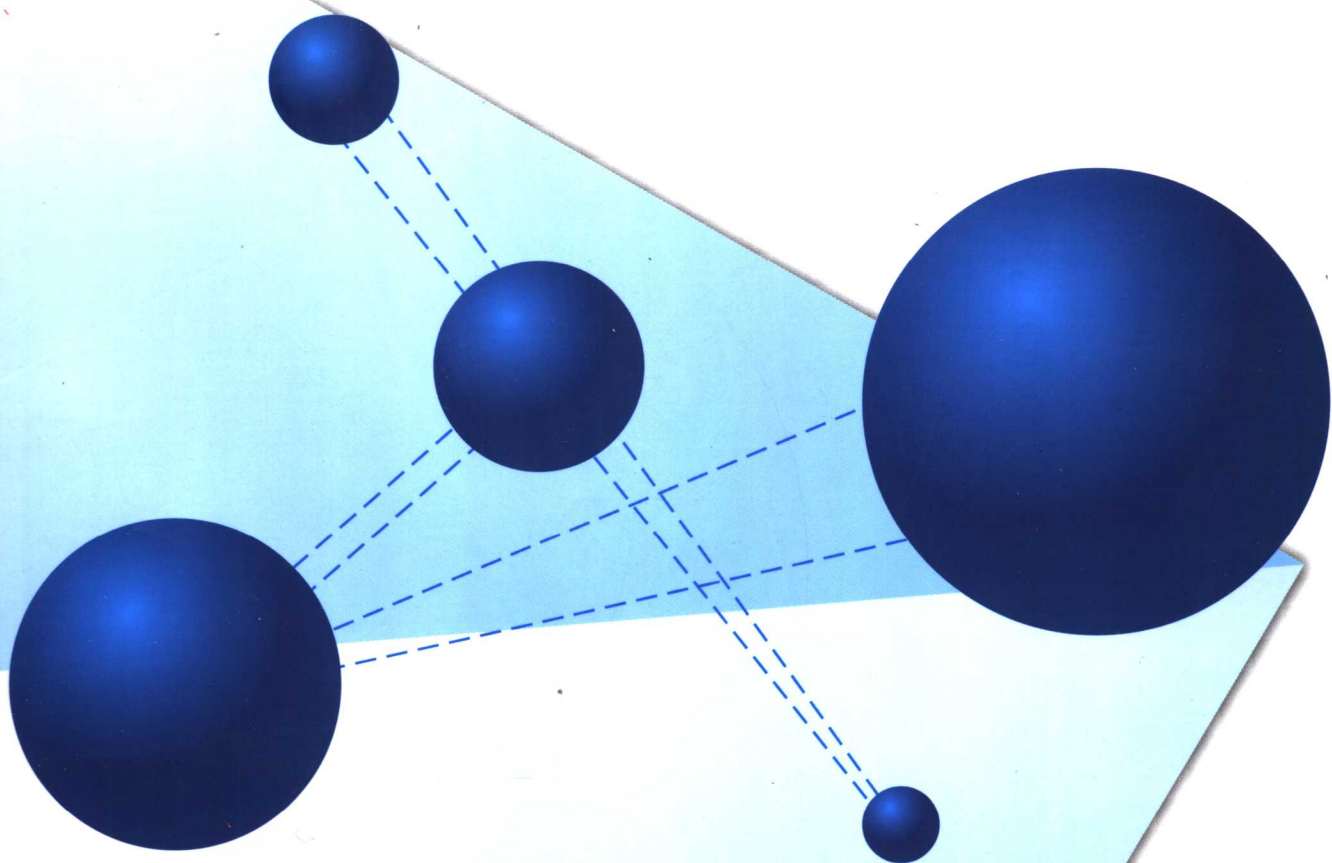


无线传感器网络的 理论及应用

王 殊 阎毓杰 胡富平 屈晓旭 编著



TP212
126
1-

无线传感器网络的 理论及应用

王 殊 阎毓杰 编著
胡富平 屈晓旭

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

全面论述无线传感器网络的理论与应用,在系统阐述无线传感器网络当前最新理论成果的基础上,结合作者长期以来在该领域的研究工作,论述和总结无线传感器网络的发展、应用及所面临的诸多技术挑战。全书分为5篇,共22章。内容涉及无线传感器网络的概念、特点;无线传感器网络物理层、数据链路层、网络层和传输层的通信协议;无线传感器网络的拓扑控制、节点定位、时间同步、网内信息处理和网络安全等核心支撑技术;无线传感器网络的传感器节点、资源、任务、数据、网络部署、初始化和维护等自组织管理技术;无线传感器网络的仿真、硬件开发、操作系统、软件开发、ZigBee系统开发以及有关无线传感器网络的应用实例。

