

· 光电器件与材料 ·

## 光纤传感技术在物联网中的应用

闫俊芳, 裴丽, 陈志伟, 刘超, 李卓轩

(北京交通大学光波技术研究所, 全光网络与现代通信网教育部重点实验室, 北京 100044)

**摘要:** 物联网是当前一个研究热点, 而光纤传感技术在物联网中的应用已经引起了广泛关注。物联网的技术构成有4个层次, 分别是用户与应用接口、数据处理技术、数据传输网络、传感网络。在物联网中要用到各种各样大量的传感器。传感器可用于感知各种各样的环境参数, 如温度、重力、光电、声音、位移、振动等, 为物联网提供最原始的数据信息。对光纤传感器的结构、分类以及其在物联网中的应用实例进行介绍, 如光纤陀螺, 光纤水听器、光纤光栅传感器、光纤电流传感器。最后介绍了基于布里渊效应的连续分布式光纤传感技术在物联网中的前沿应用。

**关键词:** 光纤传感技术; 物联网; 传感网络

中图分类号: TP212.9

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255 (2012)01-0037-04

## Optical Fiber Sensing Technology Application in Internet of Things

YAN Jun-fang, PEI Li, CHEN Zhi-wei, LIU Chao, LI Zhuo-xuan

(State Key Laboratory of All Optical Network & Advanced Telecommunication Network, Institute of Lightwave Technology,  
Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract:** The Internet of things is a current hot topic, and optical fiber sensor technology application in the Internet of things has already caused wide concern. The Internet of things is consisted of four levels. They are user and application interface, data processing technology, data transmission network and sensor network. A large number of varied sensors are needed in the Internet of things. Sensor can perceive all kinds of environmental parameters like temperature, gravity, photo-electricity, sound, displacement and vibrate to provide the original data information. The structure of the sensor, classification, and its applications in the Internet of things like optical fiber gyro, optical fiber hydrophone, optical fiber grating sensor and optical fiber current sensor are introduced. Forefront application in the Internet of things of continuous distributed optical fiber sensing technology based on Brillouine effect is also introduced.

**Key words:** optical fiber sensing technology; Internet of things; sensor network

### 1 物联网

所谓物联网, 即通过射频识别(RFID)、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感设备, 按约定的协议, 把任何物品与互联网相连接, 进行信息交换和通信, 以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络概念。“物联网概念”是在“互联网概念”的基础上, 将其用户端延伸和扩展到任何物品与

物品之间, 进行信息交换和通信的一种网络概念。

麻省理工学院的Ashton教授于1995年在研究射频识别技术(RFID)中最先提出物联网(The Internet of Things)一词。2004年日本总务省提出u-Japan构想, 希望在2010年将日本建设成一个Anytime, Anywhere, Anything, Anyone都可以上网的环境。同年, 韩国政府制定了u-Korea战略, 韩国信通部发布的《数字时代的人本主义: IT839战略》来具体

收稿日期: 2012-01-07

基金项目: 国家自然科学基金(60837002; 61177069)

作者简介: 闫俊芳(1987-), 女, 山西太原人, 硕士研究生, 主要从事光纤传感方面的研究。

呼应u-Korea战略。2005年国际电信联盟(ITU)指出,物联网是在计算机互联技术的基础上,利用RFID、传感器技术、互联网技术以及无线通信等技术,构造的一个链接世界万事万物的网络。2008年11月IBM提出“智慧的地球”概念,即“互联网+物联网=智慧地球”,以此作为经济振兴战略。如果在基础建设的执行中,植入“智慧”的理念,不仅能够短期内有力地刺激经济、促进就业,而且能够在短时间内为中国打造一个成熟的智慧的基础设施平台。2009年6月,欧盟委员会提出针对物联网的行动方案,方案明确表示在技术层面将给予大量资金支持,在政府管理层面将提出与现有法规相适应的网络监管方案。

物联网应用广泛,不仅可以提高传统产业的效率,还可提高整个社会的智能化水平,降低社会运行成本,未来发展空间巨大。预计到2020年全球接入物联网的终端将达到500亿个,物联网将成为全球信息通信行业的又一个万亿元级新兴产业。据美国调查机构Forrester预计,物联网的产业链价值比互联网大30倍,将形成下一个万亿级别的信息产业;国内的赛迪顾问预测到2015年,物联网的整体市场规模将达到7500亿,相比2010年得2000亿元市场规模,年复合增长率超过30%。世界各国纷纷提出物联网发展战略,物联网已成为全球发展战略,各国纷纷提出发展规划,物联网蓝图已经明朗,相关技术与标准正不断成熟,尤其是在智能电网、智能交通、智能安防、智能建筑等领域已开展实质性规划与试点建设工作。物联网将成为继计算机互联网与移动通信之后的又一次信息革命。

