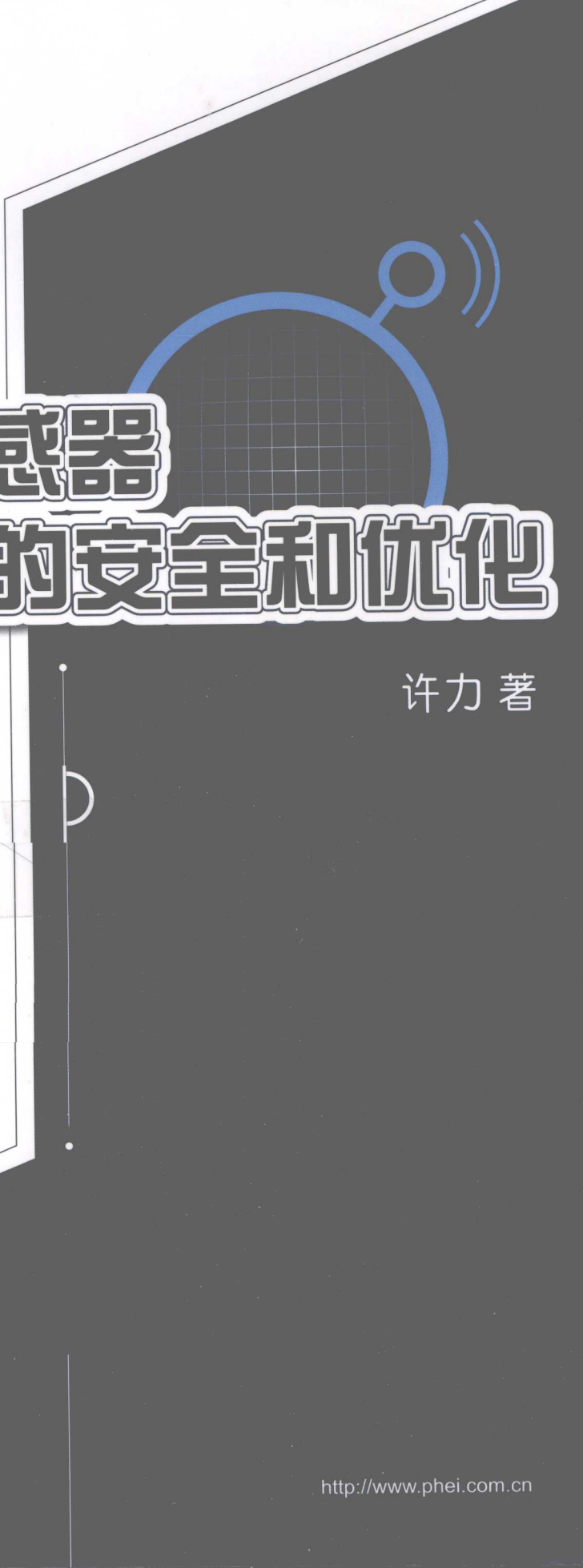




无线传感器 网络的安全和优化

许力 著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

无线传感器网络的 安全和优化

许 力 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书围绕着近年来无线传感器网络在能量管理、数据管理、安全管理等方面的研究热点和难点,以优化和安全为主线索,重点介绍和分析分簇策略和优化、密钥管理技术、路由协议和安全、拓扑容错优化、MAC 协议和优化、节点定位技术、跨层协作和优化等技术问题和解决策略。

本书可作为高等院校计算机应用类、通信工程以及电子信息类研究生和高年级本科生教材,也可作为相关领域的工程技术人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

无线传感器网络的安全和优化 / 许力著. —北京: 电子工业出版社, 2010.3

ISBN 978-7-121-10380-3

I. 无… II. 许… III. ①无线电通信—传感器—安全技术②无线电通信—传感器—最佳化
IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 025789 号

策划编辑: 董亚峰

责任编辑: 侯丽平

印 刷: 北京天宇星印刷厂

装 订: 三河市鹏成印业有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 18 字数: 460.8 千字

印 次: 2010 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 39.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

