

一种 3×3 耦合器相位解调算法在光纤拾音系统中的应用

时帅¹,肖宁²

(1.中国电子科技集团公司 第三十四研究所,广西 桂林 541004; 2.桂林理工大学 博文管理学院,广西 桂林 541004)

摘要:为了提高光纤拾音系统中耦合器解调相位的精度,提出了一种 3×3 耦合器相位解调算法,该算法在 3×3 耦合器解调的基础上,先利用迭代运算补偿 2 路干涉信号的直流成分,再解调音频信号。音频测量实验结果表明:该算法可有效地还原音频信号,实用性较强。

关键词:光纤拾音;耦合器;解调算法

中图分类号:TN929 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-5561(2020)03-0049-03

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2020.03.012

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application of 3×3 coupler phase demodulation algorithm in optical fiber pickup system

SHI Shuai¹, XIAO Ning²

(1. The 34th Research Institute of CETC, Guilin Guangxi 541004, China;

2. Bowen College of Management, Guilin University of technology, Guilin Guangxi 541004, China)

Abstract: In order to improve the precision of demodulation phase of coupler in optical fiber pickup system, a 3×3 coupler phase demodulation algorithm is proposed in this paper. Based on the demodulation of 3×3 coupler, this algorithm firstly compensates the direct current component of two interference signals by iterative operation, and then demodulates the audio signal. The experimental results of audio measurement show that this algorithm can effectively restore audio signal and it is practical.

Key words: fiber pickup; coupler; demodulation algorithm

0 引言

随着光纤传感器^[1]的广泛应用,光纤麦克风^[2,3]也成为光纤传感器的研究热点。而干涉型光纤麦克风^[4,5]是基于相位变化检测信号的机理,具有灵敏度高、应用广泛的特点。

干涉型光纤传感的解调一般利用相位生成载波技术^[6]和基于 3×3 光纤耦合器干涉的解调技术^[7]。大连理工大学罗先卫^[8]研究了光纤拾音的相位生成载波解调技术,实现了光频内调制方案的相位生成载波解调

系统,并且利用载波二三倍频解调信号,解决光源调制带来的多次谐波问题。但由于高通滤波器和调制频率等因素的影响,该技术在低频段和高频段信号解调较差。文献[9]研究了基于波导调制器的光纤拾音系统,利用光纤波导调制器代替压电陶瓷调制,克服了调制的高频限制和非线性效应,并且使用相位载波零差解调算法实现了语音弱信号的拾取^[9]。该方法虽然很好地还原了音频信号,但是成本太高。

本文提出一种 3×3 耦合器的相位解调算法,该算法在软件上补偿 2 路干涉信号的直流成分,以实现相位信号的解调。

1 3×3 耦合器解调原理及相位解调算法

干涉型光纤拾音系统的结构如图 1 所示。激光由光源发出,送入 3×3 耦合器,耦合器通过延长线与拾音探头形成环路,拾音探头由百米裸纤缠绕而成。当声压作用于拾音探头时,根据赛格纳克效应,光纤中顺时针和逆时针方向上的 2 束光存在一个相位延迟

收稿日期:2019-03-09。

基金项目:广西技术创新引导专项(桂科 AC16380117)资助;广西区高校科研项目(2018KY0853)资助。

作者简介:时帅(1984-),男,黑龙江林口人,硕士,工程师,主要研究方向为光纤传感技术、信号处理与检测技术。从事光纤安防产品的研发,多次参与广西重大科技项目、广西区高校科研项目以及广西技术创新引导项目等。



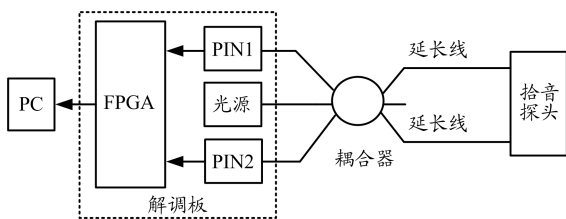


图1 干涉型光纤拾音系统

量,这样光电探测器(PIN)上就可以探测到干涉光强的变化。解调板上现场可编程门阵列(FPGA)通过网口将2路干涉光信号的数据传至计算机(PC)解调。

根据文献[10],3×3 耦合器输出的2路信号经光电转换和高通滤波后可表示为 $X_1(t)$ 、 $X_2(t)$:

$$X_1(t) = A_1 \cos(\Delta\varphi(t) + \alpha_1) - A_1 \cos\alpha_1 \quad (1)$$

$$X_2(t) = A_2 \cos(\Delta\varphi(t) + \alpha_2) - A_2 \cos\alpha_2 \quad (2)$$

其中, $\Delta\varphi(t)$ 为2路干涉信号的相位差, A_1 、 A_2 是光电转换后产生的幅度系数, α_1 、 α_2 为系统初始相位, $A_1 \cos\alpha_1$ 、 $A_2 \cos\alpha_2$ 是2路信号高通滤波后的直流分量。只要从信号中解调出 $\Delta\varphi(t)$, 即可还原音频信号。本文提出的解调算法流程图如图2所示。

