

文章编号: 1005-5630(2014)05-0385-04

基于波分复用的光纤入侵探测系统

徐 镒, 许海燕, 艾 鑫, 唐 璜

(复旦大学 材料科学系, 上海 200433)

摘要: 提出在光纤入侵探测系统中应用波分复用(WDM)技术,以进一步精简系统架构。该系统将不同干涉子系统通过不同波长加以区分,并利用波分复用技术将不同波长的干涉子系统复用同一干涉模块。在信号接收端,利用解复用的方式,将各个不同波长干涉子系统信号分开,从而获得不同干涉子系统中相对独立的时域信号。

关键词: 光纤; 入侵探测; 波分复用

中图分类号: TN 911.74 **文献标志码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1005-5630.2014.05.003

Fiber intrusion detection sensor based on WDM

XU Qie, XU Haiyan, AI Xin, TANG Huang

(Department of Materials Science, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: Fiber intrusion detection sensor based on wavelength division multiplexing (WDM) is proposed to simplify the architecture of the system. The system uses different wavelengths to distinguish the different interfering sub-systems. WDM technique is used to multiplex the different wavelength interfering sub-system by the same interfering unit. In the receiver of the system, the signal of different wavelength interfering sub-systems is divided by the demultiplexing. Thus, the independent signal of different interfering sub-systems is achieved.

Key words: fiber; intrusion detection; WDM

引 言

周界入侵探测技术作为安防领域的一项重要入侵探测手段,其应用已经有几十年的历史。目前用于周界入侵探测技术多种多样,其具体采用探测的介质、技术参数、探测范围等要素均不尽相同;而各类安全防范系统的使用环境、每个安防系统的防范等级、防范目的更是千差百异。基于红外、激光、微波、电磁场等技术的传统周界入侵探测技术,普遍存在着盲点、误报、环境影响等可靠性问题及后端数据融合发展的瓶颈。而新时期的入侵探测系统则要能够对各种入侵事件及时识别响应,且须具有长距离监控、高精度定位功能、低能源依赖性、高环境耐受性、抗电磁干扰以及抗腐蚀等特性。光纤入侵探测技术则能够符合上述要求,具有明显的技术优势和发展前景^[1]。

光纤入侵探测技术的特点如下:将光缆埋设于地下,或者根据具体情况敷设在监控区域周界的篱笆、围栏、墙壁上,通过对各种进入周界的侵入行为引起的振动,实现监测。当有人接近、踏过或穿越布设光缆的地域时,即便是最轻微的动作,也会对光缆中的光纤产生扰动。这种扰动导致光信号传输发生变化,

收稿日期: 2014-02-24

基金项目: 973 课题(2010CB327805); 科技部科技支撑计划课题(2011BAF06B01); 国家重大科学仪器专项(2012YQ150213)

作者简介: 徐 镒(1983-), 男, 博士研究生, 主要从事光纤传感器方面的研究。E-mail: 081030013@fudan.edu.cn

通讯作者: 唐 璜(1973-), 男, 副教授, 主要从事光纤传感器方面的研究。E-mail: tanghuang@263.net

并经由同一根光缆,将扰动改变后的传输光信号输至远端的系统主机。再通过各种特殊的光路结构设计,经由复杂的检测方法,对环境扰动做出判断并报警^[2]。

本文提出在光纤入侵探测系统中应用波分复用(WDM)技术,以进一步精简系统架构。该系统将不同干涉子系统通过不同波长加以区分,并利用波分复用技术将不同波长的干涉子系统复用同一干涉模块。在信号接收端,利用解复用的方式,将各个不同波长干涉子系统信号分开,从而获得不同干涉子系统中相对独立的时域信号。具体是利用布设在现场的传感光纤对区域环境振动进行实时记录,用干涉方法实现振动信号的提取,利用波分复用技术实现不同区域的定位。通过波分复用技术,实现不同干涉系统共用一套干涉模块的方法,可以显著减少光纤入侵探测系统的复杂程度,降低系统成本;同时该方法能对环境触发信号进行实时监控,并能快速、有效确定扰动信号所属区域,具有较高的灵敏度,有利于在大区域,长距离的监控领域获得实施。

