



# 无线传感器

## 网络关键技术及应用研究

刘洋 铁勇 著

WUXIAN CHUANGANQI

WANGLUO GUANJIAN JISHU JI YINGYONG YANJIU



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

# 无线传感器 网络关键技术及应用研究

刘洋 铁勇 著



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

· 北京 ·

## 内 容 提 要

无线传感器网络是近几年来国内外研究和应用的热门领域,在国民经济建设和国防军事上具有十分重要的应用价值。

本书从实用和科研的角度出发,比较全面、系统地论述了无线传感器网络中的关键技术及其在工程中的应用,主要内容涵盖了无线传感器网络的协议标准、无线传感器网络的 MAC 协议、无线传感器网络的传输协议等。

本书结构合理,条理清晰,内容丰富新颖,可供从事无线传感器网络的工程技术人员参考使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

无线传感器网络关键技术及应用研究 / 刘洋, 铁勇  
著. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2018.6  
ISBN 978-7-5170-6577-7

I. ①无… II. ①刘… ②铁… III. ①无线电通信—  
传感器 IV. ①TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第138099号

书 名	无线传感器网络关键技术及应用研究 WUXIAN CHUANGANQI WANGLUO GUANJIAN JISHU JI YINGYONG YANJIU
作 者	刘洋 铁勇 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座100038) 网址:www.waterpub.com.cn E-mail:sales@waterpub.com.cn 电话:(010)68367658(营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话:(010)88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京亚吉飞数码科技有限公司
印 刷	三河市元兴印务有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 13.25印张 237千字
版 次	2018年10月第1版 2018年10月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	62.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 前 言

进入 21 世纪以来,随着信息技术与感知技术的快速发展,以及人们对于物理世界信息需求的不断增长,物联网作为一种能够实现物与物之间广泛和普遍互联的新型网络,正在受到世界各国越来越广泛的关注和重视。目前,业界普遍认为,物联网将继计算机、互联网和移动通信之后掀起一次新的信息产业革命,成为未来社会进步和发展的重要基础设施,将给人们的日常生活带来翻天覆地的变化。

无线传感器网络作为物联网的“末梢神经”,是一种集综合信息采集、处理和传输功能于一体的智能网络信息系统。无线传感器网络由大量传感器节点组成,这些传感器节点被部署在指定的地理区域,通过无线通信和自组织方式形成无线网络,能够实时感知与采集指定区域内的各种环境数据和目标信息,并将所感知与采集到的数据和信息传送给监控中心或终端用户,实现对物理世界的感知、人与物理世界之间的通信和信息交互。如果说互联网的出现改变了人与人之间的沟通方式,那么无线传感器网络的出现将改变人类与自然界之间的交互方式,使人类可以通过无线传感器网络直接感知客观世界,极大地提高人类认识、改造物理世界的能力。因此,无线传感器网络在民用和军事领域具有十分广阔的应用前景。在民用领域,无线传感器网络可以应用于环境监测、工业控制、医疗健康、智能家居、科学探索、抢险救灾和公共安全等方面;在军事领域,无线传感器网络可以应用于国土安全、战场监视、战场侦察、目标定位、目标识别、目标跟踪等方面。

无线传感器网络能够实现对物理世界的感知,是实现物联网的重要基础。无线传感器网络技术涉及微电子、网络通信和嵌入式计算等主要技术,是当前国际上备受关注的、多学科交叉的一个前沿热点研究领域。由于无线传感器网络拥有广阔的应用前景,近年来引起了国际上许多国家的高度重视。因此,无线传感器网络在过去的十多年中得到了广泛、深入的研究,并在基础理论、关键技术和实际应用等方面取得显著的成果。尽管一些商用的无线传感器网络系统已经出现,并开始投入实际应用,然而,无线传感器网络在传感器、组网、节能、可靠性等技术方面仍然受到许多限

制,特别是针对物联网发展来说,许多相关技术和问题还有待进一步探索、研究和解决。

全书由刘洋教授、铁勇教授撰写,编撰过程中得到了刘晋宏、赵小燕、周红丽、吴琼、李琪、李媛、冯浩宇、王海舰、龚政、侯丽娜、沈钦民等研究生的帮助。本书参考了大量相关文献和著作,在此向有关作者表示感谢。本书得到了国家自然科学基金(61461036,61761033)的资助。