本书既可作为无线传感器网络领域的研究人员以及广大对无线传感器网络感兴趣的工程技术人员的参考用书,也可作为高等院校网络、通信、计算机、电子和自动化等专业本科高年级学生和研究生学习教材。

图书在版编目(CIP)数据

无线传感器网络的理论及应用/王殊等编著. —北京:

北京航空航天大学出版社, 2007. 7

ISBN 978-7-81124-219-5

I. 无… II. 王… III. 无线电通信—传感器 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 079784 号

© 2007, 北京航空航天大学出版社, 版权所有。

未经本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式或手段复制或传播本书内容。

侵权必究。

无线传感器网络的理论及应用

王 殊 阎毓杰 胡富平 屈晓旭 编著

责任编辑 史 东

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhpress@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:27 字数:691千字

2007年7月第1版 2007年7月第1次印刷 印数:5000册

ISBN 978-7-81124-219-5 定价:39.00元

前 言

随着无线通信、集成电路、传感器以及微机电系统(MEMS)等技术的飞速发展和日益成熟,传感器信息获取技术已经从过去的单一化逐渐向集成化、微型化和网络化的方向发展,无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)因此孕育而生。它是由部署在监测区域内大量的微型传感器节点通过无线电通信形成的一个多跳的自组织网络系统,其目的是协作地感知、采集和处理网络覆盖区域里监测对象的信息,并发送给观察者。

无线传感器网络的出现引起了全世界范围的广泛关注,其应用已经由军事国防领域扩展到环境监测、交通管理、医疗健康、工商服务和反恐抗灾等诸多领域。它是继因特网之后,将对 21 世纪人类生活方式产生重大影响的 IT 技术之一。如果说因特网构成了逻辑上的信息世界,改变了人与人之间的沟通方式,那么,无线传感器网络就是将逻辑上的信息世界与客观上的物理世界融合在一起,改变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。

作者先后多次赴德国合作研究,所在的湖北省智能互联网技术重点实验室于 2002 年专门成立了无线传感器网络研究组,构建了无线传感器网络试验平台和 Zig-Bee 网络软硬件实验平台。近年来,作者和研究组成员在传感器、无线传感器网络和信号检测与处理等方面的研究不断取得进展,在国内外期刊和学术会议上发表论文近百篇,获得与申请专利十余项。设计了集成应用层服务质量要求与数据链路层和物理层的传输与调制为统一框架的无线传输策略,通过跨层协作优化,在保证应用服务质量条件下最小化能量消耗;运用微观经济学中的市场机制原理,在移动代理的模式下分别将节点和任务智能化,构建了自组织的微观经济模型框架,提出了基于市场机制的节点资源分配策略和任务调度方法;结合博弈论的方法,在节点数据流分发的转发能耗和吞吐量之间寻求折中,提出了基于帕累托最优效用的包转发算法和子博

弈精炼均衡的包转发方案;采用刚性图理论解决了少导标节点情况下的分布式节点定位中的定位节点比率和定位精度之间的平衡问题;建立了节点时间漂移、同步代价等数学模型;设计了面向数据融合的移动代理中间件的结构;研究并建立了节点功能模型和能耗模型,包括电源模型、射频传输能耗模型、CPU 能耗模型和传感能耗模型等;采用低功耗微处理器设计了符合 IEEE802.15.4/ZigBee 协议的 2.4 GHz 无线扩频通信的传感器节点。

