

Research on Optical Cable Temperature Monitoring Technology in Optical Fiber Sensor Network Environment

Hongjie Zhu¹, He Gong¹, Hongjian Xiong¹, Jingjing Yu¹, Chao Shi¹, Xiaolong Zhang¹, Zhenghu Jiang¹, Jicheng Wang¹, Shudong Li¹, Shangyu Yang¹, Shaokang Jiang¹, Zhenyu Chen¹, Hua'nang Wang¹, Xuefeng Lu¹, Yanlong Li¹, Jiang Zhu¹, Xiaotao Chen²

¹Baoshan Power Supply Bureau of Yunnan Power Grid Corporation of China Southern Power Grid, Baoshan Yunnan

²Kunming Chuangxintong Communication Co., Ltd., Kunming Yunnan
Email: 248400248@qq.com

Received: Aug. 9th, 2018; accepted: Aug. 21st, 2018; published: Aug. 28th, 2018

Abstract

The terrain and climate in Yunnan are complex, and cable lines often exist security risks. The normal operation of optical fiber cable is an important condition for guaranteeing the safe and stable operation of the power system. To grasp the real-time operating status of the optical fiber line in time is the basic premise to ensure the smooth flow of information in the power system. Firstly, this paper constructs an optical fiber cable temperature monitoring system based on optical fiber sensor network. It consists of application layer, transmission layer, and detection layer. Then it studies the optical fiber sensing temperature detection technology and establishes the sensor subsystem and data acquisition processing. The optical fiber cable temperature monitoring system of the sub-system was finally subjected to a simulation experiment to monitor and analyze the temperature or abnormal information of the optical cable, which lays the foundation for the realization of the optical cable safety assessment management, and improves operational efficiency and makes a contribution for building a modern, informative and intelligent power grid.

Keywords

Optical Fiber Network, Optical Cable Line, Temperature, Monitoring System, Alarm Analysis

光纤传感网环境下光缆线路温度监测技术研究

朱红杰¹, 宫 贺¹, 熊鸿捷¹, 余晶晶¹, 师 超¹, 张晓龙¹, 蒋正虎¹, 王继承¹, 李树东¹, 杨尚玉¹, 蒋绍康¹, 陈振宇¹, 王华楠¹, 陆雪峰¹, 李延龙¹, 朱 江¹, 陈晓涛²

¹中国南方电网云南电网公司保山供电局, 云南 保山

文章引用: 朱红杰, 宫贺, 熊鸿捷, 余晶晶, 师超, 张晓龙, 蒋正虎, 王继承, 李树东, 杨尚玉, 蒋绍康, 陈振宇, 王华楠, 陆雪峰, 李延龙, 朱江, 陈晓涛. 光纤传感网环境下光缆线路温度监测技术研究[J]. 电气工程, 2018, 6(3): 207-214. DOI: 10.12677/jee.2018.63024

²昆明创讯通通信有限公司, 云南 昆明
Email: 248400248@qq.com

收稿日期: 2018年8月9日; 录用日期: 2018年8月21日; 发布日期: 2018年8月28日

摘 要

云南地形气候复杂, 光缆线路时常存在安全隐患。光缆线路的正常运行是保障电力系统安全稳定运行的重要条件, 及时掌握光纤线路的实时运行状态, 是保证电力系统信息畅通的基本前提。本文首先构建了基于光纤传感网的光缆线路温度监测系统架构, 由应用层、传输层、检测层构成, 接着研究了光纤传感温度检测技术, 并建立了包含传感子系统、数据采集处理子系统的光缆线路温度监测系统, 最后进行了仿真实验, 对光缆线路温度或异常信息进行监测分析, 为实现对光缆安全评定管理奠定基础, 提高了运行效率, 为建设现代化、信息化、智能化电网做出贡献。

关键词

光纤传感网, 光缆线路, 温度, 监测系统, 仿真分析

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

电力工业中的光缆线路大都处在强电磁场中, 一般电学传感器无法使用。很多情况下需要测量的地方处在高压中, 如高压开关的在线监测, 高压变压器绕组、发电机定子等地方的温度和位移等参数的实时测量, 这些地方的测量需要传感器具有很好的绝缘性能, 体积要小、而且是无源器件, 光纤光栅传感器是进行这些测量的最佳选择。有一些电力设备经常位于难以到达的地方, 如荒山野岭、沙漠荒原、山地中的传输电缆和中继变电站, 使用准分布式光纤光栅传感系统的遥测能力可以极大地减少设备维护费用。因此光纤光栅传感器在电力工业中的应用前景很好, 使用光纤光栅可以极大地减轻测量的阻碍[1] [2] [3]。