由于作者水平所限,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请有关专家学者和广大读者批评指正。

作者

2018年5月

# 目 录

前言

<b>第 1 章 概述</b> .....	1
1.1 无线传感器网络的概念与特征 .....	1
1.2 无线传感器网络的关键技术 .....	4
1.3 无线传感器网络的设计目标 .....	7
1.4 无线传感器网络的应用领域.....	10
1.5 无线传感器网络的发展与现状.....	12
<b>第 2 章 无线传感器网络的协议标准</b> .....	16
2.1 概述.....	16
2.2 无线传感器网络技术.....	17
2.3 ZigBee 标准 .....	24
<b>第 3 章 无线传感器网络的 MAC 协议</b> .....	34
3.1 概述.....	34
3.2 无线传感器网络的 MAC 协议设计 .....	39
3.3 无线传感器网络的 MAC 协议 .....	43
<b>第 4 章 无线传感器网络的传输协议</b> .....	57
4.1 概述.....	57
4.2 无线传感器网络的传输协议设计.....	61
4.3 无线传感器网络的拥塞控制基本机制.....	63
4.4 无线传感器网络的可靠传输基本机制.....	67
4.5 无线传感器网络的典型传输协议.....	69
<b>第 5 章 无线传感器网络的时间同步技术</b> .....	79
5.1 概述.....	79
5.2 无线传感器网络的时间同步协议.....	82
<b>第 6 章 无线传感器网络的拓扑控制技术</b> .....	89
6.1 概述.....	89
6.2 基于功率控制的拓扑控制机制.....	92
6.3 基于层次结构的拓扑控制机制.....	94

<b>第 7 章 无线传感器网络的定位技术</b> .....	99
7.1 概述 .....	99
7.2 无线传感器网络的定位技术基础 .....	101
7.3 无线传感器网络的定位算法 .....	105
<b>第 8 章 无线传感器网络中间件技术</b> .....	108
8.1 无线传感器网络中间件的体系结构及功能 .....	108
8.2 基于 Agent 的无线传感器网络中间件 DisWare .....	113
8.3 DisWare 中间件平台软件 MeshIDE .....	116
8.4 无线多媒体传感器网络中间件技术 .....	121
8.5 支持多应用任务的 WSN 中间件的设计 .....	124
<b>第 9 章 无线传感器网络的数据融合与管理技术</b> .....	128
9.1 无线传感器网络的数据融合概述 .....	128
9.2 无线传感器网络的数据融合技术与算法 .....	130
9.3 无线传感器网络的数据管理技术 .....	139
9.4 基于策略和代理的无线传感器网络的数据管理架构 .....	146
9.5 现有传感器网络数据管理系统简介 .....	148
<b>第 10 章 无线传感器网络的安全技术</b> .....	155
10.1 无线传感器网络的安全问题概述 .....	155
10.2 无线传感器网络协议栈的安全 .....	162
10.3 无线传感器网络的密钥管理 .....	167
10.4 拒绝服务(DoS)攻击的原理及防御技术 .....	170
10.5 无线传感器网络的安全路由 .....	178
<b>第 11 章 无线传感器网络的发展趋势</b> .....	182
11.1 概述 .....	182
11.2 无线传感器网络的总体趋势 .....	183
11.3 无线多媒体传感器网络 .....	186
11.4 无线容迟传感器网络 .....	191
11.5 无线传感器与执行器网络 .....	196
11.6 无线传感器网络的标准化趋势 .....	199
<b>参考文献</b> .....	202

# 第 1 章 概 述

无线传感器网络是集信息采集、信息处理和信息传输功能于一体的智能网络信息系统。该网络信息系统能够实时地感知和收集各种环境数据和目标信息,实现人与自然世界的交流和信息交互,在军事和民用领域具有广阔的应用前景。无线传感器网络技术是实现物联网的关键基础,它涉及微电子、网络通信和嵌入式计算等主要技术,目前该技术在行业内依旧属于研究热点。本章介绍无线传感器网络的概念、特点、关键技术、设计目标、应用领域以及发展与现状。