有感于无线传感器网络的迅速发展以及研发人员的巨大热情,作者在自身研究工作积累的基础上精心编写了本书,让读者分享我们学习与研究工作的经验与成果。全书分为 5 篇,共 22 章,内容涉及无线传感器网络的概念、组网通信技术、核心支撑技术、自组织管理技术以及开发应用实例。在系统阐述无线传感器网络当前最新理论成果的基础上,结合作者长期以来在该领域的研究工作,论述和总结了无线传感器网络发展、应用及所面临的诸多技术挑战。

全书结构清晰、内容丰富,叙述深入浅出,翔实地反映了无线传感器网络领域的最新研究进展与成果;既可使感兴趣的初学者迅速入门,也可为有一定研究基础的同行提供较为系统的相关技术或方案,弥补国内这一领域系统研究资料相对匮乏的境况;帮助读者加深对无线传感器网络技术的理解,为在该领域内开展进一步的学习和研究奠定必要的基础,以缩短国内学者在该领域与国际一流研究水平的差距,从而贡献出更多的具有我国自主知识产权的研究成果。

参加本书编写和资料收集整理工作的还有王琪、朱祥、王涛、刘克中、鄢舒。此外,贾鹏、王哲、陈帅、李中伟、张盼、饶伟等人也为本书的编写提供了热心的帮助,在此一并表示感谢。需要指出的是,由于无线传感器网络发展的时间不长,所以本书的取材多为一些学术界和工程技术界的研究成果,也包括本书作者的一些成果和观点,同时吸收了一些技术标准和草案。相关研究成果的知识产权属于设计原作者,我们在书中均作了引用标识。我们尽量以客观、公正的态度对待任何一项研究方法与成果,对于其中的争议,希望留待读者进一步辨别与探究。尽管我们力求完美,但书中必然会存在由于作者学术水平有限所导致的疏漏,我们真诚地期盼读者给予批评指正。

作者

2007 年 2 月

于武昌喻家山麓



第 1 篇 总 论

第 1 章 无线传感器网络概述

1.1 无线传感器网络介绍	1
1.1.1 无线传感器网络的概念	1
1.1.2 无线传感器网络的特征	2
1.1.3 无线传感器网络的应用	4
1.2 无线传感器网络的体系结构	7
1.2.1 无线传感器网络的系统架构	7
1.2.2 传感器节点的结构	7
1.2.3 无线传感器网络的体系结构概述	8
1.3 无线传感器网络的研究进展	10
1.3.1 无线传感器网络的发展历程	10
1.3.2 无线传感器网络的关键技术	14
1.3.3 无线传感器网络所面临的挑战	14
参考文献	16

第 2 篇 无线传感器网络的通信协议

第 2 章 无线传感器网络的物理层

2.1 无线传感器网络物理层概述	19
2.1.1 无线传感器网络物理层的研究内容	19
2.1.2 无线传感器网络物理层的研究现状	20
2.1.3 无线传感器网络物理层的主要技术挑战	22
2.2 无线传感器网络的调制与编码方法	22
2.2.1 M-ary 调制机制	22
2.2.2 差分脉冲位置调制机制	23

2.2.3 自适应编码位置调制机制	24
2.3 超宽带技术在无线传感器网络中的应用	25
2.3.1 超宽带技术概述	25
2.3.2 超宽带技术的基本原理	26
2.3.3 超宽带技术的研究现状	29
2.3.4 基于超宽带技术的无线传感器网络	31
参考文献	35

第3章 无线传感器网络的数据链路层

3.1 无线传感器网络数据链路层概述	37
3.1.1 无线传感器网络数据链路层的研究内容	37
3.1.2 无线传感器网络数据链路层的研究现状	38
3.1.3 无线传感器网络数据链路层的主要技术挑战	39
3.2 无线传感器网络的 MAC 协议	40
3.2.1 基于竞争机制的 MAC 协议	40
3.2.2 基于时分复用的 MAC 协议	47
3.2.3 其他类型的 MAC 协议	54
参考文献	58