目前, 现有的各类光缆线路需要管理维护, 拓扑结构比较复杂, 运维任务困难、繁重。在本世纪初出现了光通信网络的光缆监测系统, 对于 P2MP 结构的接入网, 特别是电力系统的配电网络, 由于靠近用户, 环境复杂, 动物、施工、水浸等原因, 再加上用户电源、设备等多种因素直接导致光缆线路监测网络传输中断。无法通过关联告警来有效区分用户侧是光缆、光路、设备还是电力故障原因导致通讯中断产生。因此监测传感网络的研究和实验迫在眉睫[4] [5] [6]。

目前, 电缆光纤网络类型主要通过网元链接, 光缆成环率不高, 通信维护人员少, 站点之间距离远。网络故障或异常时, 传统的检测手段费时费力且定位不准确, 靠人工开挖、爬杆查找等手段, 严重影响了工作效率。不仅如此, 不及时的查找并排除故障对电网安全运行构成严重威胁。

本文首先构建了基于光纤传感网的光缆线路温度监测系统架构, 由应用层、传输层、检测层构成, 接着研究了光纤网检测技术, 并建立了包含传感子系统、数据采集处理子系统的光缆线路温度监测系统, 最后进行了仿真实验, 对光缆线路温度或异常信息进行监测分析, 提高了运行效率, 为建设现代化、信息化、智能化电网做出贡献。

2. 光纤传感网光缆线路温度监测架构

本文提出了由应用层、传输层、检测层构成的 3 层体系架构。底层为检测层，检测光缆线路温度信息；中间层为传输层，对光缆线路温度信息进行传输；顶层为应用层，监视通信性能事件等，并触发测试[7]。

光纤传感网光缆线路监测系统架构示意图如图 1 所示。

3. 光纤传感温度检测技术

对于光纤折射率分布 $\alpha = 2$ 的梯度光纤，如果只在平面内产生微弯，可以证明其损耗的确切表达式。假设光纤轴与坐标系 z 轴重合，并且其微弯的曲率脉冲形状为高斯系列，则曲率函数 $CG(z)$ 可表示为：

$$C_G(z) = \sum_{n=1}^N C_n(z) = \sum_{n=1}^N A_n \exp\left[-\frac{4(z-u_n)^2}{W_n^2}\right] \quad (1)$$

式中， $C_n(z)$ 表示光纤第 n 个微弯的曲率函数， N 为光纤总微弯数， A_n 、 u_n 分别是曲率脉冲峰值及峰值坐标， W_n 是以曲率值降为峰值的 $1/e$ 处的脉冲宽度。由功率谱密度可推得：

$$\zeta_G(\Delta\beta) = \left| \int_{-\infty}^{+\infty} C_G(z) e^{-j\Delta\beta z} dz \right|^2 \approx \frac{\pi}{4} N A_0^2 \exp\left[-(\Delta\beta)^2 W_0^2 / 8\right] \quad (2)$$

式中： A_0 、 W_0 分别为平均曲率脉冲峰值和宽度。利用关系式 $\Delta\beta = -2\sqrt{2\Delta n}/d$ 和微弯损耗表达式，可得高斯型曲率函数引起的微弯损耗为：

$$L_G = 3.06 \frac{1}{\Delta n} N A_0^2 W_0^2 \exp\left[-\Delta n \frac{W_0^2}{d^2}\right] \quad (3)$$