无线传感器网络是近年来迅速发展和普遍重视的新型网络技术,它的出现和发展对现代科学技术产生了极其深刻的影响,也显著地改变了人们的观念。与传统的网络不同,无线传感器网络将现代通信技术、微型传感器技术以及网络技术有机地融合为一体,在军事、环境监测、家庭自动化及其他很多领域具有广阔的应用前景。

本书围绕着近年来无线传感器网络在能量管理、数据管理、安全管理等方面的研究热点和难点,以优化和安全为主线索,基于作者在分簇策略和优化、密钥管理技术、路由协议和安全、拓扑容错优化、MAC 协议和优化、节点定位技术、跨层协作和优化等课题中的研究成果,并结合相关领域的国内外重要研究成果展开详细地阐述和分析,全书分八个部分共 22 章。

第一部分综述,包括第 1 章,主要介绍无线传感器网络的基本概念、主要技术和发展趋势。第二部分主要介绍分簇策略和优化算法在无线传感器网络中的应用,其中第 2 章介绍分簇结构的原理和经典算法;第 3 章介绍基于图论的分簇算法和策略;第 4 章介绍安全的分簇算法和策略。第三部分主要介绍密钥管理技术,在分析无线传感器网络中的密钥管理需求的基础上,第 5 章介绍基于分布式体系结构的密钥管理方案;第 6 章分析分簇式的密钥管理策略;第 7 章介绍组密钥管理策略。第四部分主要介绍安全路由技术和协议,其中第 8 章介绍和分析无线传感器网络的路由协议研究进展;第 9 章介绍经典的组播路由协议;第 10 章分析无线传感器网络中的安全路由协议。第五部分主要介绍拓扑容错优化,其中第 11 章主要介绍拓扑优化和容错的理论和方法;第 12 章介绍基于小世界理论的拓扑优化策略和方案;第 13 章介绍基于网络编码的拓扑容错技术。第六部分主要介绍 MAC 协议和优化,其中第 14 章主要以节能优化为线索介绍 MAC 协议的研究进展;第 15 章介绍无线传感器网络 MAC 层的建模方法和技术;第 16 章从低延迟、高吞吐量、低丢包率、安全性、低存储量开销分析 MAC 协议的最新研究成果。第七部分主要介绍节点定位技术,其中第 17 章是对无线传感器网络中定位机制及其应用的全面分析;第 18 章详细地分析和比较无须测距的无线传感器网络节点定位机制;

第 19 章介绍安全定位技术的最新研究成果。第八部分主要介绍跨层协作和优化，其中第 20 章分析了跨层协作和优化的需求和原理；第 21 章围绕基于跨层协作的 MAC 协议展开分析和介绍；第 22 章围绕基于跨层协作的路由协议展开分析和介绍。

本书作者在包括无线传感器网络在内的各类型自组织多跳无线网络领域进行了多年研究，本书的大部分内容是这些研究的成果，其中许多内容来自相应的原创论文。作者及所在实验室的科研团队在自组织网络领域承担过许多科研项目，相关的研究成果也在本书中得以引用。

本书在撰写的过程中，得到福建师范大学数学与计算机科学学院和网络安全与密码技术福建省高校重点实验室的领导和许多同人的支持和帮助，首先感谢叶阿勇、陈建伟、余根坚、黄川、林晖、高建梁等老师对本书的大力帮助和无私贡献，也要感谢沈金波、林力伟、钟进发、林颖、陈心瑜等同学帮助进行书稿的整理，特别要感谢南京邮电大学的郑宝玉教授提供的大量素材和对本书章节框架的指导。

由于无线传感器网络理论和技术发展迅速，许多问题尚无法定论，加之作者水平有限，书中难免存在错误，敬请同行及读者批评指正。

作 者

2009 年 10 月

目 录

第一部分 绪 论

第 1 章 无线传感器网络概述	1
1.1 无线传感器网络的概念和特点	1
1.1.1 基本概念	1
1.1.2 无线传感器网络的特点	2
1.2 无线传感器网络的应用	3
1.3 无线传感器网络的发展趋势	4
1.3.1 无线多媒体传感器网络	4
1.3.2 泛在传感器网络	5
1.3.3 具有认知功能的传感器网络	6
1.3.4 基于超宽带 (UWB) 技术的无线传感器网络	7
1.3.5 基于协作通信技术的无线传感器网络	7
1.4 无线传感器网络的协议分层和关键问题	8
参考文献	11