## 1.1 无线传感器网络的概念与特征

无线传感器网络是一种新型的无线网络,与传统的无线网络相比,它有其自身的特点。本节简要介绍无线传感器网络的基本概念及其主要特征。

### 1.1.1 无线传感器网络的概念

随着微电子机械系统(MEMS)的迅速发展,无线通信和嵌入式计算技术逐渐趋于成熟。低成本、低功耗、多功能的微传感器在近几年得到了快速发展。集成传感器、嵌入式微处理器和无线收发设备占地面积小,不仅具有收集信息的能力,还具有数据处理和无线通信的能力。无线传感器网络(WSN)是一个面向任务的无线自组织网络系统,由大量的微传感器节点组成。这些传感器节点密集部署在一个特定的地理区域,通过无线通信和自组织形成的一个多跳无线网络,感知、采集、处理和监测在目标域的各种环境数据和信息,并将采集到的数据和信息传输到监控中心并和终端用户配合完成指定任务。通过使用不同类型的传感器,无线传感器网络可以测量各种物理信息,如温度、湿度、亮度、噪声、压力、大小、速度和运动物体的方向。



无线传感器网络是一种新型的信息感知和数据采集网络系统。它能够任何时间、任何地点和任何环境中获取各种详细和准确的环境数据或目标信息,并完成对物理世界的感知,以及与物理世界进行交流和信息交换。假如说互联网的出现改变了人们相互沟通的方式,那么无线传感器网络的出现将改变人类与自然界的互动方式,使人类能够通过无线传感器网络直接感知客观世界,并在很大程度上提高人类的理解度以及改变现实世界的能力。因此,无线传感器网络在民用和军事领域具有非常广阔的应用前景。在民用领域,无线传感器网络可用于环境监测、工业控制、医疗保健、智能家居、科学探索、救灾和公共安全;在军事领域,无线传感器网络主要用于国土安全、战场监视和战场侦察、目标定位、目标识别和目标跟踪。

由于无线传感器网络具有广阔的应用前景,近年来引起了世界各国的高度重视。1999年,美国《商业周刊》将无线传感器网络技术列为21世纪最重要的21项技术之一。相信这项技术将对未来的社会进步和人类生活产生重大影响。可以预见,随着无线传感器网络技术的不断发展,各种无线传感器网络将广泛应用于各个领域,并极大地改变人们的生活、工作和与物理世界的互动方式。

### 1.1.2 无线传感器网络的特征

无线传感器网络是一个面向任务的无线自组织网络系统,它一般由部署在监视区域的大量传感器节点和位于该区域附近或该区域的一个甚至多个数据收集节点组成。这些传感器节点占地面积小,但配备了传感器、嵌入式微处理器和无线收发器,具有数据采集、数据处理和无线通信功能。通过无线通信和自组织网络的形成,对各种环境数据和目标信息的监控区域的监控和管理,将监控的数据和信息传输到汇聚节点,合作监测完成规定的工作。同时,传感器节点还可以通过汇聚节点作为网关与现有的网络基础设施(如互联网、卫星网络、移动通信网络等)连接,以便将收集到的数据和信息传输到远程监控中心或终端用户。

无线传感器网络是一种特殊的无线自组织网络,它与传统的无线自组织网络有许多相似之处,主要体现在自组织、分布式控制、拓扑动态等特性。

#### (1) 自组织特性

在绝大多数的无线传感器网络中,传感器节点一般都是随机安装的,节点的位置和节点之间的相邻关系没有办法提前预知。例如,大量的传感器节点在广袤的原始森林中播撒,或者传感器节点通过飞机投射到敌人的战区。因此,传感器节点需要具有自组织能力。部署后,它可以在任何时间和

任何地点自动构建多跳无线网络。网络不依赖任何固定的网络设施,当网络拓扑发生变化时,它可以自动重建网络。

### (2) 分布式控制特性

无线传感器网络没有严格的控制中心,所有传感器节点状态相同,节点通过分布式控制进行协调,这是一个分布式传感网络。节点可以随时连接或离开网络。任何节点的故障不会影响整个网络的运行,具有很强的抗毁性。

### (3) 拓扑动态特性

由于各种因素,无线传感器网络的拓扑结构将会频繁变化。例如,环境条件的变化会影响无线信道的质量并导致通信链路的不连续性。由于工作环境的自然条件十分恶劣,传感器节点很容易损坏。由于各种原因,它可能随时失效。节点因能量耗尽而死亡。节点将加入或离开网络,一些节点和监控目标具有移动性。所有这些情况都会改变网络的拓扑结构。因此,无线传感器网络的拓扑结构具有动态的特性。

