

无线传感器 网络技术与应用

宋文 主编

宋文 王兵 周应宾 等编著

冼进 审



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

无线传感器网络技术与应用

宋文 主编

宋文 王兵 周应宾 等编著

冼进 审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书的内容涉及无线传感器网络的理论与应用两个方面,重点介绍了在无线传感器网络研究中的最新研究成果和在开发领域中的最新应用技术,全书共分为8章,以全新的视野,翔实的资料,深刻阐述了无线传感器网络领域的一些新问题、解决问题的方案和工程应用开发的设计方法,书中相当一部分内容基本上反映了近年来本领域国内外专家与学者的最新研究成果,并提供了详细的参考文献。

本书内容丰富,叙述深入浅出,既注重理论方法的引导,又注重技术的工程实用性,既可用做通信与信息系统、计算机科学与技术、计算机网络、电子与信息、传感器技术等专业的大学本科高年级学生和研究生教材、教辅、教学参考或自学用书,也可用做广大对传感器网络技术感兴趣的工程技术人员和管理人员的参考书。

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

无线传感器网络技术与应用 / 宋文主编. —北京: 电子工业出版社, 2007.3
ISBN 978-7-121-03705-4

I. 无… II. 宋… 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 024111 号

责任编辑: 高平 康霞

印刷: 北京市顺义兴华印刷厂

装订: 三河市双峰印刷装订有限公司

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: 19 字数: 450 千字

印次: 2007 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 28.00 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, 联系电话: (010) 68279077; 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。

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

前 言

无线传感器网络是当今国内外备受关注的、由多学科高度交叉的新兴前沿研究领域。它综合了传感器技术、嵌入式计算技术、现代网络及无线通信技术、分布式信息处理技术等，能够通过各类集成化的微型传感器协作，实时监测、感知和采集各种环境或监测对象的信息。通过嵌入式系统对信息进行处理，无线传感器网络可随机自组织网络且以多跳中继方式将所感知信息传送到用户终端。无线传感器网络的研究采用系统发展模式，须将现代的先进微电子技术、微细加工技术、系统 SOC (System-On-Chip) 芯片设计技术、纳米材料与技术、现代通信技术、计算机网络技术等融合，以实现其微型化、集成化、多功能化及系统化、网络化，特别是实现无线传感器网络特有的超低功耗系统设计。无线传感器网络具有十分广阔的应用前景，在军事国防、工农业、城市管理、生物医疗、环境监测、抢险救灾、防恐反恐、危险区域远程控制等许多领域都有重要的科研价值和巨大的实用价值，它已经引起了世界许多国家军事界、学术界和工业界的高度重视，并被公认为是对 21 世纪产生巨大影响的技术之一。

本书编著者在研究无线传感器网络技术的同时，成立了无线传感器网络研发讨论组，通过吸收国内外大学和研究所的研究成果，开始尝试构建自己的原型系统和协议开发实践。通过建立小型的环境监测系统和后台信息管理系统的研究工作，对无线传感器网络从技术应用层面上有了更深入的了解，在算法设计和理论研究方面也有了更明确的方向。无线传感器网络是与应用密切相关的，不同应用的通信技术差别可能很大。随着不断地研究开发积累，通过对无线传感器网络的理论研究和实践经验总结，构成了本书全部的内容。根据当前国家有关部门对自组织网络及无线传感器网络技术和应用的密切关注程度，以及国家未来 15 年中长期科技发展战略部署和国家 863 高科技项目计划纲要的主题，本书划分为无线传感器网络概述等 8 章。

本书将给读者介绍全面、系统且深入的无线传感器网络理论与应用的相关知识，纵观全书，有如下特点。

入门要求低。本书介绍了无线传感器网络最基本的知识，读者只需有一定的通信及网络知识即可。

完整性。本书内容完整，涉及面广。从无线传感器网络起源到特点，从无线传感器网络基本结构到系统优化，从无线传感器网络关键技术到相关应用，从无线传感器网络仿真到测试，从无线传感器网络现状到未来的技术标准发展趋势。