第4章 IEEE802.15.4 标准

4.1 IEEE802.15.4 标准概述	60
4.2 IEEE802.15.4 的物理层	60
4.2.1 物理层概述	60
4.2.2 物理层服务规范	61
4.2.3 物理层帧结构	65
4.3 IEEE802.15.4 的 MAC 子层	65
4.3.1 MAC 层概述	65
4.3.2 MAC 层的服务规范	66
4.3.3 MAC 帧结构	69
4.3.4 MAC 层的功能描述	70
4.4 基于 IEEE802.15.4 标准的无线传感器网络	70
4.4.1 组网类型	70
4.4.2 数据传输机制	71
参考文献	72

第5章 无线传感器网络的网络层

5.1 无线传感器网络网络层概述	73
5.1.1 网络层的研究内容	73
5.1.2 网络层的研究现状	74

5.1.3	网络层的主要技术挑战	75
5.2	无线传感器网络的路由协议	75
5.2.1	以数据为中心的平面路由	75
5.2.2	网络分层路由	77
5.2.3	基于查询的路由	79
5.2.4	地理位置路由	81
5.2.5	能量感知路由	84
5.2.6	基于 QoS 的路由	87
5.2.7	路由协议的优化	88
5.3	无线传感器网络中的数据包转发策略	90
5.3.1	包转发策略的研究背景	90
5.3.2	基于价格机制的包转发博弈模型	91
5.3.3	自发合作的包转发博弈模型	93
	参考文献	94
第 6 章 无线传感器网络的传输层		
6.1	无线传感器网络传输层概述	97
6.1.1	无线传感器网络传输层的研究内容	97
6.1.2	无线传感器网络传输层的研究现状	98
6.1.3	无线传感器网络传输层的主要技术挑战	99
6.2	无线传感器网络的传输协议	99
6.2.1	PSFQ 传输协议	99
6.2.2	ESRT 传输协议	101
6.3	无线传感器网络与其他网络的互联	103
6.3.1	无线传感器网络与 Internet 互联	103
6.3.2	无线传感器网络接入到网格	105
	参考文献	109
第 7 章 ZigBee 协议规范		
7.1	ZigBee 概述	111
7.1.1	ZigBee 与 IEEE 802.15.4	111
7.1.2	ZigBee 协议框架	112
7.1.3	ZigBee 的技术特点	113
7.2	网络层规范	113
7.2.1	网络层概述	113
7.2.2	服务规范	114
7.2.3	帧结构与命令帧	115
7.2.4	功能描述	116
7.3	应用层规范	117

7.3.1	应用层概述	117
7.3.2	ZigBee 应用支持子层	117
7.3.3	ZigBee 应用层框架结构	118
7.3.4	ZigBee 设备协定(profile)	119
7.3.5	ZigBee 目标设备(ZDO)	119
7.4	ZigBee 系统的开发	119
7.4.1	开发条件和注意事项	119
7.4.2	软件开发	120
7.4.3	硬件开发	121
7.5	基于 ZigBee 规范的无线传感器网络	122
7.5.1	无线传感器的构建	122
7.5.2	无线传感器网络的构建	123
7.5.3	基于 ZigBee 的无线传感器网络与 RFID 技术的融合	124
	参考文献	124

第 3 篇 无线传感器网络的核心支撑技术

第 8 章 无线传感器网络的拓扑控制

8.1	无线传感器网络的拓扑控制技术概述	125
8.1.1	无线传感器网络拓扑控制的研究内容	125
8.1.2	无线传感器网络拓扑控制的研究现状	126
8.1.3	无线传感器网络拓扑控制的主要技术挑战	126
8.2	无线传感器网络的拓扑控制算法	127
8.2.1	功率控制算法	127
8.2.2	层次拓扑结构控制算法	129
8.3	无线传感器网络的密度控制	135
8.3.1	连通支配集构造算法	135
8.3.2	基于概率覆盖模型的无线传感器网络密度控制算法	138
	参考文献	140

第 9 章 无线传感器网络的节点定位

9.1	无线传感器网络的节点定位技术概述	142
9.1.1	无线传感器网络节点定位的研究内容	142
9.1.2	无线传感器网络节点定位的研究现状	143
9.1.3	无线传感器网络节点定位的主要技术挑战	146
9.2	无线传感器网络的定位机制	147
9.2.1	基于测距的定位算法	147
9.2.2	非基于测距的定位算法	151