但是,无线传感器网络与一般意义上的无线自组织网络仍旧有很大的不同,这些不同表现在网络规模大、节点容量有限、节点可靠性差、以数据为中心、多对一传输模式、冗余高度、应用相关性等方面。

1) 网络规模大。为了保证网络的有效可靠运行,获得准确的监测数据或目标信息,无线传感器网络通常需要大规模部署在指定的地理区域。其中,大规模主要包括两个方面:一方面,传感器节点的分布较大,节点数目较大。例如,在森林防火或环境监测中,通过传感器网络,我们需要部署大量的传感器节点,数量成千上万;另一方面,传感器节点的密度很高,在一个很小的区域,有许多密集部署的传感器节点。与传统的无线自组织网络相比,节点数量和密度提高了好几个数量级。无线传感器网络不依赖于单个节点的能力,而是通过大量冗余节点共同完成所分配的任务。

2) 节点能量有限。传感器节点通常由电池供电。由于传感器节点的体型迷你化,节点的电池容量非常有限。在大多数情况下,一方面,当传感器节点部署在自然条件比较艰苦或敌对的环境中时,很难或不可能对电池进行充电。因此,传感器节点的能量受到很大程度上的限制,这种限制又反馈回来,对节点的工作寿命和网络的生命周期有着决定性的影响;另一方面,传感器节点成本低、体积小,相当程度上限制了节点的处理能力和存储容量,使其无法进行复杂的计算。此外,传感器节点在体积、能量方面的限制会在很大程度上影响节点的通信能力。

3) 节点可靠性差。无线传感器网络往往安装在陌生或敌对环境中。传感器节点大部分情况下处于没有人看护的状态,这就给节点和网络的维护

增加了难度,使其变得不容易或者基本很难完成。因此,传感器节点容易损坏或出现故障。

4)以数据为中心。无线传感器网络是一个以数据为中心的网络,用户通常只关心指定区域内所监测对象的数据,而不关心某个具体节点所监测到的数据。用户在查询数据或事件时,通常直接将所关心的对象或事件发布给网络,网络不传输到网络中的特定节点,而是在获取指定对象或事件的信息后向用户报告。这是无线传感器网络以数据为中心的特性。它不同于传统的网络寻址过程,它能够快速、有效地收集所有节点的信息,并提取有用的信息,直接发送给最终用户。

5)多对一传输模式。在无线传感器网络中,节点收集和监测的信息和数据往往不是从一个源节点传输到汇聚节点,给汇聚节点传输数据的源节点通常有多个,并呈现多对一的数据传输方式。这种数据传输模式和以往传统网络的传输模式有很大的不同。

6)冗余度高。无线传感器网络一般使用非常多的传感器节点来协同完成限制性工作。这些节点密集部署在指定的地理区域。多传感器节点获取的数据和信息通常具有较强的相关性和较高的冗余度。

7)应用相关性。无线传感器网络是面向任务或面向应用的网络。不同的传感器网络关注不同的物理量。网络设计有不同的要求,它的硬件平台,软件系统和网络协议也会有很大的不同。因此,无线传感器网络不能使用互联网等统一通信协议。传感器网络通常需要针对特定应用进行设计。这是传感器网络设计的一个显著特征,它与传统的网络设计不同。

## 1.2 无线传感器网络的关键技术

无线传感器网络的基本概念最初在 35 年前已经被提出。当时,由于传感器、计算机和无线通信等技术的限制,这个概念只是一种想象,并不能成为一种可以广泛应用的网络技术,它的应用主要局限于军事系统。近年来,随着 MEMS 技术、无线通信技术和低成本制造技术的进步,开发和生产具有感知、处理和通信能力的低成本智能传感器成为可能,从而推动了无线传感器网络及其应用的快速发展。