## 2 光纤传感器

### 2.1 光纤传感器的结构

光纤传感器主要由光源、传输光纤、探测器与信号处理部分组成<sup>[1]</sup>,如图1所示。光源发出的光经

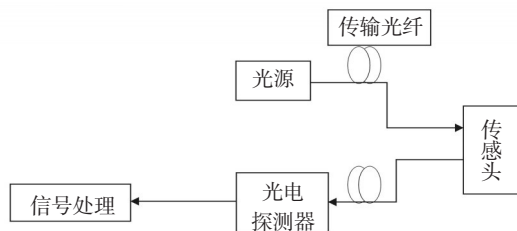


图1 光纤传感器的构成

过光纤传输至传感头(传感头实际上就是一个调制器),当光通过传感头时,根据光纤传感器的设计不同,外部被测物理量对光的相位、强度、波长、偏振态等一个或多个参数进行调制。调制信号光经光纤传输至光电探测器后转化为电信号,经过信号处理后还原出被测物理量。

### 2.2 光纤传感器的分类

光纤传感器的种类非常多,根据光纤在传感器中所起的作用,可以分为本征型(又称为传感型、内作用型)光纤传感器和非本征型(或称传光型、外作用型)光纤传感器<sup>[2]</sup>。本征型光纤传感器主要利用光纤本身对外界信息的光敏感效应,即外界环境因素(如温度、压力、声音、电场等)的变化导致光纤传输属性(如强度、相位、偏振等)随之发生变化。通过检测光纤传输属性的变化,就可以测量外部环境因素的变化。非本征型光纤传感器中的光纤仅仅起到光传输的作用,需要依靠其他对光纤中传输的光进行调制的敏感元件,才能感知外部环境因素的变化。

## 3 光纤传感技术应用于物联网

### 3.1 传感网络

传感网络是由众多传感器节点组成的有线或无线网络,节点密集部署在所关注的物或事物的内部或周围,实现对物的连接、感知和监控。物联网的技术构成有4个层次,分别是用户与应用接口、数据处理技术、数据传输网络、传感网络。由此可知,传感网络在物联网的发展中占据重要的位置。

在物联网中要用到各种各样大量的传感器。传感器可用于感知各种各样的环境参数,如温度、重力、光电、声音、位移、振动等,为物联网提供最原始的数据信息,经过处理后为人们提供服务。

随着通信技术的飞速发展,光纤传感器迅速崛起,其集成了光纤技术、激光技术和光电探测等多领域所取得的巨大成就,以其体积小、质量轻、灵敏度高、抗电磁干扰能力强、数据传输安全、集传输传感合二为一、便于构成分布式传感网络等诸多优点,在物联网这一新技术革命的推动下,被广泛应用于国民经济和人们日常生活的各个领域,大有取代电子传感器之势。

光纤传感器目前可以直接或间接测量近百种物

理量以及化学和生物量,被广泛应用于国防、电力、石油、建筑、医学等各个领域<sup>[3]</sup>。在国防上,光纤传感器可用于水声探潜(光纤水听器)、光纤制导、姿态控制、航天航空器的结构损伤探测(智能蒙皮)以及战场环境(电磁环境、生化环境等)的探测等。在电力系统中,高电压、大电流的恶劣电磁环境使得电子类传感器的应用受到限制,而光纤传感器以其特有的抗电磁干扰能力,在电力系统中可用于测量大型电机的转子、定子和高压变压器内部的电流、电压、温度。

### 3.2 光纤传感器在物联网中的典型应用

目前应用较广的光纤传感器有4种。

(1) 光纤陀螺。光纤陀螺分干涉型、谐振型和布里渊型。干涉型光纤陀螺是第一代,技术上已经趋于成熟,正处于推进批量生产和商品化阶段;谐振型光纤陀螺是第二代,处于实验室研究向实用化推进的发展阶段;布里渊型是第三代,尚处于理论研究阶段。光纤陀螺结构根据所采用的光学元件有3种实现方法:小型分立元件系统、全光纤系统和集成光学元件系统。目前分立光学元件技术已经基本退出,全光纤系统应用在开环低精度、低成本的光纤陀螺中,集成光学器件陀螺以工艺简单、总体重复性好、低成本成为国际中高精度光纤陀螺的主要方案。光纤陀螺的原理图如图2所示。