第二部分 分簇策略和优化

第 2 章 分簇结构的无线传感器网络	14
2.1 分簇算法的基本概念	15
2.2 分簇算法基本目标及其性能评价	17
2.3 WSN 中分簇策略介绍	18
2.3.1 最小 ID 分簇算法	18
2.3.2 LEACH 及其改进算法	19
2.3.3 GAF 及其后期改进算法	20
2.3.4 基于图论的 TopDisc 算法	21
2.3.5 非均匀分簇思想解决热区问题	22



2.4 小结	23
参考文献	23
第3章 基于图论的能量有效的分簇算法	25
3.1 经典的 TopDisc 算法	25
3.2 无线传感器网络连通支配集算法	26
3.3 基于团着色算法的分布式分簇算法	29
3.4 基于图论聚合度的分簇策略	32
3.5 基于代数连通度的虚拟骨干网构造方法	34
3.6 小结	35
参考文献	36
第4章 安全可靠的分簇策略	38
4.1 分簇结构中的安全问题	38
4.2 安全分簇策略	39
4.2.1 基于可信度评价的安全分簇	39
4.2.2 移动自组网中一种安全的最高节点度分簇算法	43
4.3 基于分簇结构的安全可靠策略	44
4.3.1 基于可信分簇结构的安全可靠策略	45
4.3.2 基于协同合作的可靠数据传输	46
4.3.3 基于异常节点检测的可靠数据融合方案	46
4.4 小结	46
参考文献	47

第三部分 密钥管理技术

第5章 基于分布式体系结构的密钥管理方案	49
5.1 密钥管理的性能评价	49
5.2 随机密钥预分配方案	50
5.3 q -Composite 随机密钥预分配方案	51
5.4 基于多项式的密钥预分配方案	52
5.5 基于 Blom 的密钥预分配方案	54
5.5.1 Blom 密钥预分配方案	54
5.5.2 多密钥空间随机密钥预分配方案	55
5.6 基于对称 BIBD 的密钥预分配方案	55



5.7 基于填充设计的密钥预分配方案	56
5.8 小结	60
参考文献	60
第 6 章 基于分簇式的密钥管理	62
6.1 低能耗密钥管理方案	62
6.2 LEAP 密钥管理方案	63
6.3 基于横截设计的密钥预分配方案	65
6.4 基于簇的密钥预分配方案	66
6.5 分簇传感器网络中对密钥管理方案	68
6.6 基于 ECC 的密钥管理方案	70
6.7 小结	71
参考文献	72
第 7 章 无线传感器网络中组密钥管理	73
7.1 基于本地协作的组密钥分发方案	73
7.2 逻辑密钥层次 LKH 方案	74
7.3 基于路由信息的组密钥分发方案	76
7.4 基于节点稳定性的层次密钥管理方案	77
7.5 基于对称密钥的组密钥更新方案	80
7.6 小结	81
参考文献	81

第四部分 路由协议和安全

第 8 章 无线传感器网络的路由协议	82
8.1 无线传感器网络路由协议概述	82
8.1.1 无线传感器网络路由协议的特点	82
8.1.2 无线传感器网络路由协议的设计目标	83
8.1.3 无线传感器网络路由协议的研究现状	84
8.2 无线传感器网络的路由协议	85
8.2.1 基于数据为中心的平面路由协议	85
8.2.2 基于查询的路由协议	87
8.2.3 层次路由协议	89
8.2.4 地理位置路由协议	92



