

Wireless Sensor Network

无线传感器网络

王利强 杨旭 张巍 高凤友 张桂英 赵文慧 编著

清华大学出版社

Wireless **S**ensor **N**etwork

无线传感器网络

王利强 杨旭 张巍 高凤友 张桂英 赵文慧 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书根据当前教学改革形势编写完成。在理论教学内容的基础上,增加了应用性较强的实践教学内容。理论教学部分主要包括无线传感器网络的定义、基础、关键技术和安全问题等,并且以目前无线传感器网络中无线通信技术的首选方案——ZigBee 技术为例,重点阐述了 ZigBee 技术基础和应用开发流程。实践教学部分主要包括软件平台的搭建、控制器实验、无线通信基础实验以及不同类型拓扑下(点到点、星状、网状)的 ZigBee 协议栈实验。在掌握本书的无线传感器理论知识和实验操作的基础上可以进行更深层次的开发应用。

本书可以作为普通本科高等院校、高等职业技术学院的计算机网络、通信技术、智能技术等专业的教材,也可以作为计算机、通信、建筑电气、网络管理等领域的工程技术人员的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

无线传感器网络/王利强等编著. —北京:清华大学出版社,2018
ISBN 978-7-302-50521-1

I. ①无… II. ①王… 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 139436 号

责任编辑:王 芳

封面设计:常雪影

责任校对:梁 毅

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:三河市少明印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:12

字 数:294 千字

版 次:2018 年 12 月第 1 版

印 次:2018 年 12 月第 1 次印刷

定 价:49.00 元

产品编号:077548-01

前言

PREFACE

无线传感器网络是信息科学领域的一个全新发展方向,在遥控、监测、传感和智能化等高科技应用领域中发挥着重要作用。随着网络和通信技术的进步,无线数据传输与控制的无线传感器网络技术脱颖而出,成为传感技术领域的一大亮点,在智能领域中有着十分广阔的应用空间。近些年,国内相关高校纷纷将无线传感器网络技术纳入电子信息类专业的必修课程中。本书的特点是在理论教学内容的基础上,增加了大量应用性较强的实践教学内容,以便于读者更快地掌握实际应用无线传感器网络的能力。本书旨在帮助读者对无线传感器网络技术及应用的重点、难点和应用场景有一定的认识和理解,并在掌握理论知识的基础上培养实际应用能力,可作为普通高校本科生无线传感器网络课程的基础教材。

本书共分为两大部分:理论部分和实践部分。本书具体编写工作分工如下:第1章和第6章由王利强编写;第2章、第8章和第9章由杨旭编写;第3章和第7章由高凤友和赵文慧编写;第4章、第5章、第10章、第11章和第12章由张巍和赵文慧编写。全书由赵文慧完成校对和统稿。本书参考了大量书刊资料,在此向这些书刊资料的作者表示诚挚的谢意。感谢北京瀚恒星火科技有限公司董事长暨北京师范大学信息交叉与智能计算研究院副院长李长峰先生在本书编写过程中给予的大力支持。

由于编者水平有限,书中难免会有不妥之处,恳请各位读者和同仁批评指正,提出宝贵的建议和意见。

编者

目录

CONTENTS

第 1 篇 理论部分

第 1 章 概论	3
1.1 无线传感器网络	3
1.2 无线传感器网络的研究现状	4
1.3 无线传感器网络的体系结构	6
1.3.1 传感器节点	7
1.3.2 传感器节点的限制	7
1.3.3 无线传感器网络的网络特征	8
1.4 物联网	9
1.4.1 物联网的发展史	9
1.4.2 物联网的体系架构	10
1.4.3 物联网与无线传感器网络	11
1.5 无线传感器网络的应用领域	13
1.5.1 环境监测	13
1.5.2 军事领域	13
1.5.3 医疗健康	14
1.5.4 物流监控	14
1.5.5 智能家居	15
1.5.6 智能汽车	15
1.5.7 工业检测和自动控制系统的应用	15
1.5.8 空间探测应用	15
第 2 章 传感器应用基础	17
2.1 传感器概述	17
2.1.1 传感器的定义	17
2.1.2 传感器技术的作用	17
2.1.3 传感器的特性	17
2.2 常用物理量传感器	21
2.2.1 压力传感器	21
2.2.2 超声波传感器	24
2.2.3 温度、湿度传感器	25
2.2.4 烟雾、气体传感器	33
2.2.5 转速、位移、加速度传感器	35

