

文章编号: 0258-702X(2002)01-0073-03

# 全光纤干涉系统用于光纤长度测量实验

贾 波, 钱松荣, 华中一

(复旦大学通信科学与工程系, 上海 200433)

胡 力, 叶昆珍

(电子科技大学光纤重点实验室, 四川 成都 610054)

**提要** 利用全光纤干涉系统, 提出了光纤长度测量的新方法, 与传统的基于时域反射(OTDR)法相比, 该方法完全消除了 OTDR 的盲区。通过实验, 验证了该方法的可靠性和理论分析的正确性。

**关键词** 全光纤干涉系统, 光纤长度测量, 振动源

中图分类号 TN 247 文献标识码 A

## Optic Fiber Length Measurement Using All-fiber Interferometer

JIA Bo<sup>1</sup>, QIAN Song-rong<sup>1</sup>, HUA Zhong-yi<sup>1</sup>, HU Li<sup>2</sup>, YE Kun-zheng<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>The Dept. of Communication Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433)  
(<sup>2</sup>Key National Optic Lab. Of U. E. S. C., Chengdu 610054)

**Abstract** Using the all-fiber interferometer, a novel method of optic fiber length measurement is proposed in this paper and the all fiber interferometer for fiber length measurement is constructed. Through the experiment, the principle of the system is proved properly and the system's measuring purpose is realized.

**Key words** all fiber interferometer, optic fiber length measurement, oscillation source

## 1 引言

随着光纤通信技术的迅猛发展, 工程中和光缆生产中对光缆长度的测量不可避免。目前, 普遍采用的光纤长度测试仪器是时域反射法(OTDR)。但是, 该仪器存在盲区, 即在光前长度小于一定范围内无法实现测定功能; 并且, 由于该仪器体积较为庞大, 不便于携带野外作业。所以, 体积小、携带方便、无盲区的全光纤长度测量仪具有实际的应用价值。本文利用全光纤干涉仪的工作原理, 提出了一种全新的、无盲区的光纤长度测量系统, 通过实验, 验证了对该系统理论分析的正确性和实际应用的可行性。全光纤干涉系统由速度干涉仪发展而来<sup>[1~4]</sup>。

## 2 系统分析

全光纤长度测量仪主要包括全光纤干涉系统<sup>[1~4]</sup>、光纤长度测量端、振动源和数据处理系统,

其结构如图 1 所示。与文献[1]所介绍的全光纤干涉仪相比, 被测光纤代替了延时光纤, 假设测量光纤产生的时间延迟为  $\tau$

$$\tau = \frac{n_{\text{eff}}L}{c} \quad (1)$$

$c$  为真空中的光速,  $L$  为被测光纤长度,  $n_{\text{eff}}$  为光纤的等效折射率。

根据全光纤干涉系统的工作原理<sup>[1~3]</sup>, 干涉条纹数  $N(t)$  与振动速度  $V(t')$  的关系可表示为

$$N(t) = \frac{2}{\lambda} \int_{-\tau}^t V(t') dt' \quad (2)$$

式中,  $\lambda$  为激光器的工作波长。

如果振动源产生的振动速度为角频率  $\omega$ , 振幅为  $A$  的正弦速度

$$V(t) = A\omega \cos(\omega t) \quad (3)$$

将(3)式代入(2)式, 利用三角函数的和差化积可得

$$N(t) = \frac{2A\omega}{\lambda} \tau \cos[\omega(t - \tau/2)] \quad (4)$$

收稿日期 2001-01-10; 收到修改稿日期 2001-02-15

基金项目: 上海市博士后基金和中国博士后基金资助项目。

作者简介: 贾波(1971—), 男, 四川绵阳人, 复旦大学博士后, 主要从事全光通信研究。E-mail: jibll@citiz.net

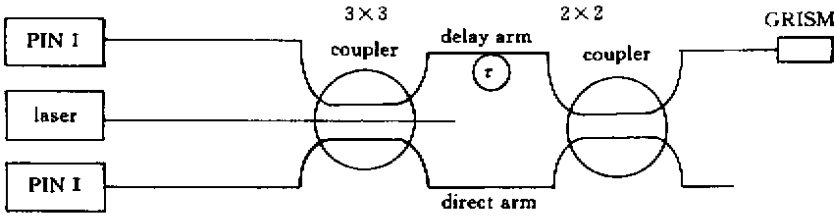


图 1 全光纤干涉系统  
Fig.1 All-fiber interferometer system

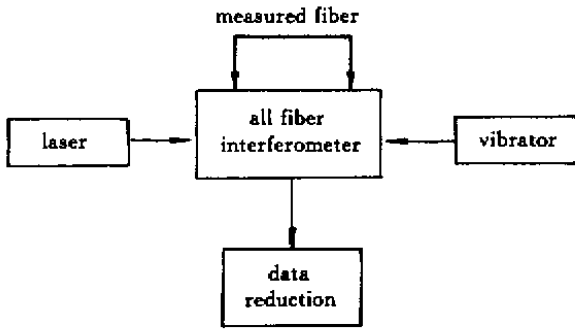


图 2 光纤长度测量系统  
Fig.2 Optic fiber length measuring system

### 3 实验研究

实验中,采用喇叭作为系统的振动源,信号发生器产生的正弦电流为喇叭的驱动电流,喇叭的振动速度与驱动电流同相,改变电流的频率,可改变喇叭的振动频率。由于喇叭的振动具有周期性,根据(4)式,干涉曲线也具有周期性。通过干涉曲线的周期变化规律,可以验证系统的重复性和稳定性。应该指出的是,由于振动速度的周期性,在一个周期内,运动方向改变一次,所以,得到的最大干涉条纹数应该是同一个运动方向上的总干涉条纹数。为了说明干涉曲线与振动源的关系,在图3所示干涉曲线中,给出了喇叭的速度(驱动电流)曲线。

