

文章编号:1004-4213(2011)11-1671-6

一种新型光纤光栅围栏防火防入侵同步预警系统

吴慧娟,李姗姗,卢祥林,吴宇,饶云江

(电子科技大学 光纤传感与通信教育部重点实验室,成都 611731)

摘 要:利用布喇格光纤光栅传感器对应变和温度同时敏感的特性,根据应变和温度导致光栅中心波长变化趋势及规律的不同,在光纤光栅围栏入侵监测系统中,从信号时域、频域提取的多方位特征对周界入侵和火灾发生等威胁安全事件进行智能识别和报警.在光纤光栅围栏防入侵功能基础上,无需做任何硬件封装的改变,也无需另外增加温度敏感光缆和集成其他温度监测系统,即可同时达到火灾监测的目的,实现防火和防入侵的同步预警.处理结果验证了该方法的有效性.

关键词:光纤光栅围栏;安防;火灾报警;布喇格光纤光栅

中图分类号: TN2

文献标识码: A

doi: 10.3788/gzxb20114011.1671

0 引言

对于军事基地、机场、博物馆及其他重要防范区域,火灾的预警与周界的入侵监测同等重要.目前无论是基于电学传感器还是基于光学传感器的安防系统^[1-6],均有一个共同特点即功能的单一性,要么只对周界入侵进行监测,要么只对区域火灾进行预警,如果要同时满足用户对区域入侵和火灾等的多项安防需求,通常需要集成多个监测系统,将防入侵和防火系统进行集成、联动,才能满足特殊重要场合对安全防范的特殊要求.然而系统的集成或并行安装,不仅造成系统冗余庞杂,而且势必会造成安防设施成本急剧增加,因此需要一种传感系统能同时对多个参量进行监测,在一套安防系统上实现火灾和入侵的同步预警,达到事半功倍的效果.

布喇格光纤光栅(Fiber Bragg Gratings, FBG)传感器^[7-9]不仅拥有一般光纤传感器的抗电磁干扰,耐高温、耐腐蚀等极端恶劣环境等的所有优点,同时由于它是波长检测型,相对于干涉等光强检测型传感器具有较强的抗干扰能力,而且 FBG 传感器对温度、应变等多种参量同时敏感,可以封装为温度、应变、振动等多种类型传感器,或者封装为多参量同时测量的传感器^[10].FBG 对温度和应变的同时测量方法,无论是双光栅法还是单光栅法^[11],其物理本质都是类似的,利用靠近的具有不同敏感系数的两个光栅感知相同区域的温度和应变,通过两组测量结果,解方程组分别得到该点的应变量和温度测量量.

但由于温度、应变同步测量的靠近光栅需要特别工艺进行制造和封装,因此成本较高.

本文火灾预警方法不是通过温度绝对测量值,而是利用信号的变化趋势和特征来判断火灾发生.因此在基于应变或振动型 FBG 传感器的防入侵光纤围栏^[12-13]基础上,利用 FBG 传感器对应变、温度同时敏感的特性,根据应变或振动与温度对 FBG 反射波长的不同影响,分析不同监测信号的变化特点,通过信号处理方法判断异常是来自外界环境温度变化还是由周界上入侵动作产生的应变或振动引起,在光纤围栏入侵监测系统防入侵功能的基础上,实现防火和防入侵的同步预警.

1 光纤光栅围栏入侵监测系统

1.1 基于 FBG 传感网络的光纤光栅围栏入侵监测系统

基于 FBG 光纤光栅传感器构建的准分布式光纤围栏入侵监测系统由三部分构成:挂在周界围栏上或埋在地下的传感光缆(由 FBG 应变或振动传感器串接而成)、光源及 FBG 光信号解调装置、中央处理主机,见图 1.根据监测周界长度要求,若需增加传感系统的网络复用能力,则通过一个光开关进行扩展,四通道解调仪经过 4×8 或 4×16 光开关扩展后,传感器复用数目可以增加 2 倍或 4 倍,尽管每个通道的采样率此时降低至原来的 $1/2$ 或 $1/4$.携带有入侵信息的光传感信号通过传感光缆传输给解调设备,经过解调、光电转换和 A/D 模数转换,通过