2.2.6	磁阻传感器	37
第3章	无线传感器网络的关键技术	41
3.1	时钟同步技术	41
3.1.1	传感器网络的时间同步机制	41
3.1.2	时间同步协议	42
3.1.3	时间同步的应用示例	42
3.2	节点定位技术	43
3.2.1	概述	43
3.2.2	基于测距的定位方式	44
3.2.3	基于非测距方法的定位方式	46
3.2.4	典型定位应用	47
3.3	网络服务质量保证	47
3.3.1	概述	47
3.3.2	数据融合	48
3.3.3	拥塞控制	49
3.4	无线传感器网络中嵌入式系统软件技术	50
3.4.1	概述	50
3.4.2	TinyOS 操作系统	50
3.4.3	后台管理软件	51
第4章	ZigBee 技术基础	53
4.1	ZigBee 技术简介	53
4.2	IEEE 820.15.4 标准	54
4.2.1	概述	54
4.2.2	网络协议栈	56
4.2.3	物理层	57
4.2.4	MAC 层	58
4.3	ZigBee 中的无线通信技术	60
4.3.1	CSMA/CA	60
4.3.2	DSSS	61
第5章	ZigBee 应用开发	63
5.1	ZigBee 芯片	63
5.1.1	CC2530 射频芯片简介	63
5.1.2	CC2530 引脚描述	64
5.1.3	CPU 和存储器	66
5.1.4	外部设备	67
5.2	ZigBee 硬件开发	68
5.2.1	ZigBee 硬件平台介绍	68
5.2.2	无线传感器网通信模块结构	68
5.2.3	无线节点模块	69
5.2.4	电源板与智能主板	69
5.2.5	嵌入式网关(Cortex A8DB 开发板)	72
5.3	ZigBee 软件开发	73

5.3.1	IAR 集成开发环境简介	73
5.3.2	IAR 工程的建立及配置	75
5.3.3	编译与调试	79
5.4	ZigBee 协议栈	81
5.4.1	TI Z-Stack 协议栈简介	81
5.4.2	TI Z-Stack 软件结构	82
第 6 章	无线传感器网络安全技术	88
6.1	安全问题概述	88
6.1.1	信息安全面临的障碍	89
6.1.2	安全需求	90
6.1.3	攻击与威胁	92
6.2	路由安全	94
6.2.1	无线传感器网络路由的特点	94
6.2.2	路由攻击的防范	96
6.2.3	安全路由协议	97
6.3	密钥管理	99
6.3.1	数据加密和认证	100
6.3.2	密钥管理方案	101
6.4	入侵检测	103
6.4.1	入侵检测模型	104
6.4.2	入侵检测算法	105
6.4.3	入侵检测的常用方法	107
第 7 章	综合应用	110
7.1	概述	110
7.2	综合应用	110
7.2.1	教育领域	110
7.2.2	工业领域	111
7.2.3	农业领域	113
7.2.4	建筑领域	115
7.2.5	城市管理无线传感器网	116
7.2.6	医疗卫生领域	116
7.2.7	环境监测	117
7.2.8	仓储物流管理	118
7.2.9	智能家居	118
7.2.10	军事领域	119
第 2 篇 实践部分		
第 8 章	软件平台的搭建	123
8.1	IAR EW8051 集成开发环境及其使用	123
8.1.1	IAR 安装	123
8.1.2	IAR 软件的使用	127
8.2	SmartRF 闪存编程器的使用	140