概括性。本书每章的标题和知识点都是对该章内容的高度概括，在具体内容中对其进行的解释尽可能做到准确、翔实。

实用性。本书紧密结合应用，对具体应用的开发都做了较详细的介绍。

新颖性。本书对无线传感器网络相关的最新技术标准及协议规范和国内外研究进展都

进行了介绍，并对无线传感器网络的未来发展进行了展望。

无线传感器网络的概述部分剖析了无线传感器网络的特点，重点介绍了当前主流无线传感器网络通信技术和典型应用。无线传感器网络关键技术部分涉及网络系统的基本网络协议的讨论，包括 MAC 协议和路由协议等，还介绍了形成系统网络应用所需要的能量管理机制、QoS 保证技术、数据融合技术、安全机制、定位技术和时间同步管理机制。无线传感器网络设计基础引导网络设计初学者开始进入无线传感器网络世界的殿堂，仿真与原型开发部分从分析现实的仿真工具和测试平台出发，以实际系统的实践过程为实例，让读者与无线传感器网络进行亲密接触，构建一个切实可行的、属于自己的原型系统和设计平台。

如果这本书能够把无线传感器网络方面的最新研究成果展示出来，能够把近年来的理论与实践的体会深刻表现出来，能够对推动国内无线传感器网络技术的发展有一点帮助，则对所有曾为这本书付出努力的人来说，都是一个最大的回报。我想把前言的最后一部分留给所有为本书的写作和出版付出辛勤劳动的每一个人，没有他们的聪明才智和认真负责，就不会有本书的出版。

本书由宋文主编，宋文、王兵、周应宾等编著。其中，第 2 章、第 3 章和第 4 章由宋文编写，第 1 章、第 7 章和第 8 章由王兵编写，第 5 章和第 6 章由周应宾编写。另外，感谢西南交通大学的方旭明教授及其所指导的博士和硕士研究生等，他们多次参与了有关本书的技术讨论，提供了无线传感器网络的相关资料。同时参与本书编写及编校的人员还有：邹素琼、郝文化、赵秋云、赵继军、彭艺、曲辉辉、周章、蒋波、徐留旺、曹振宇、张婷、温凌霜、鲁得翠、蒋泽平、魏乐、韩翔、程小英、谭小丽、卢丽娟、李小琼、周宏、罗吉、许翔燕、陈春、张忠、方小马、黄姹英、周明、宋晶、邓勇等，在此表示感谢。另外，在本书编写过程中，引用了部分作者的相关文献材料，在此一并表示感谢。

另外，在本书出版之际，还要感谢我的家人和朋友的默默奉献和支持，特别是我的妻子和儿子，谨以此书献给他们。

由于水平有限，加之编写时间仓促，书中疏漏之处在所难免，欢迎广大读者和同行批评指正。无线传感器网络正处在飞速发展的阶段，因此，在吸取大家意见和建议的基础上，不断修改和完善书中有关内容，为推动无线传感器网络应用领域的发展与进步尽微薄之力。

为充分展现本书编写特色，帮助读者深刻理解本书编写意图与内涵，进一步提高对本书教学的使用效率，我们建立本书使用指导联络方式，欢迎读者将图书使用过程中的问题与各种探讨、建议反馈给我们，本书编者将竭诚为您服务。我们的联系方式是 E-mail: china_54@tom.com。

编者
2006 年 10 月

目 录

第 1 章 无线传感器网络概述	(1)
1.1 无线传感器网络简介	(1)
1.1.1 无线传感器网络的特点	(1)
1.1.2 无线传感器网络系统及协议体系结构	(3)
1.1.3 无线传感器网络研究发展现状	(4)
1.2 无线传感器网络通信技术	(5)
1.2.1 无线广域网 (WWAN)	(5)
1.2.2 无线城域网 (WMAN)	(9)
1.2.3 无线局域网 (WLAN)	(10)
1.2.4 无线个域网 (WPAN)	(13)
1.2.5 低速率无线个域网 (LR-WPAN)	(18)
1.3 无线传感器网络的应用	(21)
1.3.1 工业监控	(21)
1.3.2 家庭及办公自动化	(22)
1.3.3 医疗及护理	(23)
1.3.4 农业及生物环境保护	(23)
1.3.5 跟踪及物流管理	(24)
1.3.6 建筑及土木工程	(25)
1.3.7 安全/公安/军事	(26)
1.3.8 其他	(26)
思考题	(27)
参考文献	(27)
第 2 章 无线传感器网络结构、覆盖与连接	(30)
2.1 无线传感器网络拓扑结构	(30)
2.1.1 平面网络结构	(31)
2.1.2 分级网络结构	(31)
2.1.3 混合网络结构	(32)
2.1.4 Mesh 网络结构	(33)
2.2 无线传感器网络覆盖问题	(35)
2.2.1 无线传感器网络覆盖理论基础	(35)
2.2.2 无线传感器网络覆盖的计算	(37)