虽然电路对信号隔直处理可以提高输出信号的动态范围,但是信号经过高通滤波后仍然含有一定直流成分。由于解调算法要完整地还原相位,需要准确地补偿直流信号,所以解调算法首先对2路干涉信号直流补偿,补偿后的2路信号与其微分信号交叉相乘,经过减法器后再积分,进而求得带有系数的相位差信号。为了能够精确补偿直流信号,本文利用实时接收数据的最大值与最小值的迭代计算。以 $X_1(t)$ 为例,设置平均值 $X_1(t)_{\text{mean}}$ 和补偿直流量 $X_1(t)_{\text{comp}}$ 的初始值为0,算法存储实时数据的最大值 $X_1(t)_{\text{max}}$ 和最小值 $X_1(t)_{\text{min}}$,一旦最大值或最小值有变化,立即求新的 $X_1(t)_{\text{mean}}$,迭代计算补偿直流量 $X_1(t)_{\text{comp}}$:

$$X_1(t)_{\text{mean}} = \frac{X_1(t)_{\text{max}} + X_1(t)_{\text{min}}}{2} \quad (2)$$

$$X_1(t)_{\text{comp}} = X_1(t)_{\text{comp}} \times (1 - \beta) + X_1(t)_{\text{mean}} \times \beta \quad (3)$$

其中, β 为更新因子。

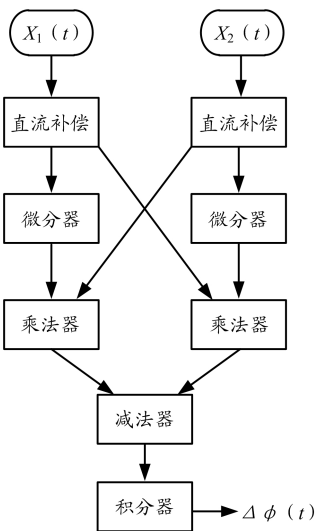


图2 解调算法流程图

2 实验分析

现场实验的光路如图3所示。实验中,光源选用波长为1310 nm、最高发光功率为10 mW的宽带光源,谱宽为40 nm;PIN的响应度为0.85 A/W,更新因子 β 取0.5;光纤为普通标准单模光纤;音响距离拾音器1 m,输出500 Hz的单音频,比较原始干涉信号与本文算法解调信号的功率谱如图4所示。可以看出,原始干涉信号的频率中含有高次谐波成分,不利于音频信号的恢复;而本文算法解调的信号频率与音响输出的频率一致性高,音频还原性好。

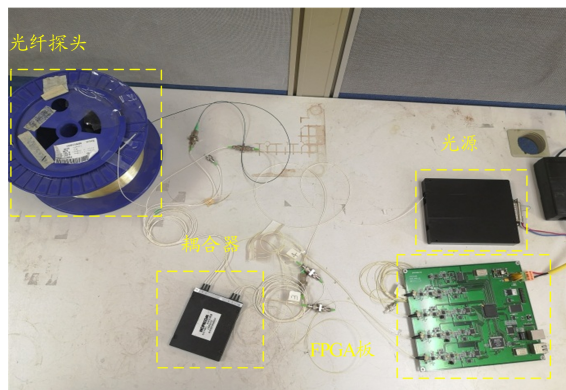


图3 实验光路图

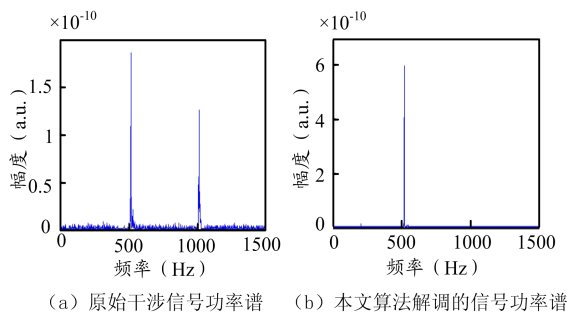


图4 功率谱密度

由于人的语音信号频率范围在300 Hz~3.4 kHz之间,因此测试本文所提解调算法在该频率范围解调的稳定性。实验条件不变,算法对单音频信号解调测试,解调信号的频率响应如图5所示。“*”为实测不同频率的激励下解调算法输出信号强度;实线为惠威某型号音响在300 Hz~3.5 kHz范围的输出声压频率响应曲线。从图5可知,在该频率范围内解调算法输出的信号响应与音响输出基本保持一致,输出差异在0.3 dB以内。

同一频率下不同声压强度的单频率音频信号的测试结果如图6所示。图中所用的单频信号为1 kHz,调整音频振幅使音响输出声压强度为-80~

-40 dB 递增,观察本算法解调信号的强度。图 6 中,“o”是理想情况下音响声压的强度,“*”是解调信号的强度,可以看出,本文所提解调算法还原信号的强度与音响声压强度具有良好的线性关系。