第 9 章 控制器实验	143
9.1 实验一 GPIO 控制接口实验	143
9.2 实验二 LCD 控制实验	147
9.3 实验三 CC2530 外部中断实验	153
9.4 实验四 CC2530 定时器实验	156
9.5 实验五 CC2530 串口通信实验	158
9.6 实验六 CC2530 ADC 实验	161
第 10 章 无线通信基础	167
10.1 实验一 简单点到点通信实验	167
10.2 实验二 CC2530 无线通信丢包率测试实验	169
10.3 实验三 802.15.4—2.4GHz 各信道信号强度测试实验	171
第 11 章 Z-Stack 协议栈实验——拓扑 1(点到点)	173
11.1 实验一 最大吞吐率测试	173
11.2 实验二 最大数据吞吐量测试	175
第 12 章 Z-Stack 协议栈实验——拓扑 2(星状网)和拓扑 3(MESH 网)	178
12.1 实验一 Z-Stack 协议栈星状网通信实验	178
12.2 实验二 Z-Stack 协议栈 MESH 网通信实验	181
参考文献	184

第 1 篇

ARTICLE 1

理论部分

1.1 无线传感器网络

目前许多领域需要监测各种物理现象、物理量,例如温度、液位、振动、损伤(张力)、湿度、酸度、泵、生产线的发电机、航空、建筑物维护等,也包括建筑工程、农林业、卫生、后勤、交通运输、军事应用等。有线传感网络一直长期用于支持这种环境,直到最近也只是在有线基础设施不可行的时候(如偏僻区域、敌对环境)才使用无线传感网络。而有线传感网络安装、停机、测试、维护、故障定位、升级的成本高,从而与无线传感网络(Wireless Sensor Network, WSN)相比更有吸引力。

无线传感网络的出现引起了全世界的广泛关注。最早开始研究无线传感网络技术的是美国军方,此后美国国家自然科学基金委员会设立了大量与其相关的项目,英特尔、波音、摩托罗拉以及西门子等在内的许多公司也都较早加入了无线传感网络的研究。

无线传感器网络是由散布在工作区域中大量的体积小,成本低,具有无线通信、传感和数据处理能力的传感器节点组成的。每个节点可能具有不同的感知形态,例如声波、震动波、红外线等,节点可以完成对目标信息的采集、传输、决策制定与实施,从而实现区域监控、目标跟踪、定位和预测等任务。每一个节点都具有存储、处理、传输数据的能力。通过无线网络,传感器节点之间可以相互交换信息,也可以把信息传送到远程端。

传感器网络是由大量节点组成的,为加强对这些节点的控制,还可以设置一个基站,用来获取各个传感器节点的位置信息和探测到的目标信息等。传感器、感知对象和观察者是传感器网络的三个基本要素;有线或无线网络是传感器之间、传感器与观察者之间的通信方式,用于在传感器与观察者之间建立通信路径;协作地感知、采集、处理、发布感知信息是传感器网络的基本功能。一组功能有限的传感器能够协作完成大的感知任务是传感器网络的重要特点。传感器网络中的部分或全部节点可以移动。传感器网络的拓扑结构也会随节点的移动而不断地动态变化。节点间以 Ad Hoc 方式进行通信,每个节点都可以充当路由器的角色,并且每个节点都具备动态搜索、定位和恢复连接的能力。

无线传感网络涉及传感器技术、网络通信技术、无线传感技术、嵌入式技术等,是多学科交叉、新兴、前沿的一个热点研究领域。无线传感网络是逻辑上的信息世界,改变了人与自然界的交互方式。未来的人们将通过遍布四周的传感器网络直接感知客观世界,从而极大地扩展网络的功能和人类认识世界的能力。

1.2 无线传感器网络的研究现状

信息化革命促进了传感器信息的获取从单一化逐渐向集成化、微型化和网络化的方向发展。伴随着网络化的潮流以及传感器相关技术的飞速进步,无线传感网络的发展跨越了三个阶段:无线数据网络、无线传感网络、普适计算。

