

·光电系统·

## AFVISAR 系统的优化设计及其分析

吴家祺,何禹铭,黄智君,叶荣健,谢希凡

(华南师范大学信息光电子科技学院,广东 广州 510006)

**摘要:**为解决传统 VISAR 在速度快速变化时容易丢失干涉条纹和系统结构复杂造成的实际应用成本压力等问题,使激光干涉测速技术在实际环境下更加简便易用,针对 AFVISAR 系统进行仿真分析,并结合实验平台进行相关优化改进,提出了一种基于 1 550 nm 波长单模光纤的双耦合改进型 AFVISAR 系统,该系统测量值与实际值其回归拟合关系系数  $R^2$  值趋近 1,其测速误差范围控制在 1% 以内.理论分析与实验结果均表明,改进型 AFVISAR 系统具有功耗小、插入损耗小、成本低、易于与其他光纤器件耦合或集成和易于计算机数据化修正处理等特点.

**关键词:** AFVISAR; 全光纤速度; 干涉; Labview; 回归分析

**中图分类号:** TH744

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-1255-(2012)01-0001-04

## Optimizational Design and Analysis of AFVISAR System

WU Jia-qi, HE Yu-ming, HUANG Zhi-jun, YE Rong-jian, XIE Xi-fan

(School of Information and Optoelectronic Science and Engineering, South China Normal University, Guangzhou 510006, China)

**Abstract:** In order to make the laser interferometer can be used more conveniently in practical environment due to the problems of the loss of interference fringes when the velocity changes quickly in VISAR system and the high cost of the complex structure of the system, AFVISAR system is simulated and analyzed, combining with the optimized improvement of the experimental platform, the dual-coupling improved AFVISAR system based on single-mode fiber in the wavelength of 1 550 nm is proposed. The coefficient  $R^2$  of the regression relationship between the measured value and the real one is close to 1 and the error of measured velocity is limited less than 1%. The theoretical analysis and the experimental results show that the improved system is characterized by small power, low insertion loss and low cost and it can be easily coupled by other optical fiber devices and be modified by the datimization of computers.

**Key words:** AFVISAR; all-fiber velocity; interference; Labview; regression analysis

激光测速发展过程中出现的两个主要的技术:速度干涉测速技术与位移干涉测速技术。采用速度干涉技术对系统组件的带宽要求较低,而位移干涉技术具有更高的测量灵敏度。随着电子、光电子和计算机等组件的不断发展,同时由于光纤具有结构简单和插入损耗小等特点,使得光纤干涉技术近年来成为激光测速的重要研究发展方向。20世纪90年

代初以色列人 L. Levin 提出一种光纤速度干涉仪 (FIVASR)<sup>[1]</sup>,在测量低速运动方面表现出了明显优势。国内哈尔滨工程大学和电子科技大学<sup>[2-5]</sup>等科研机构也随即进行了相关研究,取得了一定进展,但仍存在 VISAR 在速度快速变化时容易丢失干涉条纹和系统结构复杂造成的实际应用成本压力等问题。为解决相关问题,使激光干涉测速技术在实际应用环

收稿日期:2011-12-26

基金项目:国家大学生创新性实验项目(C1025316);广东省大学生创新性实验项目(C1019916);华南师范大学大学生创新性实验项目(52400416)

作者简介:吴家祺(1989-),男,广东广州人,学士,主要研究方向为光通信和光传输。

境下更加简便易用,针对FVISAR系统进行相关分析与改进实验,提出了一种基于1 550 nm单模光纤、双耦合改进型的AFVISAR测速系统。

## 1 工作原理及仿真

系统采用的激光光源为1 550 nm波长的DFB激光器(19),经过隔离器后,直接连入分光比为1:1的2×2光纤耦合器A(10)的输入端口(1),光纤耦合器A(10)和光纤耦合器B(11)相连,其中延迟臂(9)采用50 m波长为1 550 nm单模光纤,所有无源光器件采用FC/APC接口,光纤耦合器(11)的输出端口(7)、(8)、(20)接入光纤准直器,其中端口(20)为扩展端口,根据需求可调整数量使耦合器B变为2×N的光纤耦合器,(18)为供测试的运动物体。高灵敏度的PIN检测管(14)输出端接入放大器AD8628(15)进行放大,采用NI公司的数据采集卡PCI-6221进行出具采集并进行Labview软件数据处理(16)。测试实验中采用喇叭振动作为对象,在喇叭振动表面贴上高反射率的平面镜作为实验对象,以方便采集信号。