8.2.5 能量感知路由协议	94
8.3 小结	96
参考文献	96
第 9 章 无线传感器网络组播路由协议	99
9.1 VMRRP	99
9.1.1 源节点初始化	99
9.1.2 邻居节点信息表的建立	100
9.1.3 随机策略	100
9.1.4 路由算法流程	100
9.2 GridMulticast	101
9.2.1 无线传感器网络的网格分布	102
9.2.2 能量消耗模型	102
9.2.3 GridMulticast 协议	103
9.3 基于网络编码的组播路由	104
9.3.1 网络编码	104
9.3.2 路由算法	105
9.4 能量平衡的组播路由协议	106
9.5 小结	108
参考文献	108
第 10 章 无线传感器网络安全路由协议	110
10.1 无线传感器网络路由协议的安全威胁	110
10.1.1 攻击类型	110
10.1.2 典型路由协议的安全威胁	111
10.2 无线传感器网络的安全路由协议	112
10.2.1 SPINS 安全协议	112
10.2.2 基于能量优化的安全路由协议	113
10.2.3 INSENSE 容侵路由协议	114
10.2.4 高效的匿名路由协议	115
10.2.5 协作式安全路由协议	117
10.3 小结	119
参考文献	119

第五部分 拓扑容错优化

第 11 章 无线传感器网络拓扑容错优化	121
-----------------------------------	------------



11.1 无线传感器网络的拓扑控制	121
11.1.1 集中式的拓扑控制	122
11.1.2 分布式的拓扑控制	122
11.1.3 拓扑控制面临的问题	123
11.2 无线传感器网络的容错技术	123
11.3 无线传感器网络的拓扑容错优化	124
11.3.1 无线传感器网络容错拓扑控制	124
11.3.2 小世界模型在无线传感器网络中的应用	127
11.3.3 网络编码技术在无线传感器网络中的应用	128
11.4 小结	128
参考文献	129
第 12 章 基于小世界的无线传感器网络拓扑优化	131
12.1 小世界网络及其在无线网络中的应用简介	131
12.2 基于小世界模型点集聚系数的簇优化	132
12.2.1 RLOC 算法采用的网络模型	132
12.2.2 删除连边优化网络拓扑	133
12.2.3 算法小结	135
12.3 基于小世界模型边集聚系数的分簇算法	135
12.3.1 SMCA 算法基于的网络模型	136
12.3.2 SMCA 算法的主要步骤	136
12.3.3 数据传输的路由方法与模型分析	137
12.3.4 算法小结	138
12.4 基于小世界模型的无线传感器网络拓扑优化	138
12.4.1 网络模型	138
12.4.2 线的放置方式	139
12.4.3 数据传输方式判断	139
12.4.4 算法小结	140
12.5 无线传感器网络抗毁性研究	140
12.5.1 网络模型与基本概念	140
12.5.2 网络连通性测度	140
12.5.3 网络抗毁性测度	141
12.5.4 基于小世界模型的无线传感器网络抗毁性研究	141
12.6 小结	142



参考文献	142
第 13 章 基于网络编码的拓扑容错研究	144
13.1 数据内部编码	144
13.2 数据之间编码	147
13.2.1 基于网络编码的数据保护策略	147
13.2.2 基于网络编码的分簇传感器网络链路容错策略	148
13.3 小结	153
参考文献	153

第六部分 MAC 协议和优化

第 14 章 无线传感器网络 MAC 层协议	155
14.1 WSN MAC 协议与 Ad Hoc 网络 MAC 协议比较	155
14.2 WSN MAC 协议的设计因素	156
14.3 WSN MAC 协议分类	158
14.4 WSN MAC 协议分析	159
14.4.1 基于竞争的 MAC 协议	159
14.4.2 基于调度的 MAC 协议	163
14.4.3 混合 MAC 协议	164
14.5 小结	167
参考文献	167
第 15 章 无线传感器网络 MAC 层建模	169
15.1 基于博弈论的 MAC 模型	169
15.1.1 DCF 博弈	169
15.1.2 基于 DCF 博弈的接入方案	170
15.2 单跳 WSN 的二维马尔可夫链模型	171
15.2.1 单个节点的分组发送概率	171
15.2.2 饱和吞吐量	174
15.3 多跳 WSN 的等效带宽模型	175
15.4 适合于时隙 IEEE 802.15.4 的一种新的分析模型	177
15.5 小结	178
参考文献	178