无线网络技术的发展起源于人们对无线数据传输的需求,它的不断进步直接推动了无线传感网络的产生和发展。以下是几种典型的无线网络。

1. 分组无线网

基于 ALOHA 系统的成功经验,美国国防部高级研究计划局于 1972 年开始了以分组无线网络(Packet Radio Network, PRNET)为代表的一系列无线分组研发计划。PRNET 是一种直序扩频系统,每个接入节点每隔 7.5s 向邻节点发布信标来维护网络拓扑。另外,加拿大的业余无线爱好者组成的数字通信小组(ADCG)采用单一信道工作模式以及频移键控调制方法,在通信过程中使用与 ALOHA 系统相似的载波监听多路访问(Carrier Sense Multiple Access, CSMA)的信道接入方式。分组无线网是一种利用无线信道进行分组交换的通信网络,即网络中传送的信息要以“分组”或者称“信包”为基本单元。其典型的网络组成如图 1.1 所示。分组无线网特别适用于实时性要求不严和短消息比较多的数据通信。分组无线网的后续研究取得了不少成果,最主要的进步在于多路访问冲突避免(Multiple Access Collision Avoidance, MACA)无线信道接入协议的开发。MACA 将 CSMA 机制与苹果公司的 Localtalk 网络中使用的请求发送/清除发送(Request To Send/Clear To Send, RTS/CTS)通信握手机制相结合,很好地解决了“隐蔽终端”和“暴露终端”的问题。

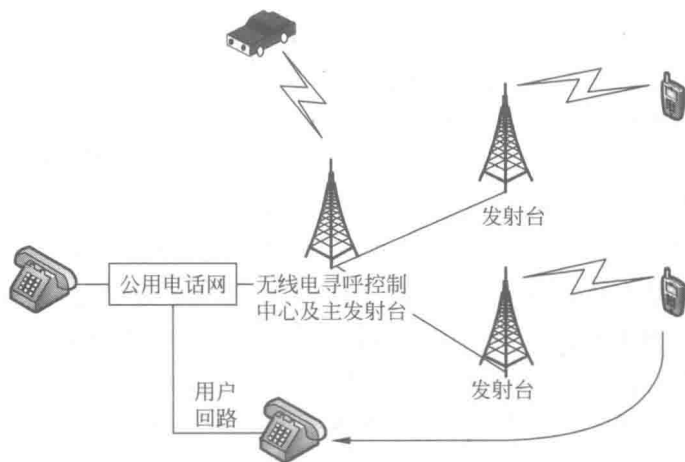


图 1.1 分组无线网

2. 无线局域网

无线局域网(Wireless LAN, WLAN)通过无线信道来实现网络设备之间的通信,并实现通信的移动化、个性化和宽带化,它具有接入灵活、移动便捷、方便组建、易于扩展等诸多优点。作为全球公认的局域网权威,IEEE 802 工作组建立的标准在局域网领域中得到广泛应用。IEEE 发布了无线局域网领域第一个被国际认可的协议——802.11 协议。1999 年 8

月,IEEE 802.11 标准得到了进一步的修订和完善。IEEE 最初制定的一个无线局域网标准,主要用于解决办公室局域网和校园网中用户与用户终端的无线接入,业务主要限于数据存取,最高速率只能达到 2Mbps。由于它在速率和传输距离上都不能满足人们的需要,因此,IEEE 小组又相继推出了 802.11a 和 802.11b 两个新标准。IEEE 802.11a 标准采用了与原始标准相同的核心协议,工作频率为 5GHz,使用 52 个正交频分多路复用(Orthogonal Frequency Division Multiplexing,OFDM)副载波,最大原始数据传输率为 54Mbps,这就达到了现实网络中吞吐量(20Mbps)的要求。IEEE 802.11b 是所有无线局域网标准中最著名,也是普及最广的标准。它有时也被错误地标为 Wi-Fi。实际上 Wi-Fi 是无线局域网联盟(Wireless LAN Alliance,WLANA)的一个商标,该商标仅保障使用该商标的商品互相之间可以合作,与标准本身实际上没有关系。在 2.4 GHz-ISM 频段共有 14 个频宽为 22MHz 的频道可供使用。IEEE 802.11b 的后继标准是 IEEE 802.11g,其传送速度为 54Mbps。典型的无线局域网网络组成如图 1.2 所示。