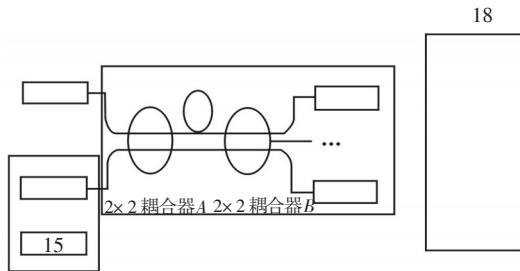


图1 全光纤速度干涉系统基本原理图

### 1.1 AFVISAR系统优化理论推导

在光纤中,空间相干因素若忽略,只考虑时间相干,产生干涉的两束光的光程差为 $x_b - x_a = \Delta s$ ,由波动光学中光的干涉理论原理<sup>[6]</sup>知检测到的光强为

$$I \propto A + \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \Delta s\right) \quad (1)$$

由多普勒频移效应,在径向和低速情况下近似为

$$\nu' = \nu \left(1 + \frac{u}{c}\right) = \nu + \frac{u}{\lambda} \quad (2)$$

其中, $\nu$ 是光源与接收器相对静止时光源发出的光的频率, $u$ 是光源与接收器相对速度.所以,进入光纤的光的频率为

$$\nu' = \nu \left(1 + \frac{u}{c}\right)^2 \approx \nu \left(1 + \frac{2u}{c}\right) \quad (3)$$

检测到的两束光 $I_{AB}$ , $I_{BA}$ ,频率分别为

$$\nu_a = \nu \left(1 + \frac{2u_a}{c}\right), \nu_b = \nu \left(1 + \frac{2u_b}{c}\right) \quad (4)$$

其差频为

$$\nu_b - \nu_a = \frac{2(u_b - u_a)}{\lambda} \quad (5)$$

检测到的两束光分别为 $E_{AB}$ , $E_{BA}$ ,总光强为

$$I \propto |E_{AB} + E_{BA}|^2 = (e^{-i(2\pi\nu_a)t + \phi_a} + e^{-i(2\pi\nu_b)t + \phi_b})(e^{i(2\pi\nu_a)t + \phi_a} + e^{i(2\pi\nu_b)t + \phi_b}) = 2 + 2 \cos\left(\frac{4\pi}{\lambda}(u_b - u_a)t + (\phi_b - \phi_a)\right) \quad (6)$$

若不考虑相位的变化,可知光强的频率是 $\frac{4\pi}{\lambda}(u_b - u_a)$ ,所以

$$I = (|E_{AB} + E_{BA}|^2 + |E_{AA}|^2 + |E_{BB}|^2) \frac{I_F r}{8} = \frac{I_F r}{8} (4 + 2 \cos\left(\frac{4\pi}{\lambda}(u_b - u_a)t + (\phi_b - \phi_a)\right)) = \frac{I_F r}{2} + \frac{I_F r}{4} \cos\left(\frac{4\pi}{\lambda}(u_b - u_a)t + (\phi_b - \phi_a)\right) \quad (7)$$

其中, $I_F$ 是激光出射光强, $r$ 是出光纤的光强到进光纤的光强比值。

### 1.2 AFVISAR系统基于Labview仿真分析

在分析有关相干理论的基础上,重点分析器件的实际选取情况,分别从光源的功率、耦合器分光比、损耗等方面出发来考虑器件选取的分析改进,得出新的仪器系统配置在实现功耗小、插入损耗小、成本低、易于与其他光纤器件耦合的功能基础上,更要有利于精确测量。仿真实验利用Labview平台,构建了匀速、匀变速和变加速3种基本测速模型,提出了一种基于工作波长为1 550 nm,由单模光纤和2×2耦合器组成的改进型全光纤速度系统(图1)及测量物体运动模型程序(图2)。在仿真结果(图3)中,匀速、匀变速和变加速3种基本测速模型与理论推导结果符合,同时有利于为实验平台设定相关参数<sup>[7]</sup>。

## 2 实验结果与分析

根据国际电工协会IEC581标准<sup>[8]</sup>和GB/T14277-93国家标准<sup>[9]</sup>,测量其分别在100 Hz、500 Hz、和1 000 Hz三种频率情况在200 mV、1 V和5 V的信号,并作数据分析处理。如喇叭在频率为50 Hz,幅度为5 V的正弦波驱动下,采集信号在Labview平台进行高通滤波处理,得到的测量干涉曲线与实际