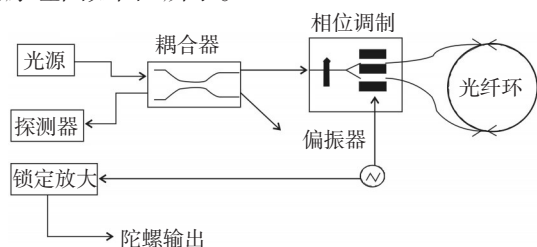


图2 光纤陀螺原理

(2) 光纤水听器。光纤水听器是一种建立在光纤、光电子技术基础上的水下声信号传感器,它通过高灵敏度的光纤相干检测,将水声信号转换为光信号,并通过光纤传至信号处理系统转换为声信号信息。光纤水听器按原理可分为干涉型、强度型、光栅型等。相比传统水听器,光纤水听器具有灵敏度高、响应带宽、不受电磁干扰等特点,广泛用于军事和石油勘探、环境检测等领域,具有很大的发展潜力。干涉型光纤水听器关键技术已经逐步发展成熟,在部分领域已经形成产品化;光纤光栅水听器则是当前研究的热点,研究的关键技术涉及光源、光纤器件、探头技

术、抗偏振衰落技术、抗相位衰落技术、信号处理技术、多路复用技术以及工程技术等。光纤水听器的原理图如图3所示。

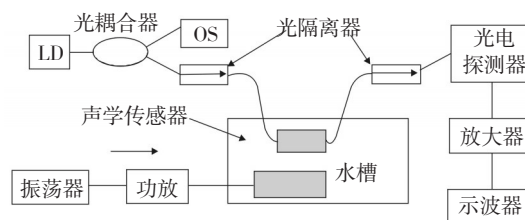


图3 光纤水听器原理

(3) 光纤光栅传感器。当前光纤光栅传感器的产品包括应变传感器、温度传感器、压力传感器等。光纤光栅传感器,尤其是光纤Bragg光栅传感器是最近几年国内外传感器领域的研究热点。传统光纤传感器绝大部分属于光强型和干涉型,光强型传感器存在光源不稳定,光纤损耗和探测器老化等问题,干涉型传感器由于要求两路干涉光的光强相等、需要固定参考点,应用不便。以光纤布喇格光栅为主的光纤光栅传感器传感信号为波长调制、复用能力强,避免了上述传统光纤传感器存在的问题。在建筑健康检测、冲击检测、形状控制和振动阻尼检测等应用中,光纤光栅传感器是最理想的灵敏元件。光纤光栅传感器在地球动力学、航天器、船舶航运、民用工程结构、电力工业、医药和化学传感中有广泛的应用。光纤光栅传感器分为反射式和透射式,其中反射式应用居多,其原理如图4所示。

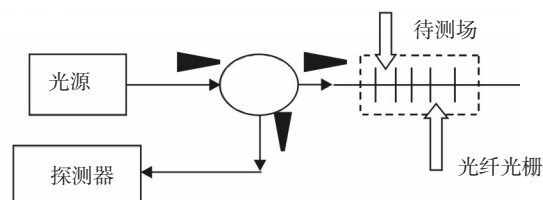


图4 反射式光纤光栅原理

(4) 光纤电流传感器。电力工业的迅猛发展带动电力传输系统容量不断增加,运行电压等级越来越高,这使得电力系统不得不面临强大电流的测量问题。在高电压、大电流和强功率的电力系统中,以电磁感应为基础的传统电流传感器(简称CT)暴露出一系列严重缺点:爆炸引起灾难性事故;大故障电流引起铁芯磁饱和;铁芯共振效应;滞后效应;精度不高;易受干扰;体积大、质量大、价格昂贵等,已经难以满足新一代数字电网的发展需要。光纤电流传感器