2.3	无线传感器网络连接可靠性问题	(40)
2.3.1	基于概率和图论的连接可靠性	(43)
2.3.2	基于扩散理论的连接可靠性	(44)
	思考题	(45)
	参考文献	(45)
第3章	无线传感器网络关键技术	(49)
3.1	无线传感器网络 MAC 协议	(49)
3.1.1	基于竞争的 MAC 协议	(50)
3.1.2	基于时分复用的无竞争 MAC 协议	(60)
3.1.3	其他类型的 MAC 协议	(63)
3.2	无线传感器网络路由协议	(65)
3.2.1	路由协议分类	(67)
3.2.2	基于多径的能量感知路由	(68)
3.2.3	基于查询路由	(70)
3.2.4	地理位置路由	(74)
3.2.5	可靠路由协议	(83)
3.2.6	基于协商的路由	(87)
3.2.7	基于服务质量 (QoS) 的路由	(88)
3.2.8	路由协议和算法的未来研究方向	(92)
3.3	无线传感器网络能量管理机制	(93)
3.3.1	无线传感器网络电源节能机制	(94)
3.3.2	无线传感器网络能效通信协议设计	(95)
3.4	无线传感器网络 QoS 保证技术	(96)
3.5	无线传感器网络数据融合技术	(98)
3.6	无线传感器网络安全机制	(102)
3.7	无线传感器网络定位技术	(104)
3.8	无线传感器网络同步管理机制	(107)
	思考题	(110)
	参考文献	(110)
第4章	无线传感器网络系统优化设计理论方法	(117)
4.1	无线传感器网络系统优化设计理论方法	(117)
4.1.1	分层设计方法	(117)
4.1.2	跨层设计方法	(119)
4.2	无线传感器网络跨层设计背景	(121)
4.2.1	传统的网络协议 OSI 参考模型	(121)
4.2.2	跨层设计的必要性	(121)

4.3	无线传感器网络跨层设计主要技术	(122)
4.3.1	基于最优代理的跨层设计和优化技术	(123)
4.3.2	基于能效(或网络寿命)管理的跨层设计技术	(124)
4.3.3	基于 QoS 保证的跨层设计技术	(125)
4.3.4	当前跨层设计技术面临的挑战	(126)
	思考题	(126)
	参考文献	(127)
第 5 章	无线传感器网络设计基础	(128)
5.1	无线传感器网络硬件平台	(128)
5.1.1	无线传感器网络硬件结构及分类	(128)
5.1.2	无线传感器网络硬件平台	(130)
5.1.3	无线传感器网络硬件平台选择及设计	(137)
5.2	无线传感器网络操作系统	(144)
5.2.1	操作系统使用	(145)
5.2.2	传统的嵌入式操作系统	(146)
5.2.3	针对无线传感器网络的操作系统	(149)
5.2.4	操作系统的移植	(151)
5.3	无线传感器网络常用的通信协议	(155)
5.3.1	自定义通信协议	(156)
5.3.2	ZigBee 协议栈	(157)
5.4	无线传感器网络后台管理软件	(165)
5.4.1	Mote-View	(166)
5.4.2	TinyViz	(168)
5.4.3	EmStar	(169)
5.4.4	SNA	(170)
5.4.5	SpyGlass	(171)
5.4.6	SNAMP	(173)
	思考题	(174)
	参考文献	(174)
第 6 章	无线传感器网络系统仿真与测试	(177)
6.1	无线传感器网络工程系统软件仿真	(177)
6.1.1	无线传感器网络仿真特点	(177)
6.1.2	通用网络仿真平台	(178)
6.1.3	针对无线传感器网络的仿真平台	(183)
6.1.4	仿真平台的选择及设计	(193)
6.2	无线传感器网络工程测试床	(194)