1 波分复用(WDM)技术原理

WDM 技术是为了充分利用单模光纤低损耗区带来的巨大带宽资源,根据每一信道光波的波长(或者频率)不同,将光纤的低损耗窗口划分为若干个信道,把光波作为信号的载波,在发送端采用波分复用器,将不同波长的信号光载波合并起来送入一根光纤中进行传输。在接收端,再由一波分复用器将这些不同波长的光载波(分别承载不同信号的光)分开^[3-4]。图 1 给出了基本的波分复用系统的组成。

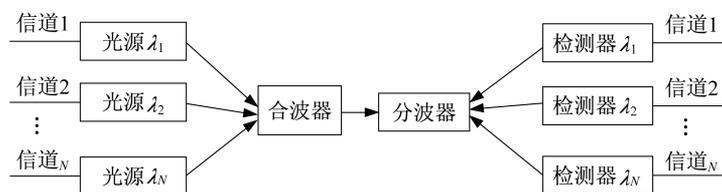


图 1 WDM 系统的组成

Fig. 1 The structure of the WDM system

2 基于波分复用的光纤入侵探测系统结构及理论分析

图 2 为采用波分复用方案的单芯反馈式全光纤白光干涉系统原理图。该系统包括超辐射发光二极管(SLD)光源,隔离器(IS), 3×3 耦合器(C1), 2×2 耦合器(C2),一段长为 L_t 的延迟线圈,光电探测器(PD_{11}, \dots, PD_{N1} 和 PD_{12}, \dots, PD_{N2}),波分复用器(WDM)及反射装置(FRM_1, \dots, FRM_N)。其中,干涉模块 IU 由一个 3×3 耦合器,一段长为 L_t 的延迟线圈和一个 2×2 耦合器构成;9 为 WDM 的公共端, $10_1, \dots, 10_N$ 为各波长输入输出端口不同波长的干涉子系统可以共同复用该干涉模块 IU。 11 和 12 为外界扰动点。

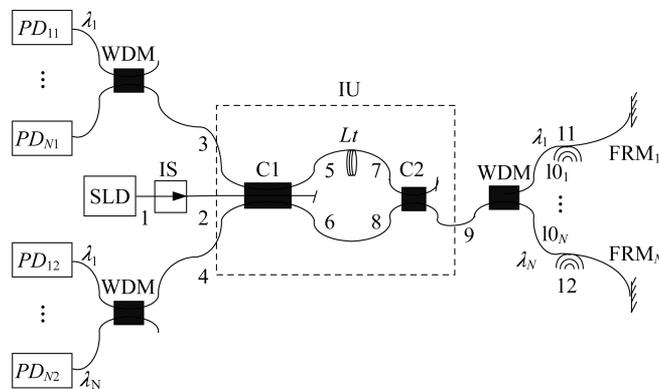


图 2 基于波分复用的入侵探测系统原理图

Fig. 2 The schematic diagram of intrusion detection system based on WDM

由宽光谱的光源出来的光经过隔离器(IS)进入干涉模块 IU 后,通过波分复用器 WDM,将不同的干涉子系统进行波长区分。经过 FRM 反射后,不同波长的光通过波分复用器 WDM 合成一束重新进入干涉模块 IU。干涉信号从 C1 的 3、4 端口输出后,再次利用波分复用器 WDM,将不同波长的光解复用,从而获得不同干涉系统相对独立的信号,分别输入相应的探测器。

从原理图可以看出,波分复用器(WDM)的不同输出端口和相应的反射装置皆可与共同的干涉模块构成一个干涉子系统,每个干涉子系统在经过 WDM 解复用后进入光电探测器。由于各个干涉系统波长不同,因此该系统中不同波长子系统的光信号不会发生干涉。

不同干涉子系统工作原理相同,因此以波长为 λ_1 的干涉子系统为例,相互干涉的光的路径为:

- 1) 1-2-5-7-9-10₁-FRM₁-10₁-9-8-6
- 2) 1-2-6-8-9-10₁-FRM₁-10₁-9-7-5

这两路光在 C1 处汇合,相互干涉,经端口 3、4 输出后,经 WDM 解复用后,分别输入到光电探测器 PD₁₁、PD₁₂。

对于其它不同波长的干涉子系统,干涉原理相同。

在这个 WDM 实现的复用结构中,当扰动信号作用于工作波长为 λ_i 的感应光纤时,该感应光纤内光纤传光特性(相位和光强)会发生变化,仅在 λ_i 对应的干涉信号输出可检测到相应光强的变化,进而解算出该扰动信号。因此,通过检测各干涉信号输出端口的信号变化,可同时判断出信号的特征以及感应到信号的光缆,即信号发生的位置,实现对各种进入周界的入侵行为的实时检测。

3 波分复用与编码技术的融合

波分复用技术与编码技术融合,将更加有利于实际应用系统的简化,特别是简化施工及系统的维护^[5]。图 3 即为基于波分复用干涉结构的周界编码应用技术的示例。图中,采用 3 通道的 WDM,形成 3 个独立的子干涉系统,这 3 个子干涉系统对应的感应光缆通过编码组合形成 6 个周界。

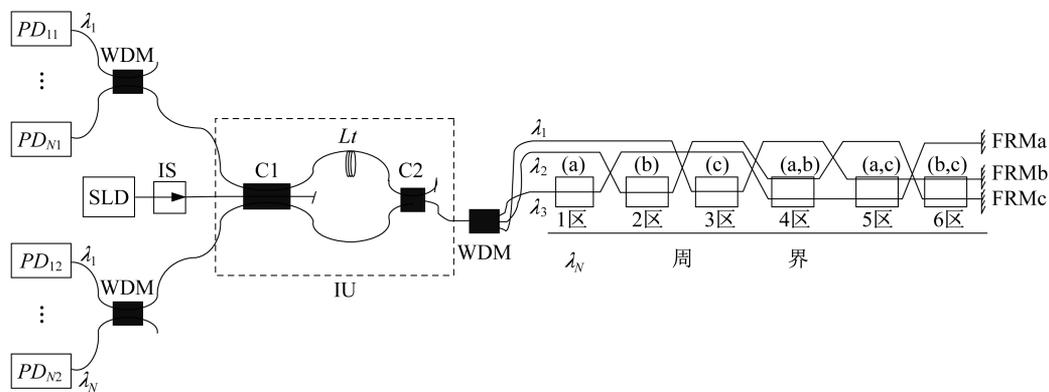


图 3 基于波分复用的周界编码技术结构

Fig. 3 The structure of encoding technology in the intrusion detection system based on WDM

在编码技术中,为了减小误报、误判,不同干涉光纤感应的同一扰动信号后获得的干涉信号的一致性十分重要。这种波分复用技术具有显著的信号一致性优势。由于子系统共用一个干涉结构(IU),干涉系统的结构近似度明显高于前面论述的编码技术中采用的系统结构。在那种结构中,不同的干涉系统是由不同的模块(IU)构成的。尽管在实际应用中,为了确保同一区编码信号的不同感应光纤感应到信号的一致性,会尽力控制构成模块的参数的一致性,但是这种参数的控制力度是限的,而且高精度的控制无疑也会增加实际应用的成本。而采用 WDM 技术,为保持子干涉结构的一致性,首先,对于实现延迟功能的光纤,其长度不会因子系统的改变而改变。对于决定子系统工作点的器件,仅需选择在光源工作波长范围内平坦度优良的器件即可实现,这在当今的光纤无源器件市场是已成熟的技术,不存在技术上的控制成