### 1.2.1 微机电系统技术

微机电系统(MEMS)技术是制造微型、低成本、低功耗传感器节点的

关键技术。该技术以微细加工技术为基础,用于制造微米级机械零件。采用高度集成的工艺,可以制造各种机电元件和复杂的微机电系统。微细加工技术种类繁多,如平面加工、批量加工、表面加工等,它们采用不同的加工工序。大部分微型机械加工工序都是在一个 $10\sim 100\ \mu\text{m}$ 厚,由硅、晶状半导体或石英晶体组成的基片上,完成一系列加工步骤,比如,薄膜分解、照相平版印刷、表面蚀刻、氧化、电镀、晶片接合等,不同的处理过程可以有不同的处理步骤。通过将不同的组件集成到衬底上,可以大大减少传感器节点的大小。MEMS技术可用于小型化的传感器节点的很多部分,如传感器、通信模块和电源单元。通过批量生产,节点的成本和功耗也可以大幅度降低。

### 1.2.2 无线通信技术

无线通信技术是保证无线传感器网络正常运行的关键技术。近几十年来,无线通信技术在传统无线网络领域得到了广泛的应用,并在各个方面取得了长足的进步。在物理层,设计了不同的调制、同步和天线技术,以适应不同的网络环境。在链路层、网络层和更高的水平,各种有效的通信协议已被开发来解决各种网络问题,如信道访问控制、路由选择、服务质量、网络安全性。这些技术和协议为无线传感器网络的设计提供了丰富的技术基础。

目前,大多数传统的无线网络使用射频(RF)进行通信,包括微波和毫米波。主要原因是射频通信不需要视距传输,提供全向连接。然而,射频通信也存在着辐射大、传输效率低等缺陷。因此,它不是微能量和有限传感器通信的最佳传输介质。光无线通信(无线光通信)是另一种适用于传感器网络通信的传输介质。与射频通信相比,无线光通信具有许多优点。例如,光发射机可以做得很小,可以获得天线增益大的光信号,提高传输效率;光通信具有强大的方向性,因此可以用于SDMA(空分多址,Space Division Multiple Access),减少通信开销,并且可以具有多个接入以获得比RF通信更高的能量效率。然而,光通信需要视距传输,这限制了其在许多传感器网络中的应用。

对于传统的无线网络(如蜂窝式通信系统、无线局域网、移动Ad Hoc网络等),考虑到无线传感器网络的特殊问题,大多数的通信协议不好设计,并且不能被直接应用到传感器网络。为了解决无线传感器网络独特的网络问题,在通信协议的设计中必须将无线传感器网络的特点考虑进去。

### 1.2.3 硬件与软件平台

无线传感器网络的发展很大程度上依赖于低成本、低功耗的传感器网络软硬件平台的开发和发展。采用微机电系统技术,可大幅度减少传感器节点的体积并降低其成本。为了降低节点功耗,能量传感技术和低功耗电路和系统设计技术可用于硬件设计。同时,动态电源管理(动态管理,Dynamic Power Management,DPM)技术也可以用来有效地管理各种系统资源和进一步降低节点的功耗。例如,当节点负载较小或无需处理负载时,可以动态地关闭所有空闲部分或使它们进入低功耗休眠状态,从而大大降低节点的功耗。另外,如果将能量传感技术应用于系统软件的设计中,可以大大提高节点的能量利用率。传感器节点的系统软件主要包括操作系统、网络协议和应用协议。在操作系统中,任务调度器负责在一定的时间约束条件下调度系统的各项任务。如果在任务调度过程中采用能量感知技术,将能够有效延长传感器节点的使用寿命。

目前,许多低功率传感器硬件和软件平台的开发都采用了低功率电路与系统设计技术和功率管理技术,这些平台的出现和商用化进一步促进了无线传感器网络的应用和发展。

#### 1. 硬件平台

传感器节点的硬件平台可以划分为三类:增强型通用个人计算机、专用传感器节点和基于片上系统(System-on-Chip,SoC)的传感器节点。

##### (1) 增强型通用个人计算机

这类平台包括各种低功耗嵌入式个人计算机(如 PC104)和个人数字助理(Personal Digital Assistant,PDA),它们通常运行市场上已有的操作系统(如 Win CE 或 Linux),并使用标准的无线通信协议(如 IEEE 802.11 或 Bluetooth)。与专用传感器节点和片上系统传感器节点相比,这些类似个人计算机的平台具有更强的计算能力,从而能够包含更丰富的网络协议、编程语言、中间件、应用编程接口(API)和其他软件。