式中， Δn 为光纤相对折射率差， d 光纤芯径。由此可以看出，小小的扰动可以引起光的能量的减小，我

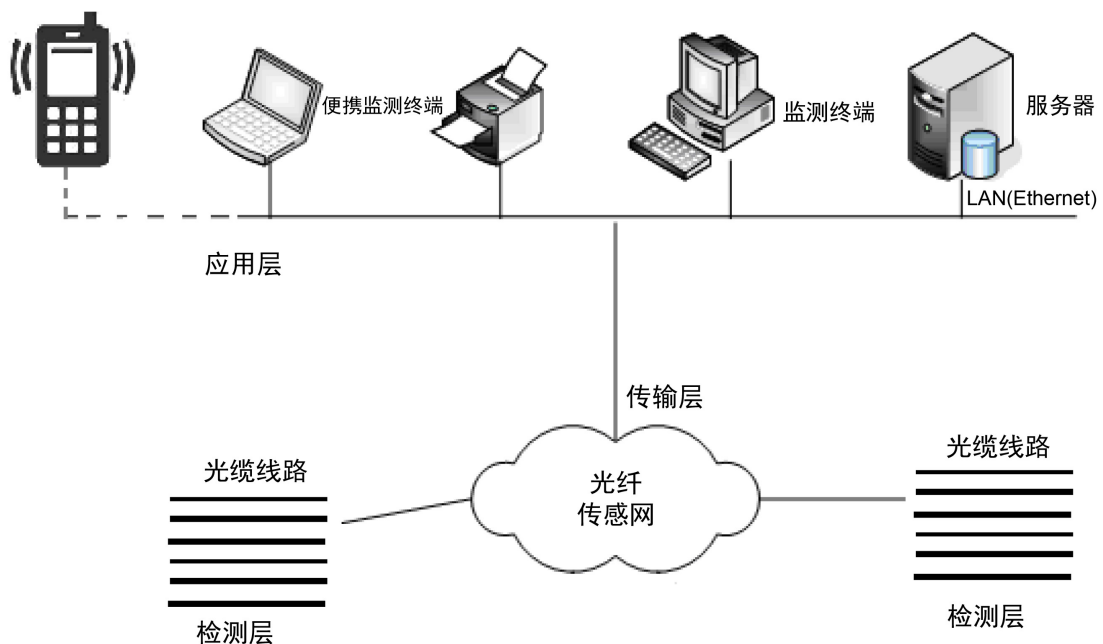


Figure 1. Optical cable temperature monitoring system architecture

图 1. 光纤传感网光缆线路温度监测系统架构

们可以利用微扰引起瑞利散射背向散射光能的变化[8]。

因此,在对测量对象的测量过程中,由于传感光栅在粘贴于弹性元件时参考温度为 T_0 ,若结构不受任何外部机械荷载的作用,但温度发生了 ΔT 的变化,由于光纤和宿主结构之间的热膨胀系数失配将产生附加应变。这种热致轴向应力可表示为:

$$\Delta\sigma = Y_F (\alpha_H - \alpha_\Lambda) \Delta T \quad (4)$$

式中, H 是宿主结构的热膨胀系数。把式(4)代入式(3),得:

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = \left\{ 1 + \frac{1}{n_{eff}} \left[\frac{\partial n_{eff}}{\partial \varepsilon} \right]_T \right\} (\alpha_H - \alpha_\Lambda) \Delta T + \left(\alpha_\Lambda + \frac{1}{n_{eff}} \left[\frac{\partial n_{eff}}{\partial T} \right]_\sigma \right) \Delta T \quad (5)$$

若把温度变化改写为有效应变的变化,则式(5)可改写为:

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = S_\varepsilon \Delta\varepsilon_T \quad (6)$$

式中, T 为引入的表观热应变:

$$\Delta\varepsilon_T \equiv \left[(\alpha_H - \alpha_\Lambda) + \frac{S_T}{S_\varepsilon} \right] \Delta T \quad (7)$$

若引入新的表观温度敏感系数 S :

$$S_\alpha \equiv S_T + S_\varepsilon (\alpha_H - \alpha_\Lambda) \quad (8)$$

则式(8)可改写为:

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = S_\varepsilon \Delta\varepsilon + S_\alpha \Delta T \quad (9)$$

因此,解决热表观应变最常用的方法是独立地检测温度。

4. 光纤传感网光缆线路温度监测系统

光纤传感网光缆线路温度监测包含传感子系统,数据采集处理子系统等组成。

4.1. 传感子系统

传感子系统基于光纤传感技术。是利用光纤和光栅信息材料构成的传感器,具有成本低,抗干扰能力强的优点[9]。传感子系统通过一定数量的 Bragg 光栅将待测的信息进行传感。具体如图 2、图 3 所示。

4.2. 光缆线路温度监测系统

光纤传感网光缆线路温度监测系统实时监测光缆线路的温度状况,达到对光缆安全评定。对监测数据进行统计、分析,发现光缆的衰减分布趋势,捕捉光缆缺陷、故障的征兆,做到提前检修。高效管理光缆资源,提高运行分析、设备分析、光缆在线检修、工程切改、光缆网优化调整等管理水平[10]。

1) 光缆线路监测系统功能:通过实时在线监测光纤收光功率,根据温度信息为依据,进行判断,当收光功率变化超常时,将以不同级别输出告警信息。

2) 光缆线路资源管理功能:按照通信系统管理系统统一格式建立各种统计报表模型,建立光缆各个光纤配线节点、光缆接头盒位置、光传输设备和业务相关通信方式记录,并进行编辑、创建、查询、显示、打印等。