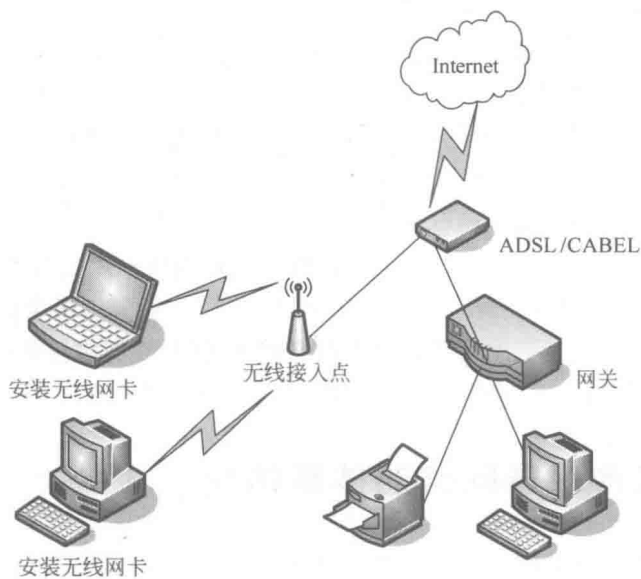


图 1.2 无线局域网结构

3. 无线个域网

无线个域网(Wireless Personal AreaNetwork,WPAN)是一种与无线广域网(Wireless Wide Area Network,WWAN)、无线城域网(Wireless Metropolititan Area Network,WMAN)、无线局域网(WLAN)并列但覆盖范围相对较小的无线网络。在网络构成上,WPAN 位于整个网络链的末端,用于实现同一地点终端与终端间的连接,如连接手机和蓝牙耳机等。WPAN 所覆盖的范围一般在半径 10m 以内,必须运行于许可的无线频段。WPAN 设备具有价格便宜、体积小、易操作和功耗低等优点。

蓝牙是大家熟知的无线联网技术,也是目前 WPAN 应用的主流技术。蓝牙标准是在 1998 年由爱立信、诺基亚、IBM 等公司共同推出的,即后来的 IEEE 802.15.1 标准。蓝牙技术为固定设备或移动设备之间通信环境建立通用的无线空中接口,将通信技术与计算机技术进一步结合起来,使各种 3C 设备(通信产品、电脑产品和消费类电子产品)在没有电线或

电缆相互连接的情况下能在近距离范围内实现相互通信或操作。蓝牙可以提供 720kbps 的数据传输速率和 10m 的传输距离。不过,蓝牙设备的兼容性不好。

超宽带(Ultra Wide Band,UWB)即 IEEE 802.15.3a 技术,是一种无载波通信技术。它是一种超高速的短距离无线接入技术。它在较宽的频谱上传送极低功率的信号,能在 10m 左右的范围内实现每秒数百兆位的数据传输率,具有抗干扰性能强、传输速率高、带宽极宽、消耗电能小、保密性好、发送功率小等诸多优势。UWB 技术在 1960 年开始开发,但仅限于军事应用,美国 FCC 认证于 2002 年 2 月准许该技术进入民用领域。

射频识别(Radio Frequency Identification,RFID)俗称电子标签。它是一种非接触式的自动识别技术,通过射频信号自动识别目标对象并获取相关数据。RFID 由标签、解读器和天线三个基本要素组成。RFID 可被广泛应用于物流业、交通运输、医药、食品等各个领域。然而,由于成本、标准等问题的局限,RFID 技术和应用环境还很不成熟。主要问题是:制造技术复杂,生产成本低;标准尚未统一;应用环境和解决方案不够成熟,安全性将接受考验。