##### (2) 专用传感器节点

这类平台包括 Berkeley Motes、UCLA Medusa 和 MIT  $\mu$ AMP 等系列,这些平台通常使用市场上已有的芯片,具有波形因素小、计算和通信功耗低、传感器接口简单等特点。

##### (3) 基于片上系统的传感器节点

这类平台包括 Smart Dust 和 BWRC PicoNode 181 等,它们基于

CMOS、MEMS 和 RF 技术,目标是实现超低功耗和小焊垫(Footprint),并具有一定的感知、计算和通信能力。

在上述所有平台中,Berkeley Motes 因其波形因素小、源码开放和商用化等特点,在传感器网络研究领域得到广泛使用。

## 2. 软件平台

软件平台可以是一个提供各种服务的操作系统,包括文件管理、内存分配、任务调度、外设驱动和联网,也可以是一个为程序员提供组件库的语言平台。典型的传感器软件平台包括 TinyOS、nesC、TinyGALS 和 Mote 等。TinyOS 是在资源受限的硬件平台(如 Berkeley Motes)上支持传感器网络应用的最早期的操作系统之一。这种操作系统由事件驱动,仅使用 178 个字节的内存,但能够支持通信、多任务处理和代码模块化等功能。它没有文件系统,仅支持静态内存分配,能实现简单的任务调度。nesC 是 C 语言的扩展,用以支持 TinyOS 的设计,提供了一组实现 TinyOS 组件和应用的语言构件和限制规定。TinyGALS 是一种用于 TinyOS 的语言,它提供了一种由事件驱动并发执行多个组件线程的方式。与 nesC 不同,TinyGALS 是在系统级而不是在组件级解决并发性问题。Mote 是一种用于 Berkeley Motes 的虚拟机,它定义了一组虚拟机指令来抽象一些公共的操作,如传感器查询、访问内部状态等。因此,用 Mote 指令编写的软件不需要重新编写就可以用于新的硬件平台。

## 1.3 无线传感器网络的设计目标

无线传感器网络的特征及其不同应用的要求对传感器网络的设计目标有着非常大的影响,这些设计目标主要包括以下几个方面。

### 1. 节点容量

降低节点容量是无线传感器网络的主要设计目标之一。传感器节点通常部署在恶劣的环境中,减少节点容量有助于节点的部署,也有助于降低节点的成本和功耗。

### 2. 节点成本

降低节点成本是无线传感器网络的另一个主要设计目标。由于传感器节点通常部署在恶劣的环境,它们不能重复使用,因此必须尽可能地减少节

点的成本,以降低整个网络的开销。

### 3. 节点功耗

无线传感器网络中最重要的设计目标是减少节点的功耗。由于传感器节点由电池供电并具有有限的能量,并且往往部署在恶劣的环境中。这就给更换电池和对电池充电增加了困难。因此,节点功率的降低对于延长传感器节点的生命周期和整个网络的生命周期具有举足轻重的作用。

### 4. 可自组性

在无线传感器网络中,传感器节点的部署通常不是按预先设计、规划进行的,而是随机撒播或部署在某一指定区域。一旦部署完毕,传感器节点必须能够自动组网,并在网络拓扑发生变化或节点出现故障时,能够重新组织节点连接。

### 5. 可扩展性

对于不同的传感器网络应用,所需要的传感器节点数可以从几十、几百到几千、几万,甚至更多。因此,传感器网络协议的设计应具有强大的可扩展性。

### 6. 自适应性

在无线传感器网络中,节点的密度和网络拓扑可以通过连接、移动或故障等因素来改变。因此,传感器网络协议的设计应该能够适应密度和拓扑结构的变化。

### 7. 可靠性

对于许多传感器网络应用程序,所收集的数据和信息可以可靠地传输到聚合节点或数据处理中心。因此,一方面,传感器网络协议的设计必须提供差错控制和纠错机制,以保证可靠的数据传输;另一方面,传感器节点通常在恶劣的环境中工作,处于无人值守的状态,这很容易失效。因此,传感器节点应该具备自检、自维护、自恢复能力。