成为解决上述难题的最好办法。光纤电流传感器的原理图如图5所示。

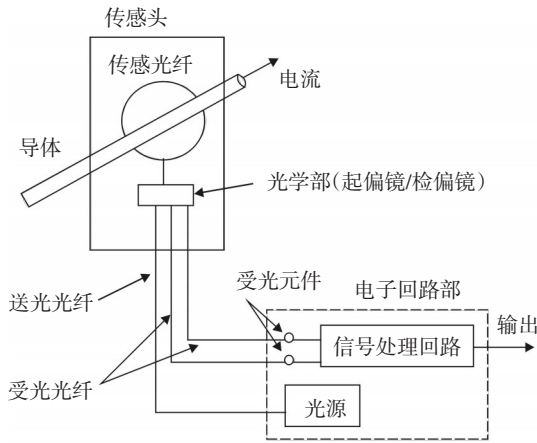


图5 光纤电流传感器原理

### 3.3 光纤传感器在物联网中的前沿应用

目前,光纤传感技术主要为“点式”。所谓“点式”,就是将一个个点式传感器植入工程内部,通过点的反应进行监测。对大型工程来说,点式光纤传感技术除了存在造价高的缺陷外,其感应分布分散,若问题部位不分布在布有传感器的点上,则不敏感甚至不感应,极易造成疏漏。南京大学工程管理学院教授张旭莘教授利用物联网的概念提出的“基于布里渊效应的连续分布式光纤传感技术”可弥补这一缺陷。该技术具有六大优点:采用光纤体小质轻易埋入;耐腐蚀;抗电磁干扰;传输频带宽、传感与传输一体易组网;监测反应连续、快速、灵敏度高;维护费用低,经济实惠<sup>[4]</sup>。

该技术可应用于土木工程、输气输油管道、电力电缆的安全健康检测,如对桥梁、大坝等建筑物的变形、裂缝进行探测,对这些设施遭受人为或自然灾害时的受力应变情况进行连续分布式检测和预警,对故障点进行定位,对工程进行监控。

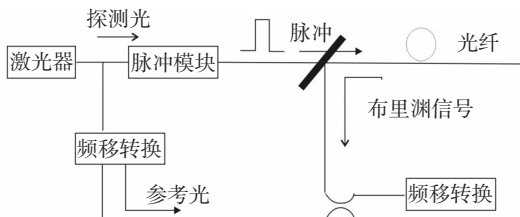


图6 布里渊光时域反射计

布里渊光时域反射计是布里渊光纤传感技术中最前沿的技术,其原理如图6所示。

## 4 结束语

随着社会和经济的发展,光纤传感在物联网的应用中迎来了重要的发展时机,应用领域将不断得到扩大。今后,基于光纤传感技术的物联网研究将具有广泛而巨大的价值。

## 参考文献

- [1] YANG Yong-hua,SUN Yu. Review of optical fiber sensor network [J]. Research and Development, 1992,3(3): 11-15. (in Chinese)
- [2] Y J Rao. Recent progress in applications of in-fibre Bragg grating sensors[J]. Optics and lasers in Engineering 31, 1999: 297-324.
- [3] D Kersey. A review of recent developments in fiber optic sensor technology[J]. Optic Fiber Technol., 1996(2):291-317.
- [4] Xuping Zhang, Feng Wang, Yuangang Lu. Fully Distributed Optical Fiber Sensor Based on Brillouin Effect[J]. Laser and Optoelectronics Progress, 2009,11: 1-17.
- [5] M N Islam. Raman amplifiers for telecommunications[J]. IEEE J. of Selected Topics in Quantum Electronics, 2002, 8(3):548-559.
- [6] J Bromage. Raman amplification for fiber communications systems[J]. J of Lightwave Technol., 2004,22(1):79-93.
- [7] G Meltz. Overview of fiber grating-based sensors, in Proc[J]. SPIE, Distributed and Multiplexed Sensors VI, 1996, SPIE-2838:2-23.
- [8] S C Tjin, Y wan, X Sun, et al. Application of quasi-distributed fibre Bragg grating sensors in reinforced concrete structures[J]. Measurement Science & Technology, 2002, 13(4): 583-589.
- [9] R Willsch. Application of optical fiber sensors: technical and market trends[J]. Proc. Of SPIE, 2001,4074:23-34.
- [10] ZUO Chao, SHEN Xue-min, PU Hong-tu. Multiwavelength laser using phase modulator ang fabry-perot cavity [J]. Journal of Optoelectronics.laser,2002,13(3):244-246. (in Chinese).