6.2.1	MoteLab	(195)
6.2.2	GNOMES	(196)
6.2.3	Kansei	(197)
6.2.4	Mirage	(199)
6.2.5	IBM WSN Testbed	(200)
6.3	无线传感器网络工程应用原型开发范例	(201)
6.3.1	WWMS 背景	(202)
6.3.2	WWMS 系统分析	(202)
6.3.3	WWMS 系统设计及实现	(204)
6.3.4	WWMS 系统整体测试	(219)
	思考题	(222)
	参考文献	(222)
第 7 章	无线传感器网络应用	(226)
7.1	工业监控应用方案	(226)
7.1.1	工业过程监控系统应用方案	(226)
7.1.2	旋转机械监测与故障诊断系统应用方案	(228)
7.1.3	某芯片制造厂的设备监控系统应用方案	(229)
7.2	农业及生物环境保护应用方案	(230)
7.2.1	葡萄园环境监测系统应用方案	(230)
7.2.2	温室环境应用方案	(232)
7.2.3	大鸭岛生物环境监测系统应用方案	(233)
7.3	家庭及办公自动化应用方案	(235)
7.3.1	家居智能化网络应用方案	(235)
7.3.2	Digital Sun 公司自动洒水系统应用方案	(236)
7.4	医疗及护理应用方案	(238)
7.4.1	某公司研发的远程医疗监控系统应用方案	(238)
7.4.2	英特尔家庭护理方案	(240)
7.5	跟踪及物流管理应用方案	(241)
7.5.1	物流管理跟踪监控系统应用方案	(241)
7.5.2	渔船中温度监测系统应用方案	(243)
7.6	建筑及土木工程应用方案	(244)
7.6.1	建筑物风险监测系统应用方案	(244)
7.6.2	Senera 公司的桥梁安全监测系统应用方案	(246)
7.7	安全/公安/军事应用方案	(247)
7.7.1	Sensicast Systems 公司展览会场的保安系统应用方案	(247)
7.7.2	美国军方枪声定位系统应用方案	(248)
7.7.3	委内瑞拉安第斯山脉地区山洪预警系统应用方案	(250)

7.8 其他应用方案（高速公路交通监控系统）	(251)
7.9 各方案设计中存在的共同问题与解决	(253)
思考题	(254)
参考文献	(254)
第8章 无线传感器网络技术相关标准及发展趋势	(257)
8.1 IEEE 1451.X 标准	(257)
8.1.1 IEEE 1451 标准族介绍	(257)
8.1.2 IEEE 1451.1 标准	(258)
8.1.3 IEEE 1451.2 标准	(259)
8.1.4 IEEE 1451.3 标准	(260)
8.1.5 IEEE 1451.4 标准	(261)
8.1.6 IEEE 1451.5 标准提案	(262)
8.1.7 IEEE 1451 的发展趋势	(263)
8.2 IEEE 802.15.4	(264)
8.2.1 IEEE 802.15.4 简介	(264)
8.2.2 物理层	(264)
8.2.3 介质访问层	(266)
8.2.4 IEEE 802.15.4LR-WPAN	(267)
8.2.5 IEEE 802.15.4 及相关标准提案的发展趋势	(268)
8.3 ZigBee	(269)
8.3.1 ZigBee 协议	(269)
8.3.2 网络层	(270)
8.3.3 应用层	(273)
8.3.4 ZigBee 发展趋势	(275)
8.4 蓝牙 (Bluetooth)	(275)
8.4.1 蓝牙协议栈简介	(275)
8.4.2 蓝牙协议栈分析	(276)
8.4.3 蓝牙技术的发展趋势	(286)
8.5 UWB	(286)
8.5.1 UWB 技术概括	(286)
8.5.2 UWB 主流技术	(287)
8.5.3 UWB 的发展趋势	(288)
思考题	(289)
参考文献	(289)