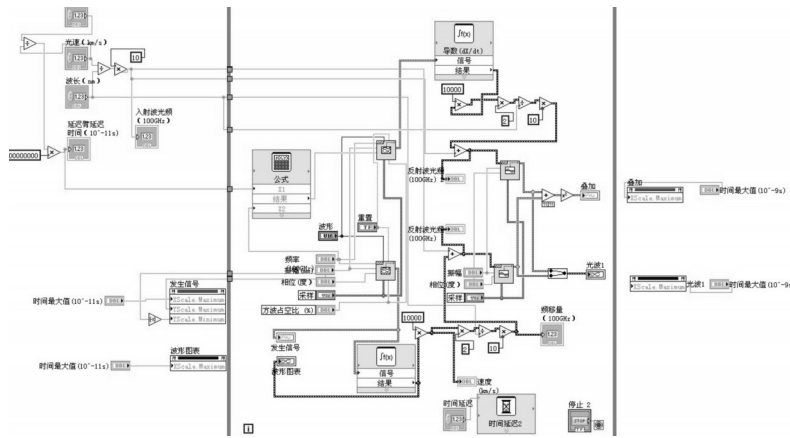


图2 测量物体运动模型程序

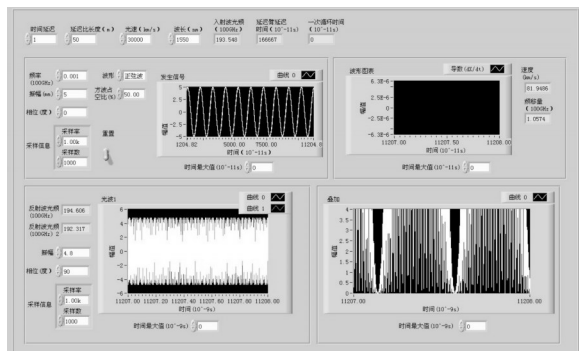


图3 Labview显示仿真测量结果

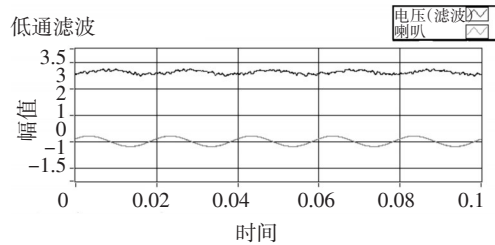


图4 示波器中系统测量值与实际运动值的情况

驱动曲线如图4所示。从图4可以看出,干涉曲线低速时,频率与原频率下相等,存在 $\pi$ 的相位差。

系统在1~2 S达到稳定状态下,可选取任意一个波峰到一个波谷间的数据为采集样本。忽略阻尼问

题与喇叭机械问题,可认为喇叭实际速度与 $\Delta Y$ (光强,对应示波器光电转换后的电压值)映射,而 $\Delta Y$ 与 $\Delta L$ (喇叭与反射面距离)也存在映射关系,由每无限小时段三角 $\Delta L$ 与时间比值得的平均速度即为该中间时刻点的瞬间速度值。为便于与理论计算结果进行比较,根据表1的数据绘出了系统测量值与实际运

表1 采用不同频率状态下时测量值与实际运动值的拟合情况

Dependent Variable:VAR00010

方程	模型概述					参数估算			
	$R^2$	F	df1	df2	sig	常数	b1	b2	b3
线性方程	0.988	7 059.800	1	89	0.000	243.333	0.001		
对数方程	0.762	284.300	1	89	0.000	199.664	5.801		
倒数	0.120	12.121	1	89	0.001	255.539	-3 252.381		
二次方程	0.991	4 956.178	2	88	0.000	242.421	0.001	-4.3E-009	
三次方程	1.000	65 956.239	3	87	0.000	244.044	0.000	3.43E-008	-7.3E-013
联合方程	0.987	6 565.472	1	89	0.000	243.482	1.000		
功率方程	0.767	293.158	1	89	0.000	204.867	0.023		
S方程	0.122	12.388	1	89	0.001	5.543	-12.924		
生长方程	0.987	6 565.472	1	89	0.000	5.495	2.49E-006		
指数方程	0.987	6 565.472	1	89	0.000	243.482	2.49E-006		
逻辑斯蒂方程	0.987	6 565.472	1	89	0.000	0.004	1.000		