4. 无线自组网络

无线自组织网络即 MANET(Mobile AD HOC Network),是一种不同于传统无线通信网络的技术。目前存在的无线移动网络有两种:第一种是基于网络基础设施的网络,这种网络的典型应用为无线局域网(WLAN);第二种为无网络基础设施的网络,一般称为自组织网(AD HOC)。传统的无线蜂窝通信网络,需要固定的网络设备如基站的支持,进行数据的转发和用户服务控制。而无线自组织网络不需要固定设备支持,各节点即用户终端自行组网,通信时,由其他用户节点进行数据的转发。这种网络形式突破了传统无线蜂窝网络的地理局限性,能够更加快速、便捷、高效地部署,适合于一些紧急场合的通信需要,如战场的单兵通信系统。但无线自组织网络也存在网络带宽受限、对实时性业务支持较差、安全性不高的弊端。目前,国内外有大量研究人员进行此项目的研究。

1.3 无线传感器网络的体系结构

一个典型的无线传感器网络的系统架构包括分布式无线传感器节点(群)、接收发送器汇聚节点、互联网或通信卫星和任务管理节点等,如图 1.3 所示。

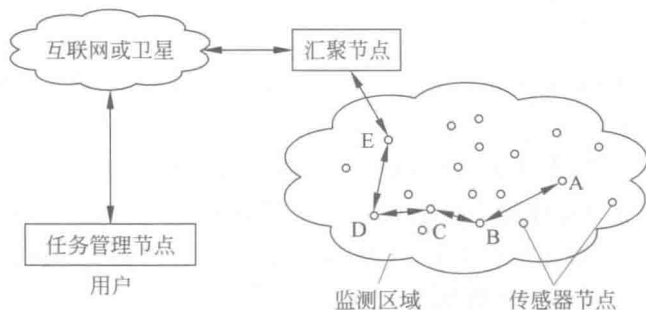


图 1.3 无线传感器网络系统架构

其中点 A~E 为分布式无线传感器节点群,这些节点群随机部署在监测区域内部或附近,能够通过自组织方式构成网络。这些节点通常是一个微型的嵌入式系统,它们的处理能

力、存储能力和通信能力相对较弱,通过携带有限能量的电池供电。从功能上看,这些节点不仅要对本地图集的信息进行收集及处理,而且要对其他节点转发来的数据进行存储、管理和融合等处理,同时与其他节点协作完成一些特定的任务。

相对于上述节点群而言,汇聚节点的各方面能力比较强,它连接传感器网络、Internet等外部网络,实现两种协议栈之间的通信协议转换,同时发布管理节点的监测任务,并把收集的数据转发到外部网络上。