第 16 章 无线传感器网络 MAC 层优化	180
16.1 低延迟的 WSN MAC 协议	180
16.1.1 AC-MAC 协议	180
16.1.2 自适应睡眠机制	180
16.1.3 WiseMAC 协议	181
16.1.4 LEEM 协议	181
16.1.5 P-MAC 协议	182
16.1.6 CMMAC-SD 协议	183
16.1.7 LP-MAC 协议	186
16.2 高吞吐量的 MAC 协议	186
16.2.1 ADEE-MAC 协议	186
16.2.2 LPDMAC 协议	187
16.2.3 自适应 SMAC 协议	188
16.3 低丢包率的 WSN MAC 协议	188
16.3.1 C-TDMA-SMAC 协议	188
16.3.2 R-MAC 协议	189
16.4 小结	189
参考文献	189

第七部分 节点定位技术

第 17 章 无线传感器网络节点定位机制	191
17.1 无线传感器网络节点定位机制概述	191
17.1.1 节点定位机制的相关术语	192
17.1.2 节点定位的基本原理	192
17.1.3 无线传感器网络节点定位机制的分类	193
17.2 基于测距及无须测距的经典定位算法	194
17.2.1 基于测距的无线传感器网络节点定位技术	194
17.2.2 无须测距的无线传感器网络节点定位技术	196
17.3 无线传感器网络节点定位算法的评判要素	199
17.4 节点定位技术在无线传感器网络的应用	200
参考文献	202
第 18 章 DV-Hop 定位算法及其优化	205



18.1 无须测距定位技术的优劣分析	205
18.1.1 无须测距定位机制在无线传感器网络中的优劣	205
18.1.2 无线传感器网络节点定位技术方案的选取	206
18.2 DV-Hop 定位算法	206
18.2.1 DV-Hop 定位算法介绍	206
18.2.2 DV-Hop 定位算法性能分析	209
18.3 DV-Hop 定位算法的定位精度改进	213
18.3.1 基于邻居节点空间顺序序列优化的 DV-Hop 定位算法	214
18.3.2 基于节点重叠度优化的 DV-Hop 定位算法	215
18.4 无须测距的定位算法面临的挑战	216
18.5 小结	218
参考文献	218
第 19 章 无线传感器网络节点安全定位技术	220
19.1 无线传感器网络节点定位系统安全分析	220
19.1.1 无线传感器网络节点定位系统安全性需求	220
19.1.2 节点安全定位策略的分析	222
19.2 基于恶意信标节点检测的安全策略	225
19.2.1 基于检查点的信标筛选法方案	226
19.2.2 检测率分析	226
19.3 一种容忍攻击的传感器节点定位算法	227
19.3.1 AtLoc 算法模型的相关假设	227
19.3.2 安全参照集的检验方法	228
19.3.3 寻找最小安全参照集	229
19.3.4 异常点的诊断	229
19.3.5 相关实验结果分析	230
19.4 小结	231
参考文献	231

第八部分 跨层协作与优化

第 20 章 跨层协作设计基础	233
20.1 跨层协作体系结构	234
20.1.1 TinyCubus 体系结构	234



20.1.2	OA-CLD 体系结构	235
20.1.3	CiNET 体系结构	236
20.1.4	可编程跨层体系结构	237
20.1.5	CRA-CCSS 体系结构	237
20.2	跨层协作建模	238
20.2.1	基于效用与损耗优化的跨层建模	238
20.2.2	基于凸优化的跨层建模	240
20.3	跨层协作的安全与优化	242
20.3.1	跨层协作安全机制	242
20.3.2	跨层协作 QoS 机制	243
20.3.3	跨层协作节能机制	243
20.4	小结	244
	参考文献	245
第 21 章 跨层协作 MAC 协议		247
21.1	基于最佳中继的跨层 MAC 协议	247
21.2	MCWTCP 协议	249
21.3	基于多包接收的跨层 MAC 协议	250
21.4	多信道 MAC 跨层协议	253
21.5	PRMAC 协议	256
21.6	CLEE-MAC 协议	258
21.7	小结	259
	参考文献	259
第 22 章 基于跨层协作的路由协议		261
22.1	基于时延优化的跨层协作路由协议	261
22.1.1	机会中继选择技术	261
22.1.2	协议实现	262
22.2	基于 TCP 性能优化的跨层协作路由协议: RP-DSR	265
22.3	基于节能和 QoS 保证的跨层协作路由协议	266
22.3.1	模糊控制系统建模	266
22.3.2	EQ-DSR 路由协议描述	269
22.4	基于多判据的路由协议 ACRO	270
22.5	小结	272
	参考文献	273