The independent variable is VAR00011

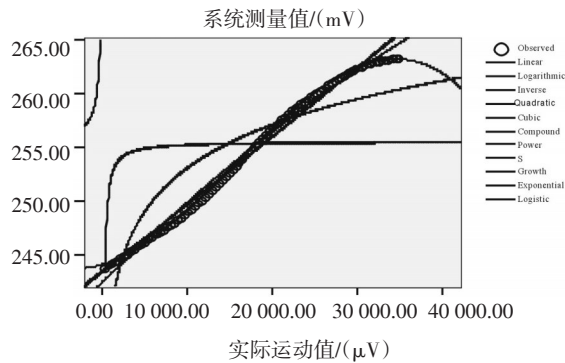


图5 500 Hz时系统测量值与实际运动值的拟合曲线

动值的拟合曲线,如图5中带圆圈的点线是实际采样值,图5中的实线是根据表1的理论计算拟合结果,将采集到的数据进行回归分析得,三次方关系模型中 $R^2$ 为1.00,说明在各种关系模型中三次方关系模型拟合程度最高, $F$ 值达到65 956,说明该模型解析信度很高。

表2 采用不同频率状态下时测量值与实际运动值的三次方拟合关系 $R^2$ 值

$R^2$	100 Hz	500 Hz	5 kHz
200 mV	0.992	1.000	0.999
1 V	1.000	1.000	0.995
5 V	1.000	1.000	0.992

注:回归分析中 $R^2$ 值愈趋近1,表示拟合效果愈好。

表3 500 Hz时,通过拟合曲线修正后的测量值与实际运动值的误差

Error Rate	200 mV	1 V	5 V
500 Hz	4.346‰	0.756‰	7.81‰

在表2中,100 Hz和500 Hz在1V和5 V下三次方拟合关系的回归系数 $R^2$ 趋近1,显示在低速运动效果最为明显.根据表1,以在500 Hz为例,修正后的测量值表示为

$$v_{\text{测}} = 244.044 + 3.43 \times 10^{-8} v^2 - 7.3 \times 10^{-13} v^3 \quad (8)$$

同理,可通过每段曲线得出其测量值与实际运动值的对应关系.将另外一组同段的实际测量数据代入式(8),误差均少于1%(表3)。与行业标准JB/T5610-2006<sup>[10]</sup>要求符合。而回归拟合所得的修正测量值与实际运动值所产生的误差,主要由于探测头与振动方向有微小偏离。

### 3 结 论

提出了一种基于1 550 nm波长单模光纤的双耦合改进型AFVISAR系统的优化结构,理论计算、仿真和实验均表明,该系统测量值与实际值其拟合关系 $R^2$ 值趋近1,喇叭驱动频率为500 Hz时,其测速误差范围能控制在1%以内,在低于1 kHz的低速运动效果最为明显.利用本研究结果设计的干涉测速器比传统FVISAR系统更具有衰减调节范围大且功耗小、插入损耗小、制作成本低、无偏振特性、便于与光纤和光纤器件耦合等优点,非常适合用于各种实际测速应用.此外,本设计可推广应用于多角度或多探测头的实际测速器研制——使用具有良好的环境稳定性和良好的传输特性等优点的光纤材料作为信号传输载体,运用多个对称式可调角度的探测头,解决振动抖动所产生的误差问题,同时随着光纤材料的不断发展,进而可实现更精确的便携应用.而研究中进行的多角度或多探测头检测相关的工作,将另文进行介绍。

### 参考文献

- [1] Levin L, Tzach P, Shamir J. Fiber optical velocity interferometer with very short coherence length light source[J]. Rev Sci Instrum, 1996, 67(4):1434-1437.
- [2] 林志恒. 基于LabVIEW的干涉型光纤加速度计的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学, 2008.
- [3] 聂小燕. 一种全光纤速度传感器的研究[D]. 成都:电子科技大学, 2006.
- [4] 李卓轩, 裴丽, 祁春慧, 等. 光纤光栅分布式传感器信号解调技术[J]. 光电技术应用, 2009, 24(5):50-53.
- [5] 夏东明, 姜淑琴, 温晓栋, 等. 干涉型光纤传感器相位载波解调技术研究[J]. 光电技术应用, 2011, 26(5):47-51.
- [6] 郁道银. 工程光学[M]. 北京:机械工业出版社, 2008, 306-307.
- [7] 吴家祺, 何禹铭, 黄智君, 等. 基于LABVIEW的全光纤速度干涉系统的仿真研究[J]. 华南师范大学学报, 2010, B06: 71-74.
- [8] 国际电工协会IEC581标准[S]. 国际电工协会, 1990.
- [9] 中华人民共和国国家标准GB/T14277-93音频组合设备通用技术条件[S]. 国家技术监督局, 1993.
- [10] 中华人民共和国机械行业标准JB/T5610-2006激光干涉仪[S]. 国家发展和改革委员会, 2007, 2-3.