基金项目:国家自然科学基金(No. 1234546)资助

第一作者:吴慧娟(1980—),女,讲师,博士,主要研究方向为光纤传感系统与信号处理. Email: hjwu@uestc.edu.cn

收稿日期:2011-05-27;修回日期:2011-07-29

以太网或串口形式传输给处理主机或者报警系统,处理主机将接收的传感网络所有节点的信号进行实时处理,判断异常的发生、异常情况的具体类别,并启动报警,同时进行异常点的定位显示。

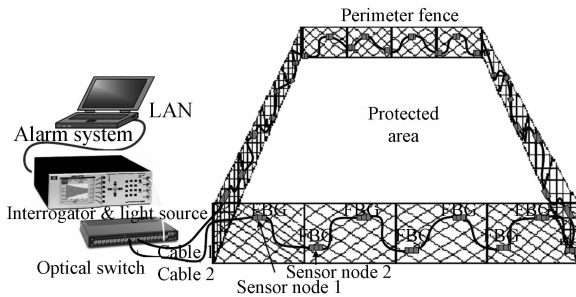
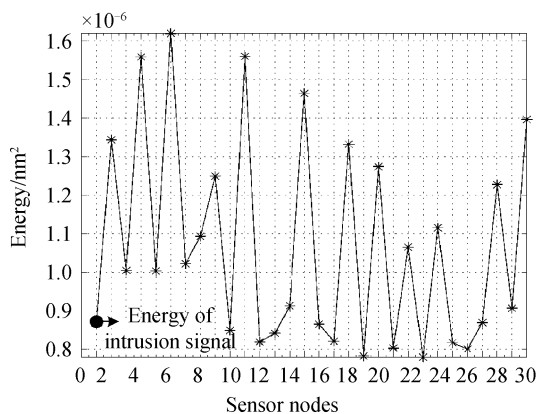
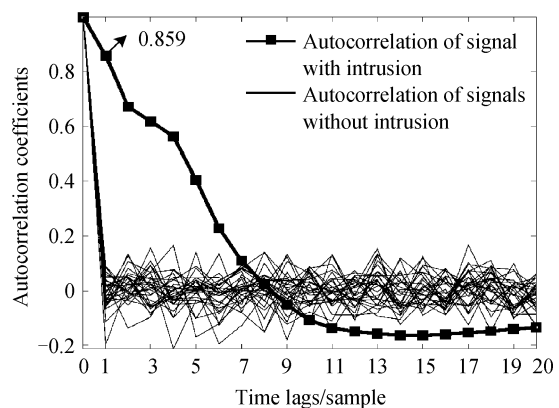


图1 基于FBG传感网络的光纤光栅围栏入侵监测系统
Fig. 1 Fiber fence intrusion monitoring system based on the FBG sensor network



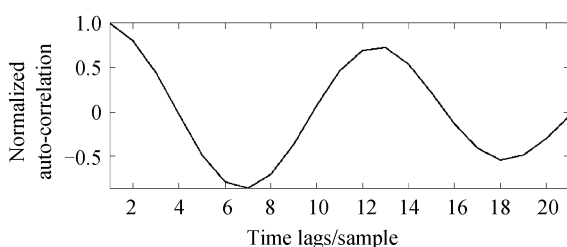
(a) Energy levels of normal and abnormal signals



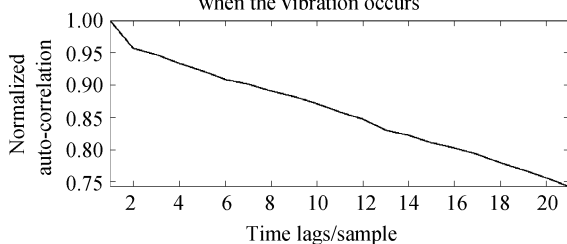
(b) Auto-correlation curves of normal and abnormal signals

图2 监测网络中异常与无异常信号自相关特性差异

Fig. 2 The different auto-correlation characteristics of the normal and abnormal signals