第 1 章 无线传感器网络概述

知 识 点

- 了解无线传感器网络及相关知识
- 了解无线传感器网络相关通信技术
- 了解无线传感器网络的主要应用

本 章 导 读

本章主要概括地介绍了无线传感器网络的相关知识、无线传感器网络的相关通信技术及无线传感器网络的主要应用。通过本章的学习可以对无线传感器网络在通信技术和应用上有一个大概的了解。本章内容包括学习目的、什么是无线传感器网络、无线传感器网络的特点、通信技术及其应用。

1.1 无线传感器网络简介

无线传感器网络 (Wireless Sensor Network, WSN) 是一种新兴的科学技术网络, 最早的研究来源于美国军方。什么是无线传感器网络呢? 无线传感器网络是由大量具有特定功能的传感器节点通过自组织的无线通信方式, 相互传递信息, 协同地完成特定功能的智能专用网络^[1]。它综合了传感器技术、嵌入式计算技术、通信技术、分布式信息处理技术、微电子制造技术和软件编程技术等, 可以实时监测、感知和采集网络所监控区域内的各种环境或监测对象的信息, 并对收集到的信息进行处理后传送给终端用户。无线传感器网络在工业、农业、交通、军事、安全、医疗、空间探测, 以及家庭和办公环境等众多领域都有着广泛的应用, 其研究、开发和应用关系到国家安全、经济发展等许多重要方面。因无线传感器网络广阔的应用前景和巨大的应用价值, 近年来在国际上引起了广泛的重视, 并投入了大量资金。例如, 美国自然科学基金委员会在 2003 年就制订了无线传感器网络研究计划, 并投资 3 400 万美元用于支持无线传感器网络方面的基础研究。国际上各机构组织对无线传感器网络技术及相关研究的高度重视, 也大大促进了无线传感器网络的发展, 使无线传感器网络在许多应用领域都开始发挥着其独特的作用。

1.1.1 无线传感器网络的特点

无线传感器网络是一种“智能”网络, 那么与传统网络相比有什么独特之处呢? 而且正是由于这些特点, 使得无线传感器网络具有其自身优势的同时也存在很多需要解决的问题。



题, 这不论是对现代研究者来说, 还是对无线传感器网络在实际中的应用来说, 都具有很大的挑战性。无线传感器网络的主要特点有^[2]以下几点。

(1) 传感器节点数目大, 密度高, 采用空间位置寻址

在一个无线传感器网络中, 为了保证网络的可用性和生存能力, 可能有成千上万的节点, 从而其节点的密度高。正由于传感器节点数目大, 而且网络中一般不支持任意两个节点之间的点对点通信, 以及每个节点不存在唯一的标识, 因而在进行数据的传输中采用空间位置寻址。

(2) 传感器节点的能量、计算能力和存储容量有限

随着传感器节点的微型化, 在设计中大部分节点的能量靠电池提供, 其能量有限, 而且由于条件限制, 难以在使用过程中给节点更换电池, 所以传感器节点的能量限制是整个无线传感器网络设计的瓶颈, 它直接决定了网络的工作寿命; 另一方面, 传感器节点的计算能力和存储能力都较低, 使得其不能进行复杂的计算和数据存储。因而对于无线传感器网络的研究者们提出了挑战, 它们必须设计简单有效的路由协议等, 来适用于无线传感器网络。

(3) 无线传感器网络的拓扑结构易变化, 具有自组织能力

由于无线传感器网络中节点节能的需要, 传感器节点可以在工作和睡眠状态之间切换, 传感器节点随时可能由于各种原因发生故障而失效, 或者添加新的传感器节点到网络中, 这些情况的发生都使得无线传感器网络的拓扑结构在使用中很容易发生变化。此外, 如果节点具备移动能力, 也必定会带来网络的拓扑变化。基于网络的拓扑结构易变化, 无线传感器网络具有自组织、自配置的能力。

(4) 传感器节点具有数据融合能力

在无线传感器网络中, 由于传感器节点数目大, 很多节点会采集到具有相同类型的数据, 因而, 通常要求其中的一些节点具有数据融合能力, 其能对来自多个传感器节点采集的数据进行融合, 再送给信息处理中心。数据融合可以减少冗余数据, 从而可以减少在传送数据过程中的能量消耗, 延长网络的寿命。