9.3 一种基于测距的协作定位策略	159
9.3.1 刚性图理论简介	159
9.3.2 基于刚性图的协作定位理论	160
9.3.3 LCB 定位算法	161
9.4 节点位置估计更新策略	162
9.4.1 动态网络问题	162
9.4.2 更新策略	163
参考文献	164
第 10 章 无线传感器网络的时间同步	
10.1 无线传感器网络的时间同步概述	167
10.1.1 无线传感器网络时间同步的研究内容	167
10.1.2 无线传感器网络时间同步的研究现状	168
10.1.3 无线传感器网络时间同步的主要技术挑战	169
10.2 无线传感器网络的时间同步机制	170
参考文献	180
第 11 章 无线传感器网络的网内信息处理	
11.1 无线传感器网络的网内信息处理概述	182
11.1.1 无线传感器网络网内信息处理的研究内容	182
11.1.2 无线传感器网络网内信息处理的研究现状	183
11.1.3 无线传感器网络网内信息处理的主要技术挑战	184
11.2 无线传感器网络的数据融合技术	184
11.2.1 与路由相结合的数据融合	184
11.2.2 基于反向组播树的数据融合	186
11.2.3 基于性能的数据融合	187
11.2.4 基于移动代理的数据融合	189
11.3 无线传感器网络的数据压缩技术	191
11.3.1 基于排序编码的数据压缩算法	191
11.3.2 分布式数据压缩算法	192
11.3.3 基于数据相关性的压缩算法	194
11.3.4 管道数据压缩算法	194
11.4 无线传感器网络的协作信号信息处理技术	195
11.4.1 网元层的 CSIP 技术	195
11.4.2 网络层的 CSIP 技术	196
11.4.3 应用层的 CSIP 技术	196
11.4.4 CSIP 技术展望	197
参考文献	198

第 12 章 无线传感器网络的安全技术

12.1 无线传感器网络的安全问题概述	201
12.1.1 无线传感器网络安全技术的研究内容	201
12.1.2 无线传感器网络安全技术的研究现状	202
12.1.3 无线传感器网络安全技术的主要技术挑战	205
12.2 无线传感器网络的安全问题分析	205
12.2.1 无线传感器网络物理层的安全策略	206
12.2.2 无线传感器网络链路层的安全策略	207
12.2.3 无线传感器网络网络层的安全策略	207
12.2.4 无线传感器网络传输层和应用层的安全策略	209
12.3 无线传感器网络的密钥管理和入侵检测技术	209
12.3.1 无线传感器网络的密钥管理	209
12.3.2 无线传感器网络的入侵检测技术	211
参考文献	214

第 4 篇 无线传感器网络的自组织管理技术**第 13 章 无线传感器网络的节点管理**

13.1 无线传感器网络的节点管理概述	216
13.1.1 无线传感器网络节点管理的研究内容	216
13.1.2 无线传感器网络节点管理的研究现状	217
13.1.3 无线传感器网络节点管理的主要技术挑战	218
13.2 无线传感器网络的节点休眠/唤醒机制	218
13.2.1 PEAS 算法	218
13.2.2 基于网格的调度算法	219
13.2.3 基于局部圆周覆盖的节点休眠机制	220
13.2.4 基于随机休眠调度的节能机制	221
13.3 无线传感器网络的节点功率管理	222
13.3.1 动态功率管理和动态电压调节	222
13.3.2 基于节点度的算法	224
13.3.3 基于邻近图的算法	224
13.3.4 基于二分法的功率控制	224
13.3.5 网络负载自适应功率管理算法	226
参考文献	227

第 14 章 无线传感器网络的资源与任务管理

14.1 无线传感器网络的资源与任务管理概述	229
------------------------	-----

14.1.1	无线传感器网络资源与任务管理的研究内容	229
14.1.2	无线传感器网络资源与任务管理的研究现状	230
14.1.3	无线传感器网络资源与任务管理的主要技术挑战	230
14.2	无线传感器网络的资源管理技术	231
14.2.1	自组织资源分配方式	231
14.2.2	计算资源分配	232
14.2.3	带宽资源分配	235
14.3	无线传感器网络的任务管理技术	237
14.3.1	任务分配	237
14.3.2	任务调度	239
14.3.3	负载均衡	243
	参考文献	245