第一部分 绪 论

无线传感器网络（Wireless Sensor Network, WSN）是多学科高度交叉的前沿研究课题，综合了传感器、嵌入式计算、网络及通信、分布式信息处理等技术。无线传感器网络利用大量的微型传感计算节点通过自组织网络以协作方式进行实时监测、感知和采集各类环境或监测对象的信息，以一种“无处不在的计算”的新型计算模式，成为连接物理世界、数字虚拟世界和人类社会的桥梁。无线传感器网络在环境监测、资源监测、灾害污染监测、公共安全和国防、智能交通等各个领域都有广泛的应用前景，也是国际上信息领域的研究热点和竞争的焦点。

第 1 章 无线传感器网络概述

本章首先对无线传感器网络的概念、特点做一个简要的介绍，无线传感器网络的特点是开展对此类网络研究的出发点和立足点。然后我们介绍无线传感器网络的应用和发展趋势，正是这些应用引导了无线传感器网络的理论和技术研究日益成熟。最后本章结合作者的研究体会介绍了无线传感器网络的关键问题。

1.1 无线传感器网络的概念和特点

1.1.1 基本概念

随着微机电系统技术、无线通信和数字电子技术的进步和日益成熟，具有感知能力、计算能力和通信能力的微型传感器已经出现。每个传感器由数据采集模块（传感器、A/D 转换器）、数据处理和控制模块（微处理器、存储器）、通信模块（无线收发器）和供电模块（电池、DC/DC 能量转换器）等组成。

无线传感器网络系统一般包括传感器节点和汇聚节点（sink node）。节点可以通过飞机布撒或人工布置等方式，大量部署在被感知对象内部或附件中。这些节点通过自组织的方式构成无线网络，以协作的方式实时感知、采集和处理网络覆盖区的信息，并通过多跳的方式经由汇聚节点链路将整个区域的信息传送到远程控制管理中心。反之远程控制管理中心也可以对网络节点进行实时监控和操作。图 1-1 是一个典型的无线传感器

网络系统结构,包括分布式传感器节点、接收/发送器、互联网和用户界面等。

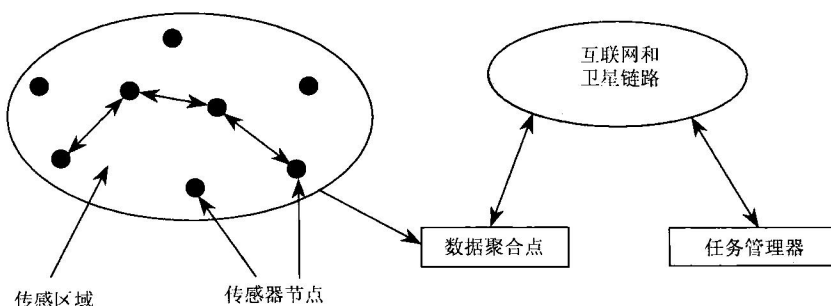


图 1-1 传感器网络系统结构

传感器节点在网络中可以充当数据采集者、数据中转站或簇头节点 (cluster-head node) 的角色。作为数据采集者,节点收集周围环境的数据(如温度、湿度),通过通信路由协议直接或间接将数据传输给基站(base station)或汇聚节点(sink node);作为数据中转站,节点除了完成采集任务外,还要接收邻居节点的数据,将其转发给距离基站更近的邻居节点或者直接转发到基站或汇聚节点;作为簇头节点,节点负责收集该类内所有节点采集的数据,经数据融合后,发送到基站或汇聚节点。