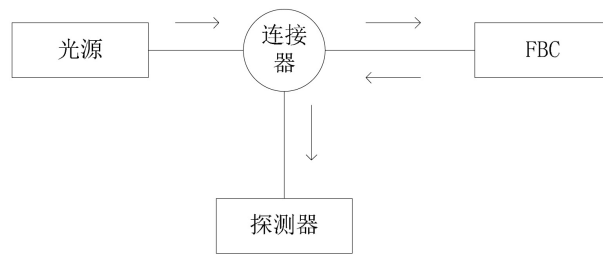


Figure 2. Sensor subsystem

图 2. 传感器子系统

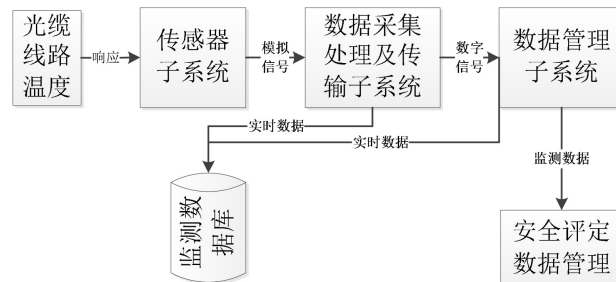


Figure 3. The temperature monitoring system of optical cable

图 3. 光缆线路温度监测系统图

5. 光缆线路温度监测处理方法

1) 专家系统

这种方法是依赖专家的知识,但这个知识是与人工智能联系起来的,基于建立好的数学模型,在信息不够完整的、可能还会伴随着信息采集过程中的噪声等现象,依然可以得出重要的结论且结论客观[10]。专家系统拥有一定的知识库,通过调用知识库的内容去解决现存的问题,这种系统和多年的专家相比,仍是有一定的差距的,原因如下:

a) 知识“瓶颈”,学者们对于有些知识难于用语言表达出来并转化称文字。

b) 实时性很差,电力系统发生故障时间间隔短暂,一旦发生,就希望系统可以很快做出决策,但是采用这种方式的话,当系统的规则过多的时候,速度就会减慢,实时性很差。

c) 知识领域窄,只限于本知识领域,有超出范围的结果就会出错,性能不佳。

d) 知识难于维护。当配置发生变化时候,就要将很大一部分进行重新修改。知识的维护难于进行。

2) 人工神经网络

人工神经网络的原理为:将传感器检测到的报警信号进行 A/D 转化,然后用 ANN 进行故障诊断,输出即为诊断结果。当发生故障时,将信号输入神经网络之中,得出诊断的结果。但是较电力网络庞大的结构使得将故障检测出来并输送到融合中心所需的时间较长,收敛速度缓慢。可以采用多个 ANN,低层 ANN 面向各个子系统。将结果再传给上面一层的 ANN 输入,通过这种方式简化计算,节省时间。