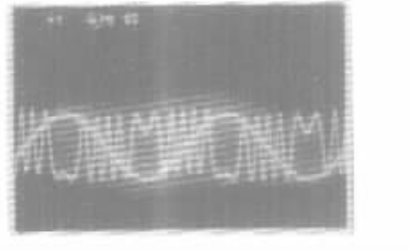


图 3 干涉曲线和喇叭驱动电流  
Fig.3 Light interfere curve and driving electric current

上式中利用了关系

$$\omega\tau \ll 1 \quad (5)$$

实际上,由于振动频率可以任意选取(一般可取100Hz左右),在光纤等效折射率  $n_{\text{eff}} = 1.5$  时,根据(1)式,可计算出  $L = 1000 \text{ m}$  时,  $\tau = 5 \mu\text{s}$ 。所以,不等式(5)容易满足。

根据(4)式,在  $\cos[\omega(t - \tau/2)] = \pm 1$  时,得到最大干涉条纹数  $N_{\text{max}}$

$$N_{\text{max}} = \frac{2A\omega}{\lambda} \tau \quad (6)$$

由(6)式可以看出,最大干涉条纹数与延时  $\tau$  成正比,这正是我们所设计的光纤长度测量仪的工作原理。如果  $A$  和  $\omega$  为已知,在计算出最大干涉条纹数的前提下,利用(6)(1)式,可得到光纤的长度

$$L = \frac{c\lambda}{2n_{\text{eff}}\omega A} N_{\text{max}} \quad (7)$$

如果保持振动源不变,在已知基准光纤长度  $L_0$  和未知待测光纤长度  $L$  下分别测得最大干涉条纹数  $N_{\text{max}0}$  和  $N_{\text{max}}$ ,利用(7)式,可得

$$L = \frac{N_{\text{max}}}{N_{\text{max}0}} L_0 \quad (8)$$

为了利用(8)式来测量光纤长度,先利用 OTDR 测量出一段光纤的长度为  $L_0 = 1450 \text{ m}$ ,喇叭驱动电流频率为 100 Hz,得到的干涉曲线如图3所示。在图3中,正弦曲线为驱动电流曲线,干涉条纹曲线为光电探测器输出的电压曲线,其峰-峰值为 15 mV。

从图3可以看出,干涉曲线与驱动电流的周期变化规律一致,验证了系统的重复性和稳定性相当高。同一运动方向,在电流极值处得到最大干涉条纹数,这与前面的理论分析一致。根据专门的数据处理程序<sup>[5]</sup>,得到最大干涉条纹数  $N_{\text{max}0} = 4.71$ 。

在振动源不变的前提下,改变光纤长度,测得干涉曲线如图4所示。

利用计算软件,可得  $N_{\max} = 7.01$ 。根据(8)式,可计算出光纤长度  $L = 2160.5$  m。利用 OTDR 测得光纤长度为  $L' = 2165$  m,在误差范围内,利用光纤干涉系统测得的实验结果与 OTDR 测得的结果一致。

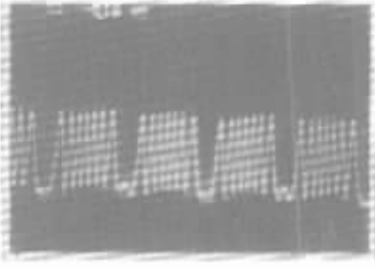


图4 改变光纤长度下的干涉曲线

Fig.4 Light interfere curve with different measuring optic-fiber length

## 4 误差分析

根据公式(8),误差主要来源于干涉条纹的计数和基准光纤长度  $L_0$  的确定。对于后者,可以很容易地通过精确测量达到减小误差的目的。通过增加光电探测器的灵敏度和探测放大电路的测量精度,可以提高干涉条纹的精度。我们编写的数据处理程序,采取双精度数据类型,所以数据处理误差可以忽略不计。根据(7)式,在一定的测量光纤长度

下,增加振动源的频率和振幅可以增加干涉条纹数。根据文献[5],通过成倍增大干涉条纹可成倍减小测量误差。

## 5 结论

利用光纤干涉系统,针对传统的光纤长度测量技术中存在的问题,设计了新的测试系统。该系统克服了时域反射法在光纤长度较短情况下无法测量的缺陷。通过实验,验证了对光纤长度测量系统工作原理分析的正确性。将光纤干涉系统的测量结果与 OTDR 的测量结果进行比较,在误差范围内,得到一致的结果。

## 参 考 文 献

- 1 R. J. Clifton. Analysis of the laser velocity interferometer [ J ]. *J. Appl. Phys.*, 1970, **41**( 13 ) 5335 ~ 5337
- 2 L. Levin, D. Tzach, J. Shamir. Fiber optic velocity interferometer with very short coherence length light source [ J ]. *Rev. Sci. Instrum.*, 1996, **67**( 4 ):1434 ~ 1437
- 3 David J. Erskine, Nellis W. Holmes. White-light velocimetry [ J ]. *Nature*, 1995, **377**( 6547 ) 317 ~ 320
- 4 B. Jia, L. Hu. Fiber-optic interferometer for measuring low velocity of diffusely reflecting surface [ J ]. *Microwave and Optical Technology Letters*, 1999, **22**( 4 ) 231 ~ 234
- 5 Jia Bo. Doctoral dissertation of National Key Lab. of University of Electronic Science and Technology of China [ D ], 2000. 67 ~ 76 ( in Chinese )