### 8. 安全性

在许多传感器网络的军事应用中,传感器节点部署在恶劣的环境中,容易受到被动窃听或主动入侵。因此,无线传感器网络必须引入有效的安全机制,防止数据被窃取或恶意攻击。

## 9. 资源利用率

由于采用无线信道,网络的带宽资源十分有限。因此,网络通信协议的设计必须尽可能高效地利用有限的带宽,以提高网络的带宽利用率。

## 10. 服务质量

在无线传感器网络中,不同的应用在传输迟延和分组丢失率等服务质量方面有不同的要求。例如,一些应用要求实时的数据传输,对传输迟延要求较高,如地震、火灾监测;另一些应用能够容忍传输迟延但不允许数据出错或丢失,如科学探索中的数据采集。因此,网络协议的设计必须考虑具体应用的服务质量要求。

大多数无线传感器网络都是与应用相关的,必须满足不同应用的要求。因此,在实际中没有必要、也不可能在一个网络中实现以上所有的设计目标。在设计一个具体的传感器网络时,只需考虑部分设计目标以满足网络应用的要求。

无线传感器网络的特征给实现上述设计目标增加了许多技术难度,主要包括以下几个方面。

### (1) 大规模随机部署

无线传感器网络通常使用随机播种或放置方法在给定区域内部署大量传感器节点。部署完成后,传感器节点必须能够以临时方式构建网络。由于节点数量大,部署节点密度高,组网难度增大。

### (2) 有限节点能量

传感器节点由电池供电,能量非常有限。这种能量限制增加了传感器节点软硬件开发的难度和网络协议的设计。为了延长网络的寿命,在传感器网络设计的各个方面都要充分考虑到能源效率,这不仅在硬件和软件的开发上,而且在网络协议的设计中也要充分考虑。

### (3) 有限硬件资源

传感器节点的处理和存储能力有限,只能执行简单的计算功能。在这样的约束下,传感器网络的软件开发和网络协议设计不仅要考虑传感器节点的能量约束,还要考虑传感器节点的处理和存储能力,这给传感器网络的软件开发和网络协议设计带来了新的困难。

### (4) 动态拓扑变化

无线传感器网络通常在恶劣的环境下工作。网络的拓扑结构由于节点的失效、损伤、进入、移动或能量消耗而不断变化。所使用的无线信道噪声大,容易出错。随着时间的推移,信道的衰落或信号的衰减会导致网络连接



的频繁中断和拓扑结构的频繁变化。传感器网络协议必须能够动态地适应这种拓扑变化。

### (5) 多样应用

无线传感器网络具有很广泛的应用范围,能够提供各种不同的应用,不同应用的要求有很大的差别。因此,一个传感器网络协议不可能满足所有应用的要求,传感器网络的设计必须针对不同应用的具体要求进行。

## 1.4 无线传感器网络的应用领域

传感器可用于感知或监测各种物理参数或状态,如光线、声音、温度、湿度、压力、空气质量、土壤成分以及目标的大小、重量、位置、速度和方向等。无线传感器比传统有线传感器有更多优点。它不仅可以降低网络部署的成本和时间,而且可以应用于任何环境,尤其是那些不能部署传统有线传感器网络的环境,如战场、贫困地区、外太空和深海。首先,无线传感器网络主要应用于军事领域,其应用范围从大型海洋监视系统到小型地面目标侦察系统。所以,低成本、低功耗、微型传感器的发展以及无线通信和嵌入式计算技术的发展为无线传感器网络开拓了广阔的应用前景。无线传感器网络作为一种新型的信息传感技术,可以应用于国防、军事、环境监测、工业控制、医疗、智能家居、公共安全等领域,对人类社会进步和发展具有长远的影响。

### 1.4.1 环境监测

环境监测是无线传感器网络最早应用中的一个。在环境监测中,无线传感器可以监测各种环境参数或条件以进行各种环境监测。

1) 习惯性监测。传感器可在野生动物栖息地被部署以监测野生动植物,以及栖息地的环境参数,包括温度、湿度、大气压力和辐射条件。

2) 空气和水质监测。传感器可以部署在地面或水下,以监测空气或水的质量。空气质量监测可用于空气污染控制,水质监测可用于化学领域。

3) 有害物质的监测。传感器可以部署在化学工厂和战场区域,以监测可能的生物或化学危险。

4) 灾难监测。可以在指定区域部署传感器来监测自然灾害或非自然灾害。例如,传感器可以安装在森林或河流用来监测森林火灾或水灾。地震传感器可以在建筑物上安装,用来监测地震的方向和强度,提高建筑物的安全指数。