(a) Auto-correlation curves of the signals when the vibration occurs



(b) Auto-correlation curves of the signals when temperature increases

图3 振动信号与温度上升信号的自相关曲线

Fig. 3 The auto-correlation curves of the signals when the vibration occurs and the temperature increases

异常信号,该方法对于大型非均匀灵敏度节点组网系统进行入侵监测极为有用。

1.2 非均匀灵敏度异构传感网络节点异常检测方法

采用相互独立的FBG传感器组网构建的准分布式监测网络系统,各传感节点实际灵敏度有差异,同时对于多种围栏结构形式的区域周界采用异构传感网络,信号阵列响应形式也不同,直接通过比较监测信号幅值或能量来判断异常有无,容易漏警和误警,特别是当异常信号能量级别低于或等于无异常信号能量级别,则造成入侵检测的失效,而且设定的阈值大小与围栏材质、天气、环境等条件密切相关,不容易事先确定.因此本文依据信号产生机理分析异常特征,并提出根据观测时间段的信号自相关性来判断异常的存在^[13].图2为应变型入侵监测网络实际采集信号的异常特征,尽管微弱的异常信号不具备能量或幅值优势,其自相关特征显著区别于无

实际周界围栏复杂多样,主要包括各种软质或硬质铁丝网围栏、木质栅栏和钢筋混凝土围墙等三种形式,且同一区域多种形式周界组合使用较多.因此光纤光栅围栏在组网时,根据实际用户周界形式采用应变、振动FBG传感器混合组网,在铁丝网等软质围栏处使用应变型传感器,而在围墙等硬质围栏处则使用振动型传感器,确保了系统的探测灵敏度,避免监测盲区,同时缓和了大型传感网络的系统复用容量要求.由于入侵引起的振动信号与温度上升的异常信号自相关性都比较强,如图3.因此本文中异构传感器混合组网的光纤光栅围栏防火防入侵同步预警系统中入侵和火灾的异常检测都采用相关检测方法。

2 防火防入侵同步预警方法

2.1 温度变化与人为入侵信号差异

外界入侵动作引起围栏晃动或振动,使得挂在围栏上的FBG传感器应变发生变化,导致FBG传感器中心反射波长随应变变化规律相应发生漂

移,如图 4(a),外界局部温度的升高则导致相应的 FBG 传感器中心波长朝长波长方向缓慢漂移,如图 4(b).图 4 所示信号均为采用 500 Hz 采样率时 1 s 内采集的数据,由图 4 可以看出入侵引入的波长变化通常是在基准静态值附近震荡变化,且变化速度比较快.对于应变型传感器,入侵信号变化频率通常在 0~10 Hz 范围,而对于振动型传感器,入侵信号变化频率通常在 15~40 Hz 范围.这种变化与温度对波长漂移的影响完全不同,因此根据监测信号时域波形变化的不同特征,可以将入侵和火灾事件进行区别.

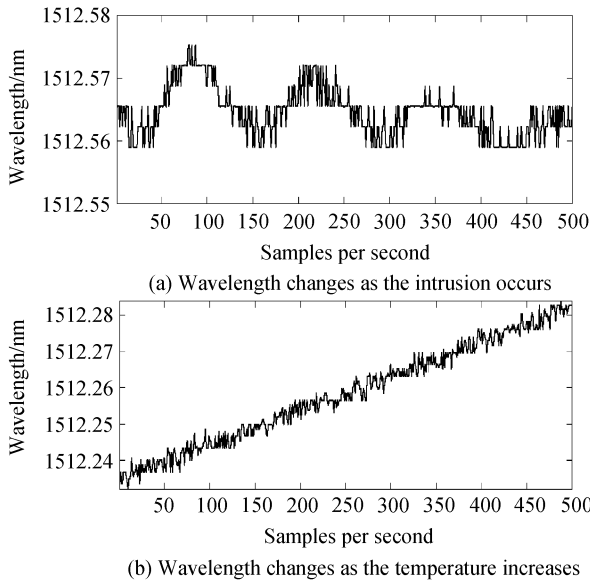


图 4 人为入侵与温度变化的信号差异
Fig. 4 Different wavelength changes from the personal action and the temperature increase

2.2 同步预警信号处理方法

光纤围栏防火防入侵同步预警整个信号处理流程如图 5.根据 1.2 节的异常检测方法检测出光纤围栏监测区域的异常情况后,先对全局天气、气候等环境因素予以排除,然后提取报警信号的特征差异,对局部异常情况进一步分类,判断异常是局部环境温度异常引起还是有人为入侵发生.若判断是局部温度下降,由于不具有威胁性,可以根据判断结果对报警自动清除,降低系统虚警率.