1.1.2 无线传感器网络的特点

目前常见的无线网络包括移动通信网络、无线局域网、蓝牙网络、Ad Hoc 网络等,其基本上都是为了同时满足人们各种各样的需要而设计的,如语音、视频、图像等。然而,无线传感器网络一般是为了某个特定的需要而设计的,它是一种基于应用的无线网络。参考文献[14]这样定义无线传感器网络:无线传感器网络是由一组传感器以 Ad Hoc 方式组成的无线网络,其目的是协作地感知、收集和处理传感器网络所覆盖地理区域中感知对象的信息,并将处理结果传递给观察者。

从以上关于无线传感器网络的定义,我们可认为无线传感器网络是一种特殊的 Ad Hoc 网络。它除了具有 Ad Hoc 网络的一般特性如动态拓扑、无中心自组织、多跳路由、能量和带宽受限等外,还有自身的一些特点^[15]:

(1) 资源更有限。由于受到价格、硬件体积等影响,无线传感器网络节点的处理能力、计算能力更差,存储量更小。

(2) 网络规模更大,覆盖的地理面积更广。无线传感器网络节点的数量级通常为几百或者几千,有的甚至上万。为了在某个地理区域上进行监测,通常有成百上千的节点被布置在该区域,节点的分布更加密集。

(3) 传感器网络节点一般没有一个全局性的标识,如 IP 地址等。每个节点仅仅知道自己邻居节点的位置和标识,传感器网络通过邻居节点之间的相互协作进行信息处理



和通信,具有很强的协作性。

(4) 拓扑结构相对比较稳定。Ad Hoc 网络的拓扑变化主要由节点的移动造成。而无线传感器网络的拓扑变化主要由节点的节能机制(如睡眠机制)造成,节点位置相对比较固定。

(5) 感知数据冗余度强。由于传感器网络节点分布是很密集的,因此,邻居节点间的感知数据具有很强的相似度及冗余度。这是无线传感器网络作为一种特殊的 Ad Hoc 网络,不同于一般 Ad Hoc 网络的重要特征之一。

(6) 能量更有限。由于受到硬件条件(如硬件大小)的影响,无线传感器网络节点通常采用电池供电,能量十分有限。受到能量的影响,无线传感器网络节点的通信距离更短,一般只有几十米,甚至更短。

(7) 干扰更强。对于一些具体的无线传感器网络,工作环境更加恶劣,再加上传感器节点分布更加密集,环境噪声干扰和节点之间的相互干扰更强。

(8) 数据为中心的路由。无线传感器网络基于数据为中心的路由,常常是以应用为驱动的,这和一般 Ad Hoc 网络端到端的通信方式也是不同的。

从上面可以看到,虽然可以把无线传感器网络看成是一种特殊的 Ad Hoc 网络,但是无线传感器网络自身的特点决定了 Ad Hoc 的研究成果只能作为一种借鉴,人们必须研究和开发适用于无线传感器网络的新技术。

1.2 无线传感器网络的应用

MEMS 支持下的微小传感器技术和节点间的无线通信能力为传感器网络赋予了广阔的应用前景,主要表现在军事、医疗、环境、家庭和其他商业领域。在空间探索和灾难拯救等特殊领域,传感器网络也有其得天独厚的技术优势。

(1) 军事应用。美国国防部和各军事部门对无线传感器网络给予了高度重视,在 C4ISR (command, control, communication, computing, intelligence, surveillance, and reconnaissance) 的基础上提出了 C4KISR 计划,强调战场情报的感知能力、信息的综合能力和信息的利用能力,把无线传感器网络作为一个重要研究领域,设立了一系列的军事无线传感器网络的研究课题^[16]。无线传感器网络可用来建立一个集命令、控制、通信、计算、智能、监视、侦察和定位于一体的战场指挥系统。因为无线传感器网络是由密集型、低成本、随机分布的节点组成的,自组织性和容错能力使其不会因为某些节点在恶意攻击中损坏而导致整个系统的崩溃,这一点是传统传感技术所无法比拟的,也正是这一点,使无线传感器网络非常适合应用于恶劣的战场环境中。使用声音、压力等传感器可以侦察敌方阵地动静,人员、车辆行动情况,实现战场实时监督、战场损失评估等。

(2) 医疗应用。如果在住院病人或老人身上安装特殊用途的传感器节点,如心率和