1.3.1 传感器节点

传感器节点是无线传感器网络的基本功能单元。传感器节点基本组成包括数据采集模块、数据处理和控制模块、通信模块以及电源模块,如图 1.4 所示。

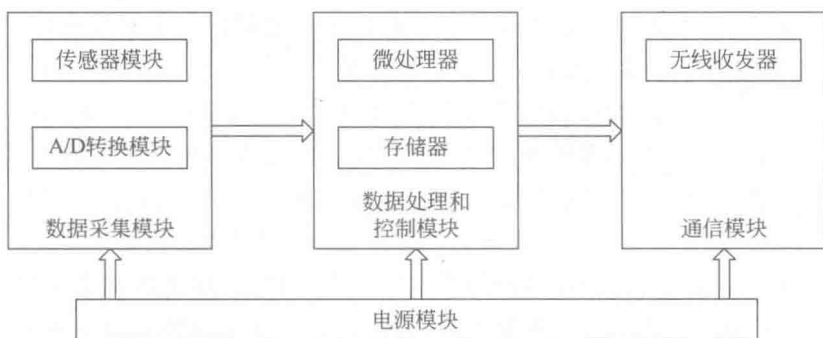


图 1.4 传感器节点的结构

传感单元用于感知、获取监测区域内的信息,并将其转换成数字信号,它由传感器和数/模(A/D)转换模块组成;处理单元负责控制和协调节点各部分的工作,存储和处理自身采集的数据以及其他节点发来的数据,它由嵌入式系统构成,包括处理器、存储器等;通信单元负责与其他传感器节点进行通信,交换控制信息和收发采集数据,它由无线通信模块组成;电源单元能够为传感器节点提供正常工作所必须的能源,通常采用微型电池。

此外,传感器节点还包括其他辅助单元,如移动系统、定位系统和自供电系统。由于传感器节点采用电池供电,一旦电能耗尽,节点就失去了工作能力。为了最大限度地节约电能,在硬件设计方面,要尽量采用低功耗器件,在没有通信任务的时候,切断射频部分电源;在软件设计方面,隔层通信协议都应该以节能为中心,必要时可以牺牲其他的一些网络性能指标,以获得更高的电源效率。

1.3.2 传感器节点的限制

传感器节点在实现各种网络协议和应用系统时,存在以下一些现实约束。

1. 电源能量有限

传感器节点体积微小,通常携带能量十分有限的电池。由于传感器节点个数多、成本要求低廉、分布区域广,而且部署区域环境复杂,有些区域甚至人员不能到达,所以传感器节点通过更换电池的方式来补充能源是不现实的。如何高效使用能量来最大化网络生命周期是传感器网络面临的首要挑战。

传感器节点消耗能量的模块包括传感器模块、处理器模块和无线通信模块。随着集成

电路工艺的进步,处理器和传感器模块的功耗变得很低,绝大部分能量消耗在无线通信模块。无线通信模块存在发送、接收、空闲和睡眠四种状态。无线通信模块在空闲状态一直监听无线信道的使用情况,检查是否有数据发送给自己,而在睡眠状态则关闭通信模块。无线通信模块在发送状态的能量消耗最大,在空闲状态和接收状态的能量消耗接近,且略少于发送状态的能量消耗,在睡眠状态的能量消耗最少。如何让网络通信更有效率,减少不必要的转发和接收,并且在不需要通信时尽快进入睡眠状态,是传感器网络协议设计需要重点考虑的问题。

2. 通信能力有限

无线通信的能量消耗 E 与通信距离 d 的关系为

$$E = kd^n \quad (1.1)$$

式中, k 是一个常量,表示无线产品或者站点能量和站点之间的一个常量系数,这个值不是确定的,针对不同的产品的值有大有小。参数 n 满足关系 $2 < n < 4$ 。 n 的取值与很多因素有关,例如传感器节点部署贴近地面时,障碍物多,干扰大, n 的取值就大;天线质量对信号发射质量的影响也很大。考虑诸多因素,通常取 n 为 3,即通信能耗与距离的三次方成正比。随着通信距离的增加,能耗将急剧增加。因此,在满足通信连通度的前提下应尽量减少单跳通信距离。一般而言,传感器节点的无线通信半径在 100m 以内比较合适。

考虑到传感器节点的能量限制和网络覆盖区域大的特点,传感器网络采用多跳路由的传输机制。传感器节点的无线通信带宽有限,通常仅有几百千比特每秒的速率。由于节点能量的变化受高山、建筑物、障碍物等地势地貌以及风雨雷电等自然环境的影响,无线通信性能可能经常变化,频繁出现通信中断。在这样的通信环境和节点有限通信能力的情况下,如何设计网络通信机制以满足传感器网络的通信需求是传感器网络面临的挑战之一。

3. 计算和存储能力有限

传感器节点是一种微型嵌入式设备,要求它价格低、功耗小,这些限制必然导致其携带的处理器能力比较弱,存储器容量比较小。然而为了完成各种任务,传感器节点需要完成监测数据的采集和转换、数据的管理和处理、应答汇聚节点的任务请求和节点控制等多种工作。如何利用有限的计算和存储资源完成诸多协同任务成为传感器网络设计的重要挑战。