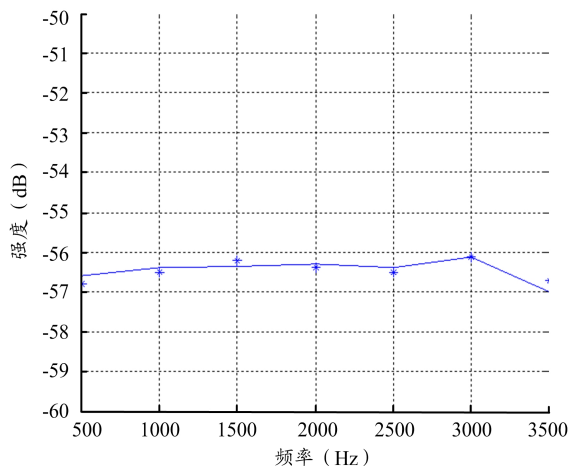


图 5 解调算法频率响应

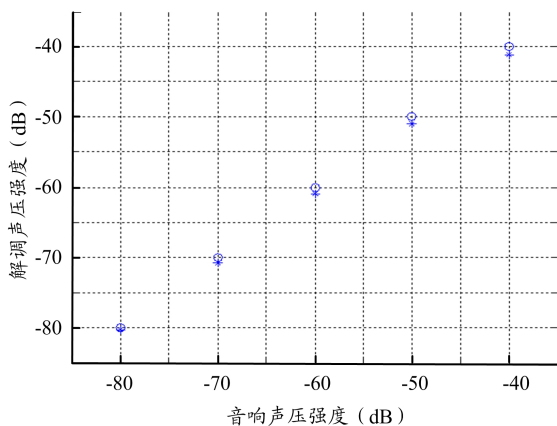


图 6 1 kHz 单频信号的强度响应

3 结束语

本文不仅在理论上论证了一种干涉型光纤拾音解调算法的可行性,并且完成了实验分析与验证。该解调算法在 3×3 耦合器相位解调的基础上,补偿 2 路干涉信号的直流成分,完整还原了音频信号。虽然该解调算法复杂,但是不需要载波,光路结构简单、成本低,为光纤拾音技术的进一步研究提供了有效的参考价值。

参考文献:

- [1] 廖延彪. 我国光纤传感技术现状和展望 [J]. 光电子技术与信息, 2003, 16(5): 1-6.
- [2] BUSH J, MCNAIR F. Low-Cost Fiber Optical Interferometric Microphones and Hydrophones[J]. IBER OPTIC AND LASER SENSORS, 1994, 22(9): 83-84.
- [3] 周书铨,等. 光纤声传感器研究[J]. 声学学报, 1995, 20(6): 469-472.
- [4] 蒋永梁,徐海英,黄晋竹. 光纤麦克风的理论和实验研究[J]. 传感技术学报, 2004, 17(4): 713-715.
- [5] 廖延彪. 光纤光学[M]. 北京:清华大学出版社, 2000.
- [6] DANBRIDGE A, TVETEN A B, GIALLORENZI T G. Homodyne Demodulation Scheme for Fiber Optic Sensors Using Phase Generated Carrier [J]. IEEE Microwave Theory Tech, 1982, MTT-30(10): 1635-1641.
- [7] ZHAO Z Q, SULEYMAN D M, Mark MacAlpine. Improved Demodulation Scheme for Fiber Optic interferometer Using an Asymmetric 3×3 Coupler[J]. Light wave Technology, 1997, 15(11): 2059-2068.
- [8] 罗先卫. 法布里-珀罗干涉型光纤麦克风 PGC 解调技术研究[D]. 大连:大连理工大学, 2015.
- [9] ZHANG C G, ZHEN S L, et al. A New Fiber-optic microphone Based on Waveguide Modulator[J]. SPIE, 2009, 19(1): 33-35.
- [10] CHEN D S, XIAO L, CUI J, et al. Analysis of 3X3 couple demodulation method for optical fiber interferometers and polarization fading [J]. Journal of Optoelectronics, Laser, 2007, 18(5): 523-525.

审稿专家邀请函

尊敬的各位专家学者:

您好!

《光通信技术》是中国电子科技集团公司主管、中国电子科技集团公司第三十四研究所主办的学术刊物, 1977 年创刊。为进一步提高办刊质量, 完善和丰富现有审稿专家库, 提高审稿质量和效率, 现诚邀国内外光通信领域的优秀专家参与我刊的审稿工作, 相信您的加入将极大地促进我刊的发展。

我刊的审稿专家遴选条件如下: ①具有正高级职称。②精通或擅长光通信技术某一方面或多方面的发展前沿与动态, 能对论文给出精准的审读意见。③热爱审稿工作, 能按时完成审稿并对所审稿件严格保密。

本刊现采用 2 种审稿方式(在线审稿系统、邮件审稿), 每月结算一次审稿报酬(通过银行转账方式)。如有意成为《光通信技术》审稿专家者, 请登录本刊网站下载、填写“审稿专家登记表”, 以电子邮件附件形式返回至 E-mail: OPTICAL263@163.com, 经编辑部研究讨论通过后, 将正式成为本刊的审稿专家。

衷心感谢各位专家学者长期以来对《光通信技术》工作的关心和支持。

《光通信技术》编辑部