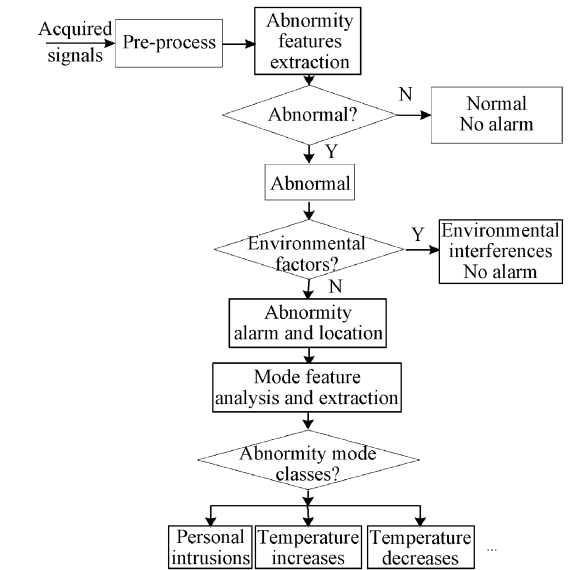
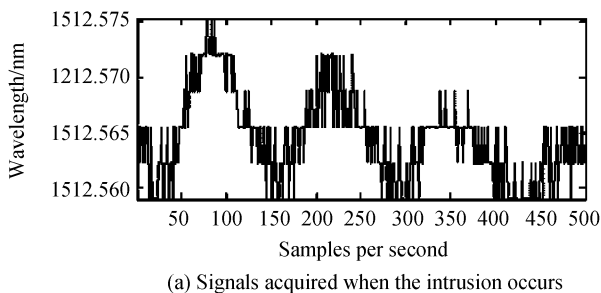
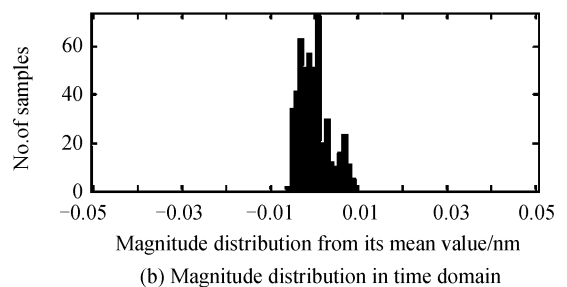


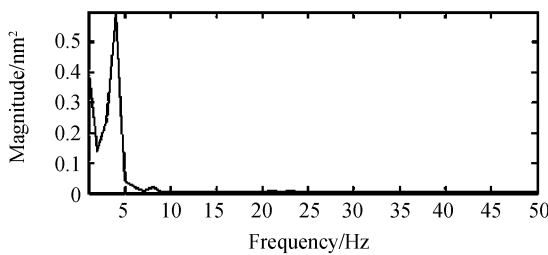
图 5 信号处理流程
Fig. 5 Signal processing flow