随着低功耗电路和系统设计技术的提高,目前已经开发出很多超低功耗微处理器。除了降低处理器的绝对功耗以外,现代处理器还支持模块化供电和动态频率调节功能。利用这些处理器的特性,传感器节点的操作系统设计了动态能量管理(Dynamic Power Management, DPM)和动态电压调节(Dynamic Voltage Scaling, DVS)模块,可以更有效地利用节点的各种资源。DPM 是当节点周围没有感兴趣的事件发生时,部分模块处于空闲状态,把这些组件关掉或调到更低能耗的睡眠状态。DVS 是当计算负载较低时,通过降低微处理器的工作电压和频率来降低处理能力,从而节约微处理器的能耗,很多处理器如 StrongARM 都支持电压频率调节功能。

1.3.3 无线传感器网络的网络特征

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,主要表现在自组织性、动态网络性等方面。

1. 大规模网络

为了获取精确信息,在监测区域通常部署大量传感器节点,传感器节点数量可能达到成千上万甚至更多。传感器网络的大规模性包括两方面的含义:一方面是传感器节点分布在很大的地理区域内,如在原始森林采用传感器网络进行森林防火和环境监测,需要部署大量的传感器节点;另一方面,传感器节点部署很密集。在一个面积不是很大的空间内,密集部署了大量的传感器节点。传感器网络的大规模性具有如下优点:通过不同空间视角获得的信息具有更大的信噪比;通过分布式处理大量的采集信息能够提高监测的精确度,降低对单个节点传感器的精度要求;大量冗余节点的存在,使得系统具有很强的容错性能;大量节点能够增大覆盖的监测区域,减少洞穴或者盲区。

2. 自组织网络

在传感器网络应用中,通常情况下传感器节点被放置在没有基础结构的地方。传感器节点的位置不能预先精确设定,节点之间的相互邻居关系预先也不知道,如通过飞机播撒大量传感器节点到面积广阔的原始森林中或随意放置到人不可到达或危险的区域。这样就要求传感器节点具有自组织的能力,能够自动进行配置和管理,通过拓扑控制机制和网络协议自动形成转发监测数据的多跳无线网络系统。在传感器网络使用过程中,部分传感器节点由于能量耗尽或环境因素造成失效,也有一些节点为了弥补失效节点、增加监测精度而补充到网络中。这样在传感器网络中的节点个数就动态地增加或减少,从而使网络的拓扑结构随之动态变化。传感器网络的自组织性就要求能够适应这种网络拓扑结构的动态变化。

3. 动态性网络

传感器网络的拓扑结构可能因为下列因素而改变:①环境因素或电能耗尽造成的传感器节点出现故障或失效;②环境条件变化可能造成无线通信链路带宽变化,甚至时断时通;③传感器网络的传感器、感知对象和观察者这三要素都可能具有移动性;④新节点的加入。这就要求传感器网络系统要能够适应这种变化,具有动态的系统可重构性。

4. 可靠的网络

传感器网络特别适合部署在恶劣环境或人类不宜到达的区域。传感器节点可能工作在露天环境中,遭受太阳的暴晒或风吹雨淋,甚至遭到无关人员或动物的破坏。传感器节点往往采用随机部署,如通过飞机撒播或发射炮弹到指定区域进行部署。这些都要求传感器节点非常坚固、不易损坏且能适应各种恶劣环境条件。

由于监测区域环境的限制以及传感器节点数目巨大,不可能人工“照顾”每个传感器节点,网络的维护十分困难甚至不可维护。传感器网络的通信保密性和安全性也十分重要,要防止监测数据被窃取和获取伪造的监测信息。因此,传感器网络的软硬件必须具有鲁棒性和容错性。

1.4 物联网

1.4.1 物联网的发展史

“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。其定义是:通过射频识别、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