本。因而,这种方法获得的信号从理论上来说,具有子系统感应信号的相似性高的优势。

图 4、图 5 是两组测试数据。从第一组可以看出(b)(c)探测到信号,则可断定侵扰发生在第 6 区;第二组中,仅(c)探测到信号,可断定扰动发生在第 3 区。

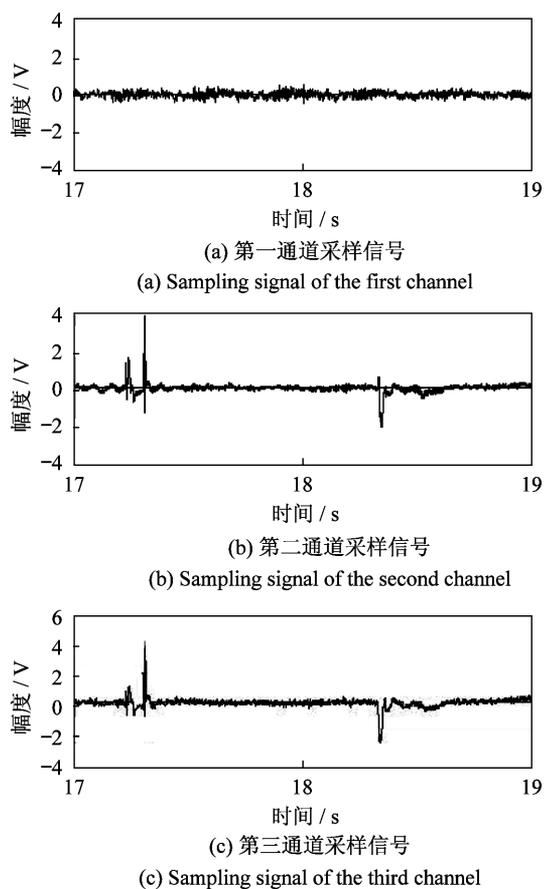


图 4 采样信号(第一组)
Fig. 4 Sampling signals(the first class)

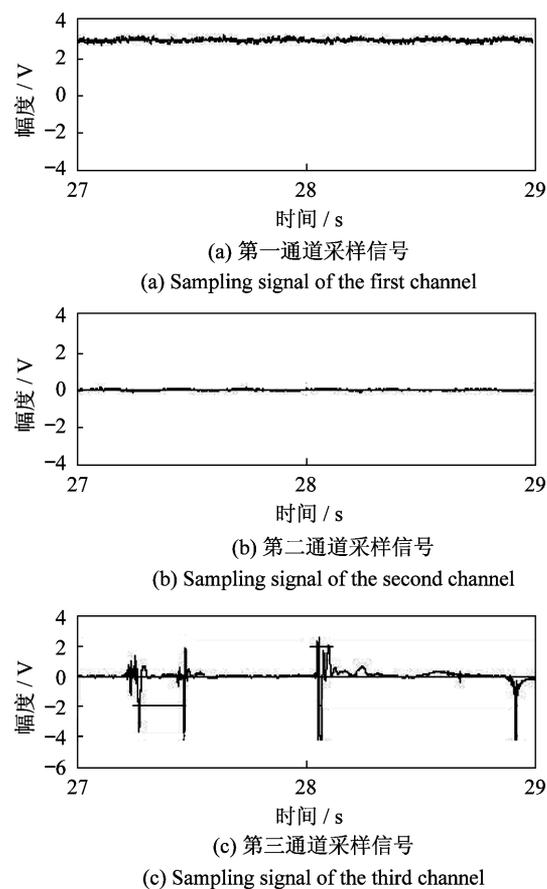


图 5 采样信号(第二组)
Fig. 5 Sampling signals(the second class)

4 结 论

利用波分复用技术实现多路扰动信号复用同一干涉模块,大大降低了安防周界中因分区所需干涉系统的数量。波分复用技术的应用,进一步解决了光纤入侵探测技术系统组件多、系统庞大的缺点,有利于在长距离、大范围周界安防中使用。

参考文献:

- [1] JUZAREZ J C, MAIER E W, CHOI K N, *et al.* Distributed fiber optic intrusion sensor system[J]. *Lightwave Technology*, 2005, 23(6): 2081-2087.
- [2] 彭 龙, 邹琪琳, 张 敏, 等. 光纤周界探测技术原理及研究现状[J]. *激光杂志*, 2007, 28(4): 1-3.
- [3] 潘 岳, 王 健. 双马赫-曾德尔型干涉仪定位技术研究[J]. *光学仪器*, 2012, 34(3): 54-59.
- [4] DAKIN J P. Distributed optical fiber sensors[J]. *SPIE*, 1992, 1797: 76-108.
- [5] 唐 璜, 吴红艳, 章 骅, 等. 光纤编码技术在区域定位监控中的应用[J]. *仪器仪表学报*, 2010, 31(4): 2010, 912-915.