跟无线 Mesh 网络相比, 无线传感器网络的业务量较小, 无线 Mesh 网络业务量较大, 主要是 Internet 业务 (包括多媒体业务); 无线传感器网络移动性较强, 因而能源问题是无线传感器网络的主要问题, 而无线 Mesh 网络是固定的, 即使移动其移动性也很小, 所以可以直接由电网供电, 故其节点能量不受限制。

无线传感器网络是无线 Ad-hoc 网络的一种典型应用, 虽然它具有无线自组织特征, 但与传统的无线自组织 (Ad-hoc) 网络相比, 又有一些不同之处, 它们之间的主要区别^{[3][4]}有以下几点。

- 在网络规模方面, 无线传感器网络包含的节点数量比 Ad-hoc 网络高几个数量级。
- 在分布密度方面, 无线传感器网络节点的分布密度很大。
- 由于能量限制和环境因素, 无线传感器网络节点易损坏出故障。
- 由于节点的移动和损坏, 无线传感器网络的拓扑结构频繁变化。
- 在通信方式方面, 无线传感器网络节点主要使用广播通信, 而 Ad-hoc 节点采用点对点通信。

- 无线传感器网络节点的能量、计算能力和存储能力受限。
- 由于无线传感器网络节点数量的原因，无线传感器网络节点没有统一标识。
- 无线传感器网络以数据为中心。

1.1.2 无线传感器网络系统及协议体系结构

通常情况下，无线传感器网络系统结构如图 1-1 所示^[5]。具有射频功能的传感器节点分布于无线传感器网络的各个部分，其负责对数据的感知和采集，并且通过无线传感器网络通信技术将数据发送至汇聚节点（网关或者基站）。汇聚节点与监控或管理中心通过公共网络等（如 Internet 网络/卫星通信网等）进行通信，从而用户对收集到的数据进行处理分析，以便做判断或者决策。

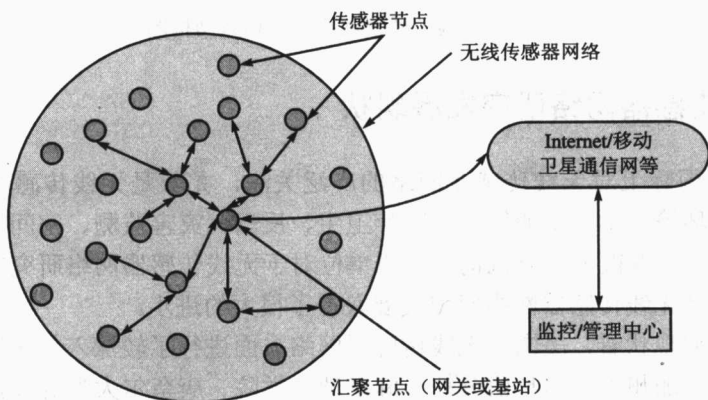
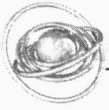


图 1-1 一个典型的无线传感器网络系统结构

与其他网络（如 Internet 网络）一样，无线传感器网络的分层网络通信协议包括物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用层^{[1][52]}，它的协议体系结构如图 1-2 所示。物理层负责对收集到的数据进行抽样量化，以及信号的调制、发送与接收，也就是进行比特流的传输；数据链路层主要负责数据成帧、帧检测、媒质接入控制，以及差错控制来降低节点间的传输冲突；网络层主要完成数据的路由转发，实现传感器与传感器、传感器与信息接收中心之间的通信；如果信息只是在无线传感器网络内部传递，传输层可以不需要，但是从实际应用来看，无线传感器网络需要和外部的网络进行通信来传递数据，这时传输层提供无线传感器网络内部以数据为基础的寻址方式变换为外部网络的寻址方式，也就是完成数据格式的转换功能；在应用层，根据用户的不同需要采用不同的应用软件，就可以实现无线传感器网络专门的应用目的。与蜂窝网、无线局域网等其他无线通信网络相比，无线传感器网络有上述显著特点。根据其特性并结合实际应用，无线传感器网络需要采用各种灵活的解决方案。比如，在物理层，可以采用低阶调制技术、超宽带（UWB）无线通信技术、无线射频识别（RFID）技术等；在媒质访问控制（MAC）子层可以采用分布式接入控制算法、公平的资源分配算法等；在网络层，针对不同的应用需要，可采用各种节省能量的分布式路由算法和协议，以及数据融合的算法^[6]。从图 1-2 可以看出，在无线传感