3 信号处理结果与分析

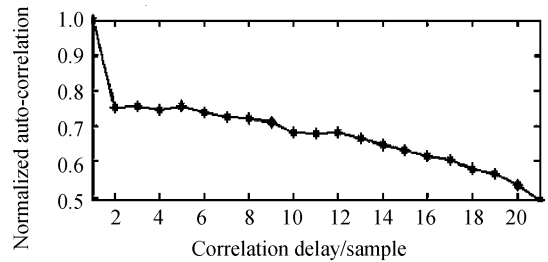
3.1 火灾与人为入侵同步预警

根据图 1 系统结构构建准分布式光纤光栅围栏防火防入侵同步预警系统,在某个 FBG 传感器节点附近进行入侵和局部加热模拟实验,光信号解调使用 MOI sm130 设备,四通道同步采样率为 500 Hz.该解调设备工作波长 1 460~1 620 nm,按 2 nm 一个探测单元,每个通道至少能容纳 80 个探测单元,整个系统则可以容纳 320 个探测单元.探测单元之间间隔根据用户周界情况确定,3~15 m 不等,因此系统最大的监测范围约为 1~1.5 km.系统对 1 s 内所采集到的入侵信号与温度上升信号分别进行时域、频域和自相关特性分析,实验结果如图 6、图 7.通过比较,可以看出二者差异:1)人为入侵信号具有振动特点,其时域波形具有多个局部极大极小值,而温度上升信号没有振动特点,曲线呈单调上升,没有局部极大极小值点.2)从幅值分布来看,人为入侵曲线在最大值和最小值附近分布点数较少,幅值分布规律完全由入侵动作形式决定,而温度上升曲线其幅值基本是均匀分布.3)从频率域来看,人为入侵信





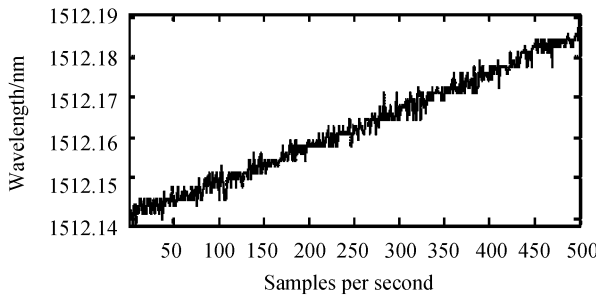
(c) Spectrum in frequency domain



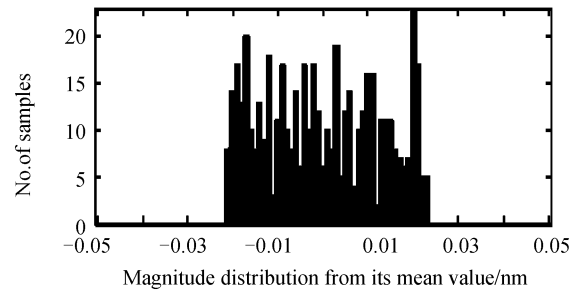
(d) Auto-correlation curve of the signal

图6 人为入侵引起的波长变化特征

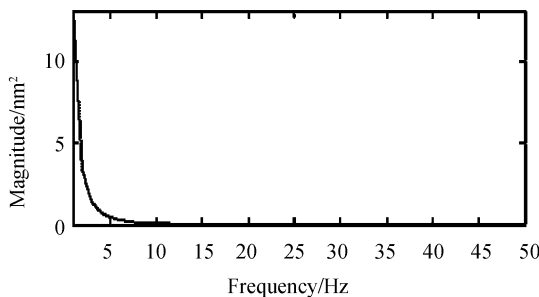
Fig. 6 The characteristics of the wavelength changes when there is a personal action



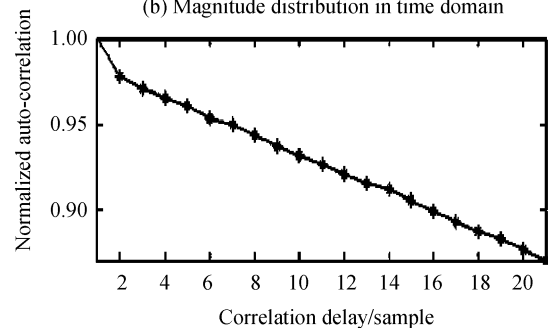
(a) Signals acquired when temperature increases