第 15 章 无线传感器网络的数据管理

15.1	无线传感器网络的数据管理概述	248
15.1.1	无线传感器网络数据管理的研究内容	248
15.1.2	无线传感器网络数据管理的研究现状	249
15.1.3	无线传感器网络数据管理的主要技术挑战	249
15.2	无线传感器网络的数据管理系统	250
15.2.1	TinyDB 系统	250
15.2.2	Cougar 系统	251
15.2.3	Dimensions 系统	252
15.3	无线传感器网络数据管理的基本方法	253
15.3.1	数据模式	253
15.3.2	数据存储	254
15.3.3	数据索引	255
15.3.4	数据查询	257
	参考文献	260

第 16 章 无线传感器网络的部署、初始化和维护管理

16.1	无线传感器网络的部署、初始化和维护管理概述	261
16.1.1	无线传感器网络部署、初始化和维护管理的研究内容	261
16.1.2	无线传感器网络部署、初始化和维护管理的研究现状	262
16.1.3	无线传感器网络部署、初始化和维护管理的主要技术挑战	263
16.2	无线传感器网络的部署技术	264
16.2.1	采用确定放置的部署技术	264
16.2.2	采用随机抛撒且节点不具移动能力的部署技术	265
16.2.3	采用随机抛撒且节点具有移动能力的部署技术	265
16.3	无线传感器网络的初始化技术	266

16.3.1	UDG 模型	266
16.3.2	基于 MIS 的初始化算法	266
16.3.3	基于 MDS 的初始化算法	268
16.4	无线传感器网络的维护管理技术	270
16.4.1	覆盖与连接维护技术	270
16.4.2	性能监测技术	271
	参考文献	272

第 5 篇 无线传感器网络的开发与应用

第 17 章 无线传感器网络的仿真技术

17.1	无线传感器网络的仿真技术概述	275
17.1.1	网络仿真概述	275
17.1.2	无线传感器网络仿真研究概述	275
17.2	常用网络仿真软件	276
17.2.1	OPNET 简介	276
17.2.2	NS	279
17.2.3	TOSSIM	280
17.3	OMNeT++ 仿真软件	281
17.3.1	OMNeT++ 概述	281
17.3.2	NED 语言	282
17.3.3	简单模块/复合模块	287
17.3.4	消息	290
17.3.5	类库	291
17.4	仿真示例	296
	参考文献	303

第 18 章 无线传感器网络的硬件开发

18.1	无线传感器网络的硬件开发概述	304
18.1.1	硬件系统的设计特点与要求	304
18.1.2	硬件系统的设计内容	304
18.1.3	硬件系统设计的主要挑战	305
18.2	传感器节点的开发	305
18.2.1	数据处理模块设计	305
18.2.2	换能器模块设计	307
18.2.3	无线通信模块设计	307
18.2.4	电源模块设计	309
18.2.5	外围模块设计	309

18.3 传感器节点原型的开发实例——Mica	310
18.3.1 Mica 系列节点简介	310
18.3.2 Mica 系列处理器/射频板设计分析	313
18.3.3 Mica 系列传感板设计分析	315
18.3.4 编程调试接口板介绍	317
参考文献	318
第 19 章 无线传感器网络的操作系统	
19.1 无线传感器网络操作系统概述	320
19.1.1 无线传感器网络操作系统的设计要求	320
19.1.2 几种典型的无线传感器网络操作系统介绍	321
19.1.3 无线传感器网络操作系统设计的主要技术挑战	321
19.2 TinyOS 操作系统	322
19.2.1 TinyOS 的设计思路	322
19.2.2 TinyOS 的组件模型	322
19.2.3 TinyOS 的通信模型	324
19.3 基于 TinyOS 的应用程序运行过程解析	324
19.3.1 Blink 程序的配件分析	325
19.3.2 BlinkM 模块分析	327
19.3.3 ncc 编译 nesC 程序的过程	329
19.3.4 Blink 程序的运行跟踪解析	329
19.3.5 TinyOS 的任务调度机制的实现	338
19.3.6 TinyOS 的事件驱动机制的实现	342
19.4 TinyOS 的使用	346
19.4.1 TinyOS 的安装	346
19.4.2 创建应用程序	348
19.4.3 使用 TOSSIM 仿真调试应用程序	348
19.4.4 使用 TinyViz 进行可视化调试	349
19.4.5 将应用程序导入节点运行	350
参考文献	351
第 20 章 无线传感器网络的软件开发	
20.1 无线传感器网络软件开发概述	353
20.1.1 无线传感器网络软件开发的特点与设计要求	353
20.1.2 无线传感器网络软件开发的内容	354
20.1.3 无线传感器网络软件开发的主要技术挑战	355
20.2 nesC 编程语言	355
20.2.1 nesC 语言介绍	355
20.2.2 nesC 的语法规范	356