器网络协议体系结构中定义了跨层管理技术和应用支持技术,比如能量管理、拓扑管理等,在后面的章节中,将对这些方面的内容展开介绍。

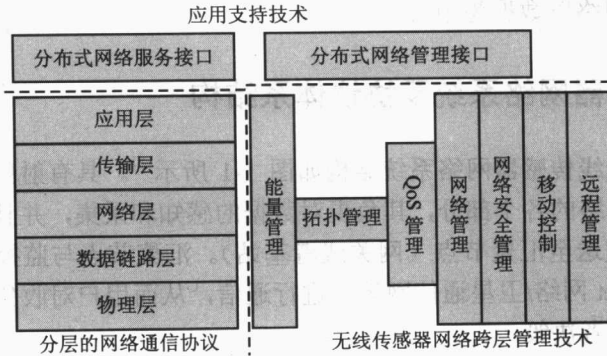


图 1-2 无线传感器网络协议体系结构图

1.1.3 无线传感器网络研究发展现状

随着近年来国际上对无线传感器网络的广泛关注,尤其是无线传感器网络在国防军事、国家安全、环境科学、交通管理、医疗卫生、反恐、灾害监测、空间探索等领域的巨大潜在应用价值,使得很多政府机构和科研单位对于无线传感器网络研究方面的投入也在不断加大,从而使无线传感器网络研究发展取得了很大的进步。

从国外的研究现状看,美国在无线传感器网络方面进行了较深入的研究。美国的加州大学伯克利分校、加州大学洛杉矶分校、麻省理工学院、康奈尔大学等高校已经进行了无线传感器网络基础理论和关键技术的研究。加州大学伯克利分校提出了基于相关性的数据编码模式、确定无线传感器网络中节点位置的分布式算法及重构传感器节点位置的方法等,并研制了一个基于无线传感器网络的操作系统 Tiny OS。加州大学洛杉矶分校开发了一个无线传感器网络环境模拟系统,用于研究无线传感器网络中出现的问题。南加州大学提出了部署移动传感器节点的方法、节省能量的计算聚集的树结构算法等。麻省理工学院已经开始研究用于超低能耗无线传感器网络的方法和技术。针对无线传感器网络通信协议的特殊性,康奈尔大学等高校开展了相关研究,先后提出了基于谈判类协议、定向发布类协议、能量敏感类协议、多路径类协议、传播路由类协议、介质存取控制类协议、基于集群的协议、以数据为中心的路由算法等新的通信协议^[7-9]。英国、日本、意大利等国家的一些高校和研究机构也纷纷开展了该领域的研究工作,且取得了一些初步的研究成果。

从国内的研究来看,国内有关无线传感器网络的研究才刚刚起步,清华大学、西南交通大学、黑龙江大学、中科院传感器技术国家重点实验室等单位,近几年才开始无线传感器网络的相关研究。从目前国内公开发表的学术文章来看,主要是一些从事计算机网络及传感器技术研究的专业人士,从无线传感器网络体系结构等知识点角度对无线传感器网络技术进行分析和综述。在介绍无线传感器网络相关基础知识和技术的基础上,对其应用价值进行分析,并阐述了无线传感器网络技术研究的一些热点问题。实际上无线传感器网络是一个多学科交叉的研究领域,其研究需要仪器科学、计算机科学及通信科学等技术的结