(b) Magnitude distribution in time domain



(c) Spectrum in frequency domain



(d) Auto-correlation curve of the signal

图7 温度上升引起的波长变化特征

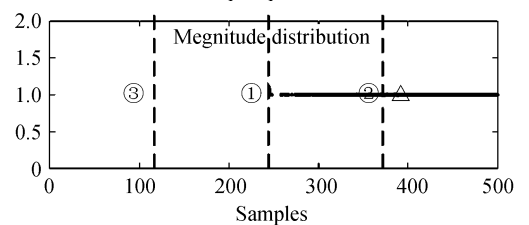
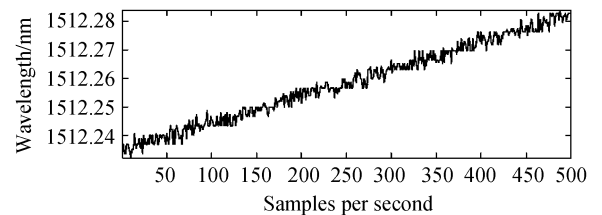
Fig. 7 The characteristics of the wavelength changes when the temperature increase

号以振动成分为主,频谱分布不在 0 频点,而主要分布在 3~5 Hz 的频率范围内,而温度上升信号频谱主要分布在 0 频点,几乎没有振动成分. 4)从信号的自相关特性来看,两种异常信号均具有较长的自相关性,因此 1.2 节的相关方法对于两种异常事件的判断都很准确,但仅从相关角度难以直接分辨和区别. 根据以上多方位时域、频域分析特点,可以明确判定异常有无,以及事件的类型.

3.2 虚警因素排除

根据 1.2 节的异常检测方法虽然能够提高光纤围栏入侵监测系统的正确探测率,降低非均衡网络节点带来的虚警值,但是,温度下降时由于温度下降与温度上升信号的幅值分布、频谱特性及自相关特性比较接近,而实际应用中却不作为威胁性事件进行报警,所以需要进一步辨识和排除. 实验中从信号时域波形形态分析,如图 8,根据信号大于均值的幅值分布区间来对温度上升和下降的具体事态趋势进行有效辨识.

此外,对于风霜雨雪等天气气候条件变化引起的异常和造成的虚警还需要进一步排除. 通常天气、气候变化形式对围栏的影响常常是全局的,几乎作用于监测系统所有传感节点,而有目的的人为入侵



(a) Magnitude distribution of the wavelengths above the mean value when the temperature increases

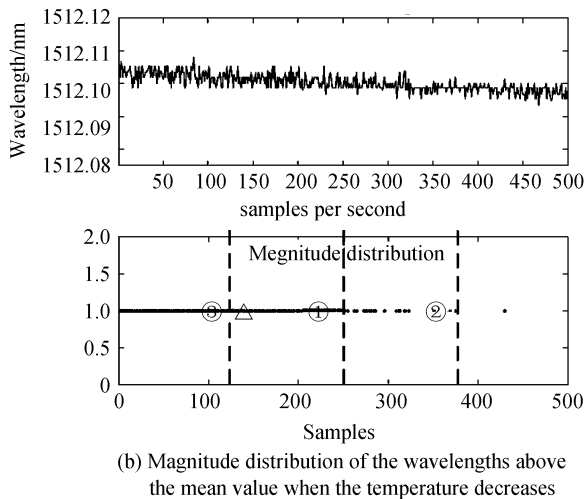


图 8 温度上升与下降的波长变化特征差异

Fig. 8 The different characteristics of the wavelength changes between the temperature increase and decrease

及火灾生通常只影响局部某个或某几个点;而且自然环境发生变化的影响通常是持续性的,并不是短时或瞬态事件.因此判断异常发生时,将所有节点独立判断结果再进行关联,结合监测网络异常节点数目、位置、各异常点扰动的持续时间及其他时域统计特征可以对环境因素与真实入侵、火灾发生等具有威胁性事件予以区别和排除.

4 结论

根据 FBG 传感器对应变和温度同时敏感的特性,利用应变和温度导致光栅中心波长变化规律的不同,从信号处理方法上对周界入侵和火灾等威胁安全事件进行智能辨识.在光纤围栏入侵监测系统防入侵的功能基础上,无需做任何硬件封装的改变,也无需另外增加温度敏感光缆和其他温度监测系统,即可达到火灾监测的目的,在单套安防系统上同时实现防火和防入侵的同步预警,极大地降低了安全监测系统成本.同时不同于普通的光纤感温火灾报警系统,该系统不是根据绝对测量值,而是利用信号的变化趋势和特征来判断火灾发生,可以达到很好的预警目的.

