure sensors based on fiber Bragg grating for oil and gas wells[J]. Sensors and Actuators A: Physical, 2023, 357: 114397.
- [6] Hu J, Jiang C, Deng L, et al. Ultra-high sensitivity gas pressure sensor based on cascaded Mach-Zehnder interferometer and Sagnac interferometer[J]. Optik, 2023, 276: 170655.
- [7] Chen Y, Luo W, Jiao B, et al. Reflective all-fiber integrated sensor for simultaneous gas pressure and temperature sensing[J]. Journal of Lightwave Technology, 2024, 42(1): 463-469.
- [8] Qiu H, Tian J, Yao Y. Ultrasensitive refractive index fiber sensor based on high-order harmonic Vernier effect and a cascaded FPI[J]. Optics Express, 2023, 31(8): 13053-13064.
- [9] 陈宝杰, 刘佳, 贾平岗, 等. 基于 FBG 温度解耦的光纤法布里-珀罗高温压力传感器[J]. 测试技术学报, 2020, 34(4): 321-326.
Chen Baojie, Liu Jia, Jia Pinggang, et al. Fiber-optic Fabry-Perot pressure sensor based on FBG temperature-decoupling for high-temperature applications[J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2020, 34(4): 321-326. (in Chinese)
- [10] Li H, Liu J, Sheng T, et al. All-SiC fiber-optic sensor for pressure and temperature dual-mode sensing in harsh environments[J]. Sensors and Actuators A: Physical, 2024, 373: 115388.
- [11] Liu B, Luo J, Liu S, et al. A probe-shaped sensor with FBG and fiber-tip bubble for pressure and temperature sensing[J]. Photonic Sensors, 2021, 11(4): 411-417.
- [12] Li J, Jia P, Fang G, et al. Batch-producible all-silica fiber-optic Fabry-Perot pressure sensor for high-temperature applications up to 800 °C[J]. Sensors and Actuators A: Physical, 2022, 334: 113363.
- [13] Shao Z, Chen M, Shan Z, et al. High sensitivity all sapphire-based optical fiber Fabry-Perot pressure sensor for harsh environment[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2024, 73: 9515009.
- [14] Zhang Y, Jiang Y, Deng H, et al. All-sapphire-based optical fiber pressure sensor with an ultra-wide pressure range based on femtosecond laser micromachining and direct bonding[J]. Optics Express, 2023, 31(25): 41967-41978.
- [15] Chen H, Zhang Y, Li Y, et al. Squared peak-to-peak algorithm for the spectral interrogation of short-cavity

- fiber-optic Fabry-Perot sensors [J]. *Applied Optics*, 2020, 59(4): 1198.
- [16] 侯怀书, 张毅. 基于超声短时傅里叶变换的液压管路内油液压力测量方法研究[J]. *机床与液压*, 2022, 50(7): 74-77.
- Hou Huaishu, Zhang Yi. Research on measurement method of oil pressure in hydraulic pipeline based on ultrasonic short time Fourier transform [J]. *Machine Tool & Hydraulics*, 2022, 50(7): 74-77. (in Chinese)
- [17] Qi B, Winder D E, Liu Y. Quadrature phase-shifted optical demodulator for low-coherence fiber-optic Fabry-Perot interferometric sensors [J]. *Optics Express*, 2019, 27(5): 7319-7329.
- [18] 申雅峰, 江毅, 隋广慧. 光纤压力传感器测量的最小偏差腔长解调算法[J]. *计量学报*, 2023, 44(8): 1235-1239.
- Shen Yafeng, Jiang Yi, Sui Guanghui. Minimum-deviation demodulation algorithm for measurement of fiber optic pressure sensors[J]. *Acta Metrologica Sinica*, 2023, 44(8): 1235-1239. (in Chinese)
- [19] Guo Z, Lü W, Wang W, et al. Absolute single cavity length interrogation of fiber-optic compound fabry-perot pressure sensors through a white light non-scanning correlation method [J]. *Sensors*, 2019, 19(7): 1628.
- [20] Cui Y, Jiang Y, Liu T, et al. A dual-cavity fabry-perot interferometric fiber-optic sensor for the simultaneous measurement of high-temperature and high-gas-pressure[J]. *IEEE Access*, 2020, 8: 80582-80587.
- [21] 张鹏, 葛益娴, 顾钦顺, 等. 短腔干涉式光纤微压传感器解调方法研究[J]. *传感技术学报*, 2021, 34(5): 609-614.
- Zhang Peng, Ge Yixian, Gu Qinshun, et al. Research on demodulation method of short cavity interferometric optical fiber micropressure sensor[J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2021, 34(5): 609-614. (in Chinese)
- [22] Kang J, Chen H, Zhang X, et al. Valley-positioning-assisted discrete cross-correlation algorithm for fast cavity length interrogation of fiber-optic Fabry-Perot sensors[J]. *Measurement*, 2022, 198: 111411.
- [23] 陈斯彤, 王伟, 周立凡, 等. FP传感器双峰级次腔长解调算法[J]. *光电子·激光*, 2024, 35(2): 128-134.
- Chen Sitong, Wang Wei, Zhou Lifan, et al. Peak-to-peak and interference order cavity length demodulation algorithm for FP sensors[J]. *Journal of Optoelectronics·Laser*, 2024, 35(2): 128-134. (in Chinese)