20.2.3 nesC 应用程序开发	364
20.3 无线传感器网络的应用软件开发	367
20.3.1 无线传感器网络的编程模式	367
20.3.2 无线传感器网络的中间件设计	370
20.3.3 无线传感器网络的服务发现	372
参考文献	373
第 21 章 无线传感器网络应用于环境监测	
21.1 环境监测应用概述	375
21.1.1 环境监测应用的场景描述	375
21.1.2 环境监测应用中无线传感器网络的体系架构	375
21.2 关键技术	377
21.2.1 节点部署	377
21.2.2 能量管理	377
21.2.3 通信机制	378
21.2.4 任务的分配与控制	379
21.2.5 数据采样与收集	379
21.3 无线传感器网络用于环境监测的实例	380
21.3.1 公路交通监测	380
21.3.2 建筑物健康状况监测	384
21.3.3 “狼群计划”	385
参考文献	387
第 22 章 无线传感器网络应用于目标追踪	
22.1 目标追踪应用概述	388
22.1.1 目标追踪应用的场景描述	388
22.1.2 目标追踪应用的特点与技术挑战	388
22.1.3 目标追踪应用中的无线传感器网络系统架构	389
22.2 无线传感器网络用于目标追踪的关键技术	390
22.2.1 追踪步骤	390
22.2.2 追踪算法	392
22.2.3 面向目标追踪的网络布局优化	400
22.3 基于无线传感器网络的车辆追踪系统实例	402
22.3.1 系统架构	402
22.3.2 关键问题	403
22.3.3 关键技术	404
参考文献	407
附录 英汉缩略语对照表	410

第 1 章 无线传感器网络概述

1.1 无线传感器网络介绍

1.1.1 无线传感器网络的概念

随着无线通信、集成电路、传感器以及微机电系统(MEMS)等技术的飞速发展和日益成熟,低成本、低功耗、多功能的微型传感器的大量生产成为可能。这些传感器在微小体积内通常集成了信息采集、数据处理和无线通信等多种功能。无线传感器网络就是由部署在监测区域内大量的微型传感器节点通过无线电通信形成的一个多跳的自组织网络系统,其目的是协作地感知、采集和处理网络覆盖区域里被监测对象的信息,并发送给观察者^[1-3]。由于微型传感器的体积小、重量轻,有的甚至可以像灰尘一样在空气中浮动,因此,人们又称无线传感器网络为“智能尘埃(Smart Dust)”,将它散布于四周以实时感知物理世界的变化。

无线传感器网络的出现引起了全世界范围的广泛关注。最早开始无线传感器网络技术研究的是美国军方,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器网络的研究。随着无线传感器网络理论与技术的不断成熟,其应用已经由军事国防领域扩展到环境监测、交通管理、医疗健康、工商服务、反恐抗灾等诸多领域,使人们在任何时间、任何地点和任何环境条件下都能够获取大量翔实可靠的信息,最终成为一种“无处不在”的传感技术^[4]。