综合以上分析,如图 4 是综合分析了光缆线路实现温度监测的流程框图。

6. 仿真实验

6.1. 仿真平台

基于 MATLAB 平台进行仿真验证,主要功能模块包括“MATLAB”和“Simulink”两大部分。

MATLAB 是 matrix 与 laboratory 两个词的组合,主要功能涉及数值解析、数值和符号计算、科学工

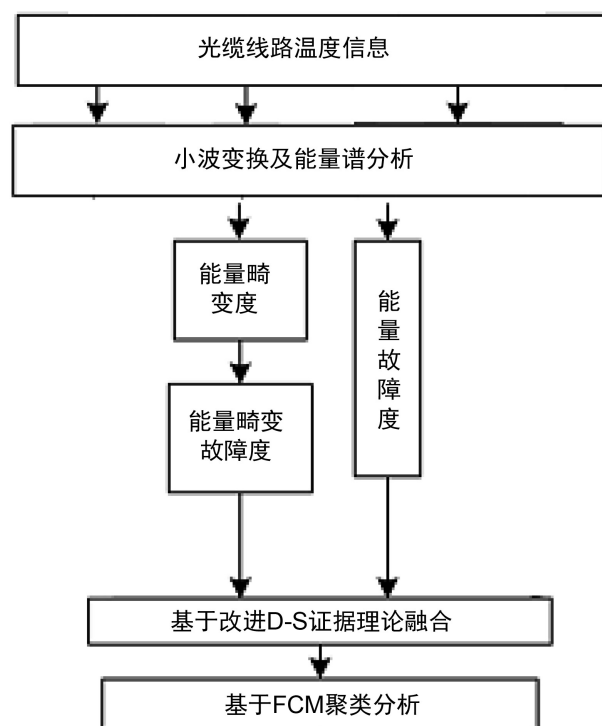


Figure 4. The temperature monitoring system flow diagram of optical cable

图 4. 光缆线路温度监测流程框图

程的绘图、控制与通讯系统的设计与仿真、数字信号与图像处理等相关计算。

本文中选取 3 组温度传感器进行温度监测仿真。3 组温度传感器设置如表 1 所示。

6.2. 仿真结果

用光纤传感器对温度进行仿真，在不同的温度下用光纤传感器采集到的光谱如下：

- 1) 0 度时(见图 5)。
- 2) 80 度时(见图 6)。
- 3) 100 度时(见图 7)。

应用光栅传感器，在不同的温度条件下，不同温度会让传感器采集到不同的反射，采集到的会在反射谱中显示出来，在温度为 0 度时，光栅反射谱中显示出一条反射线，温度为 20 度时，光栅反射谱同样也是一条，只是波形更为规整；温度为 40 度时，光栅反射谱中会出现两条线；温度为 60 度时，则会出现 3 条不同的线；80 度时出现 4 条；100 度时出现 5 条，在不同的温度下，出现的线的条数不同，大概呈现出的规律就是在 20 以后到 100 度，每增加 20 度时，在光栅反射谱中就会多出一条线，以此根据光栅传感器采集到的光谱，即，线的条数来推断此时温度处于什么范围以及温度大概是多少度，从而起到监控温度的作用。然后根据对温度大数据的处理得到相关信息，最后结合实际即可实现对光缆安全评定管理。

7. 结论

本文首先构建了光纤传感网光缆线路温度监测系统架构，由应用层、传输层、检测层构成。接着研究了光纤传感检测技术，并建立了包含传感子系统、数据采集处理子系统的光缆线路温度监测系统，最

Table 1. Temperature sensor settings
表 1. 温度传感器设置

传感器	工作区间设置	工作电流(微安)	电池供电时间(年)
温度传感器 1	绝对温度	<10	10
温度传感器 2	绝对温度	<10	10
温度传感器 3	绝对温度	>100,000	0.5