参考文献

- [1] ZHU Liang. Outdoor perimeter sensing technology-Eye and ear of the perimeter intrusion defense system [J]. *China Security*, 2008, (3): 39-41.
朱良. 户外周界传感技术—周界防入侵系统的眼睛和耳朵[J]. *中国安防*, 2008, (3): 39-41.
- [2] JUAREZ J C, MAIER E W, CHOI K N, *et al.* Distributed fiber-optic intrusion sensor system [J]. *J of Lightwave Technol*, 2005, **23**(6): 2081-2087.
- [3] JUAREZ J C, TAYLOR H F. Polarization discrimination in a phase-sensitive optical time-domain reflectometer intrusion-sensor system[J]. *Opt Lett*, 2005, **30**(24): 3284-3286.
- [4] LI Jian-zhong, RAO Yun-jiang, RAN Zeng-ling. Distributed fiber-optic intrusion sensor system based on POTDR[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(11): 2789-2794.
李建中, 饶云江, 冉曾令. POTDR 分布式光纤传感及其在安防监测中的应用[J]. *光子学报*, 2009, **38**(11): 2789-2794.
- [5] YILMAZ G, KARLIK S E. A distributed optical fiber sensor for temperature detection in power cables [J]. *Sensor and Actuator A: Physical*, 2006, **125**(2): 148-155.
- [6] ANDERSON D. Smart perimeter security, fiber-sensys [EB/OL]. (2009-08-04)[2011-07-01]. http://www.fibersensys.com/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=55&Itemid=54. htm.
- [7] KERSEY A D, DAVIS M A, PARTRICK H J, *et al.* Fiber grating sensors[J]. *J Lightwave Technol*, 1997, **15**(8): 1442-1463.
- [8] RAO Yun-jiang. In-fibre Bragg grating sensors[J]. *Meas Sci Technol*, 1997, **8**(4): 355-375.
- [9] RAO Yun-jiang, Recent progress in application of in-fiber Bragg grating sensors[J]. *Opt & Laser in Eng*, 1999, **31**(9): 297-324.
- [10] UDD E. Review of multi-parameter fiber grating sensors[C]. *SPIE*, 2007, **6770**: 677002-1-677002-10.
- [11] JONES D C. Review of fiber sensor techniques for temperature-strain discrimination [C]//Proc of the 12th International Conference on Optical Fiber Sensors, 1997, 16: 36-39.
- [12] JIANG Qi, RAO Yun-jiang, ZHENG De-hong. A fiber-optical intrusion alarm system based on quasi-distributed fiber Bragg grating sensors[C]//Proc the 1st Asia pacific conference of optical sensing Technology, 2008, 1-4.
- [13] WU Hui-juan, RAO Yun-jiang, TANG Cheng, *et al.* A novel FBG-based security fence enabling to detect extremely weak intrusion signals from nonequivalent sensor nodes[J]. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2011, **167**(2): 548-555.

A Novel Method for Simultaneous Intrusion Detection and Fire Alarm in a Single FBG-based Fiber Fence Monitoring System Configuration

WU Hui-juan, LI Shan-shan, LU Xiang-lin, WU Yu, RAO Yun-jiang

(Key Lab of Optical Fiber Sensing & Communications (Ministry of Education), University of Electronic Science & Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: The fiber Bragg grating is sensitive to both the temperature and the strain on sensors, while the trends of their wavelength drifts differ to each other a lot. A special fiber fence monitoring system based on the fiber Bragg grating sensing network is investigated, which can realize the perimeter intrusion detection and the area fire protection simultaneously in a single sensing system configuration. A signal processing method is proposed which can intelligently tell if there is any threat and which kind of event it is according to the extracted signal characteristics in the time and frequency domains. Thus a normal perimeter security system possesses a second function of fire prediction, without any additional temperature sensing cables or other fire alarm systems in parallel. The results show the effectiveness of the method.

Key words: Fiber grating fence; Security; Fire alarm; Fiber Bragg gratings