无线传感器网络是一种无中心节点的全分布系统。通过随机投放的方式,众多传感器节点被密集部署于监控区域。这些传感器节点集成有传感器、数据处理单元和通信模块,它们通过无线信道相连,自组织地构成网络系统。传感器节点借助于其内置的形式多样的传感器,测量所在周边环境中的热、红外、声纳、雷达和地震波信号,探测包括温度、湿度、噪声、光强度、压力、土壤成分、移动物体的大小、速度和方向等众多人们感兴趣的物理现象^[5]。传感器节点间具有良好的协作能力,通过局部的数据交换来完成全局任务。由于传感器网络的节能要求,多跳、对等的通信方式较之传统的单跳、主从通信方式更适合于无线传感器网络,同时还可有效避免在长距离无线信号传播过程中所遇到的信号衰落和干扰等各种问题。通过网关,传感器网络还可以连接到现有的网络基础设施上(如 Internet、移动通信网络等),从而将采集到的信

息回传给远程的终端用户使用。

无线传感器网络涉及传感器技术、网络通信技术、无线传输技术、嵌入式技术、分布式信息处理技术、微电子制造技术、软件编程技术等,是多学科高度交叉、新兴、前沿的一个热点研究领域。它是继因特网之后,将对 21 世纪人类生活方式产生重大影响的 IT 技术之一。美国的《商业周刊》杂志和《技术评论》杂志近年来所评出对人类未来生活产生深远影响的十大新兴技术中,传感器网络技术名列前茅^[6-7]。如果说因特网构成了逻辑上的信息世界,改变了人与人之间的沟通方式,那么,无线传感器网络就是将逻辑上的信息世界与客观上的物理世界融合在一起,改变人与自然界的交互方式^[8]。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。

1.1.2 无线传感器网络的特征

无线通信网络技术在过去的几十年间取得了飞速的发展。作为 Internet 在无线和移动范畴的扩展和延伸,无线自组网络(Ad-hoc Network)由若干采用无线通信的节点动态地形成一个多跳的移动性对等网络,从而不依赖于任何基础设施^[9]。无线传感器网络与无线自组网络有很多相似之处,总的来说,它们都具有以下这些特点:

① 分布式。网络中没有严格的控制中心,所有节点地位平等,节点之间通过分布式的算法来协调彼此的行为,是一个对等式网络。节点可以随时加入或离开网络,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。

② 自组织。通常网络所处物理环境及网络自身有很多不可预测因素。比如:节点的位置不能预先精确设定;节点之间的相邻关系预先也不知道;部分节点由于能量耗尽或其他原因而死亡,新的节点加入到网络中;无线通信质量受环境影响不可预测;网络环境中的突发事件不可控。这样就要求节点具有自组织的能力,无需人工干预和任何其他预置的网络设施,可以在任何时刻,任何地方快速展开并自动组网,自动进行配置和管理,通过适当的网络协议和算法自动转发监测数据^[10]。

③ 拓扑变化。网络中节点具备移动能力;节点在工作和睡眠状态之间切换以及传感器节点随时可能由于各种原因发生故障而失效,或者有新的传感器节点补充进来以提高网络的质量;加之无线信道间的互相干扰、地形和天气等综合因素的影响,这些都会使网络的拓扑结构随时发生变化,而且变化的方式与速率难以预测。这就要求网络系统能够适应拓扑变化,具有动态可重构的性能。

④ 多跳路由。由于节点发射功率的限制,节点的覆盖范围有限,通常只能与它的邻居节点通信,如果要与其覆盖范围以外的节点进行通信,则需要通过中间节点的转发。此外,多跳路由是由普通网络节点协作完成的,没有专门的路由设备。这样每个节点既可以是信息的发起者,也可以是信息的转发者。

⑤ 安全性差。由于采用了无线信道、分布式控制等技术,网络更容易受到被动窃听、主动入侵等攻击。因此,网络的通信保密和安全性十分重要,信道加密、抗干扰、用户认证和其他安全措施都需要特别考虑,以防止监测数据被盗取和获取伪造的监测信息。

无线传感器网络与无线自组网络有着许多相似之处。在无线传感器网络的研究初期,人们一度认为成熟的 Internet 技术加上无线自组网络的机制对无线传感器网络的设计是足够的;但随后的深入研究表明,无线传感器网络有着与无线自组网络明显不同的技术要求和应