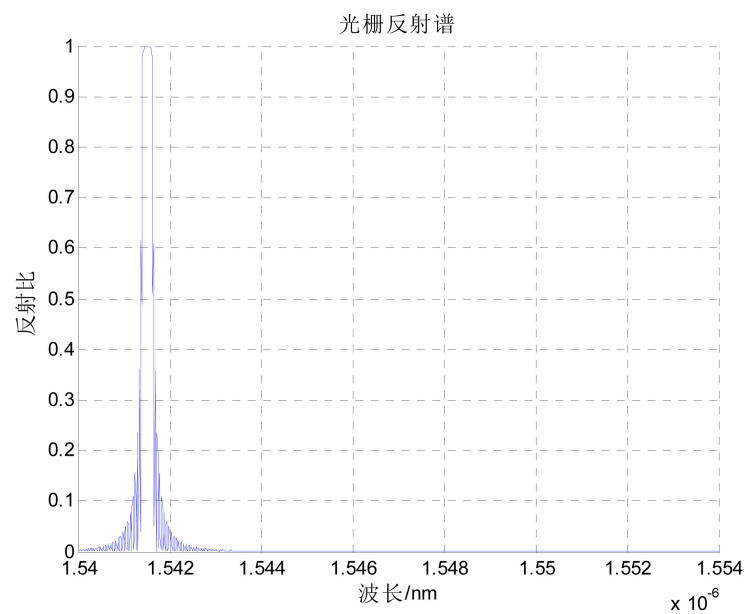


Figure 5. Waveform of 0 degree
图 5. 0 度时波形

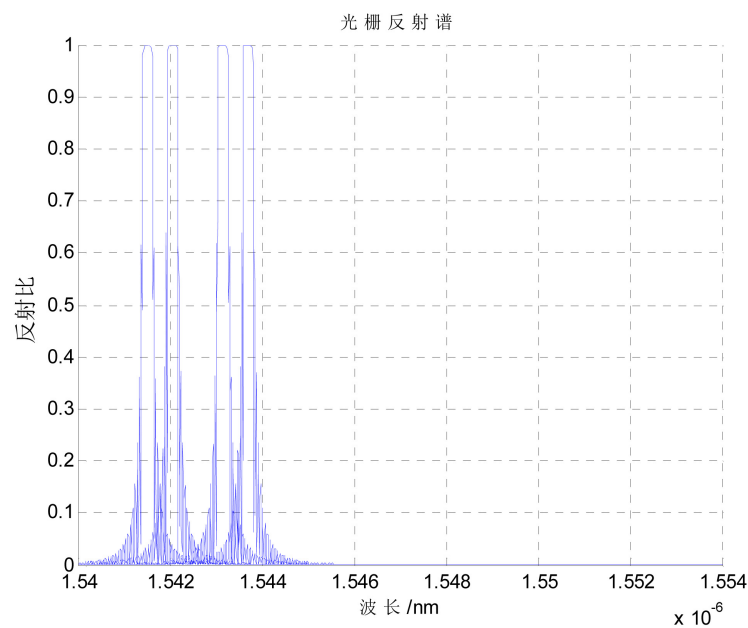


Figure 6. Waveform of 80 degree
图 6. 80 度时波形

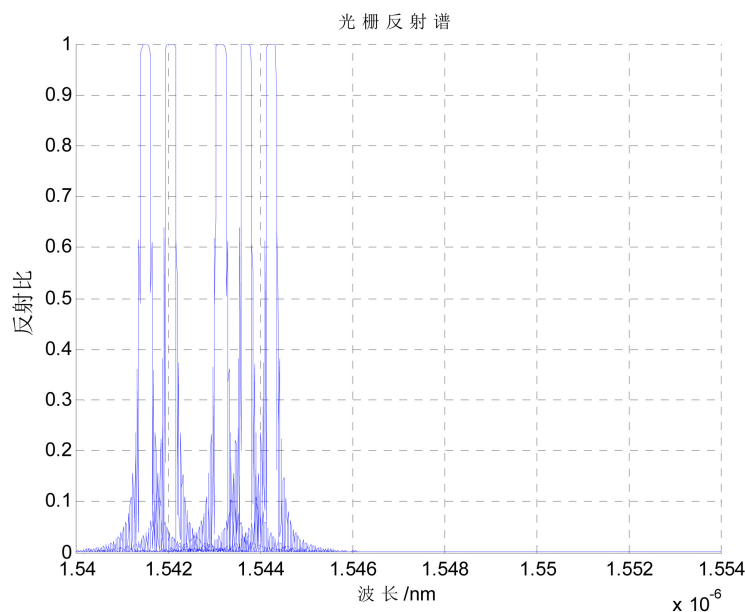


Figure 7. Waveform of 100 degree

图 7. 100 度时波形

后进行了仿真实验，对光缆线路温度或异常信息进行监测分析，为实现对光缆安全评定管理奠定基础。本文研究对光缆线路的监测及其安全运行有一定的指导意义。

参考文献

- [1] 李川, 张以谟, 赵永贵. 光纤光栅原理、技术与传感应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [2] 王洪亮, 董浩斌, 蒋国盛, 等. 基于相关自适应器 EM-MWD 信号检测系统设计[J]. 仪器仪表学报, 2012, 33(5): 1013-1018.
- [3] 丁小平, 王薇, 付连春. 光纤传感器的分类及其应用原理[J]. 光谱学与光谱分析, 2006, 26(6): 1176-1178.
- [4] 何立民. 嵌入式系统的定义与发展历史[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2004(1): 6-8.
- [5] 张宏, 张丽. 基于 Web 嵌入式的矿井远程监测系统的设计[J]. 煤炭技术, 2011, 30(10): 98-100.
- [6] 常瑞丽, 韩军, 崔国玮. 智能移动机器人远程监控系统研究与开发[J]. 机床与液压, 2011, 39(18): 100-102.
- [7] 李灵华, 何丽君. 24 位高带宽 $\Delta-\Sigma$ 模/数转换器 ADS1271 的原理及应用[J]. 现代电子技术, 2007, 30(16): 4-5.
- [8] 周宇, 景博, 张劼. 基于 ZigBee 无线传感器网络的嵌入式远程监测系统[J]. 仪表技术与传感器, 2008(2): 47-50.
- [9] 成宝芝, 郭险峰, 陈春雨, 等. 基于嵌入式技术的油井无线远程监测系统[J]. 化工自动化及仪表, 2010, 37(4): 73-76.
- [10] 李川. 光纤传感器技术[M]. 北京: 科学出版社, 2012.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2333-5394, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jee@hanspub.org