合。随着国内研究的进一步深入与拓展,相信会促进无线传感器网络的发展。

无线传感器网络在应用和学术方面也有很大的发展。在应用方面,主要在工业控制、环境生态监测、民用交通监控、军事领域等都有了很好的应用。比如在环境生态监测方面,利用无线传感器网络对大鸭岛的生态环境进行监测。位于缅因州海岸的大鸭岛上的洞穴中生活着海燕,由于环境恶劣,加上海燕十分机警,研究人员无法采用通常的跟踪观察方法来了解其栖息环境。在2002年,英特尔研究中心伯克利实验室研究人员在大鸭岛上布置了32个基于Tiny OS的传感器节点,并将它们接入互联网,从而读出岛上的气候,评价海燕筑巢的环境条件。在2003年,它们换用150个安有D型微型电池的二代基于Tiny OS的传感器节点组成更大规模的无线传感器网络,来评估这些海燕鸟巢内外的温湿条件,并应用Tiny DB对采集的数据进行实时处理。该方案的应用,使世界各国研究人员实现无入侵式和无破坏式地对敏感野生动物及其栖居地进行监测成为可能。在学术方面,目前国内外的研究重点是无线传感器网络的通信协议、无线传感器网络管理、无线传感器网络数据管理和应用支撑服务等。无线传感器网络的通信协议方面研究主要是数据链路层中的拓扑生成、信道接入方式、网络层协议中的路由协议、传输层协议中的逐跳流控、速率限制。其他通信协议主要有基于协商类路由协议、定向扩散类路由协议、多路径类路由协议和MAC协议等。无线传感器网络管理方面主要是能量管理和安全管理,比如在安全管理中会采用扩频通信、传感器节点接入认证/鉴权、数据水印和数据加密等技术,从而提高了无线传感器网络的安全性。无线传感器网络数据管理主要是数据查询管理。加州大学伯克利分校研究了传感器网络的数据查询技术,提出了可实现动态调整连续数据查询的处理方法和管理无线传感器网络上并发数据查询的方法,应用数据库技术实现了无线传感器网络上的数据汇聚功能,提出了在低能源、分布式无线传感器网络环境下,实现汇聚功能的方法,并研制了一个感知数据库系统Tiny DB^[7-9]。

1.2 无线传感器网络通信技术

在无线传感器网络中,可以根据不同的需要来使用不同的通信技术,根据国际上所采用的通信技术种类可将无线传感器网络划分为无线广域网(WWAN)、无线城域网(WMAN)、无线局域网(WLAN)、无线个域网(WPAN)、低速率无线个域网(LR-WPAN)。本节的主要内容是对上面提到的各类网络各自常见和常用的通信技术进行简单介绍。

1.2.1 无线广域网(WWAN)

无线广域网WWAN(Wireless Wide Area Networks)主要是为了满足超出一个城市范围的信息交流和网际接入需求,让用户可以在和遥远地方的公众或私人网络建立无线连接。在无线广域网的通信中一般要用到GSM、GPRS、GPS、CDMA和3G等通信技术。

1. GSM

GSM是Global System for Mobile Communications的缩写,意为全球移动通信系统,



是世界上应用的主要蜂窝系统之一。20 世纪 80 年代, GSM 开始兴起于欧洲, 1991 年在芬兰正式投入使用, 到 1997 年底, 已经在 100 多个国家实施运营。其发展之迅速, 从实际意义上讲已成为欧洲和亚洲的标准。到 2004 年, 在全世界的 183 个国家已经建立了 540 多个 GSM 通信网络^[10]。GSM 是基于窄带时分多址 (TDMA) 制式, 允许在一个射频同时进行 8 组通话。GSM 系统包括 GSM900MHz、GSM1800MHz 及 GSM1900MHz 等几个频段。由于 GSM 系统的容量是有限的, 在网络用户过载时, 就只能通过构建更多的网络设施来满足用户需求。但是 GSM 在其他方面性能优异, 其除了提供标准化的列表和信令系统外, 还提供了一些智能的业务, 比如全球漫游功能等。GSM 系统具有通话质量高, 通话死角少, 稳定性强, 不易受外界干扰, 采用 SIM 卡其防盗能力佳, 网络容量大, 号码资源丰富, 信息灵敏, GSM 设备功耗低等重要特点, 因而直到现在, GSM 在移动通信市场中仍然占有很大份额。

2. GPRS

GPRS 是通用分组无线业务 (General Packet Radio System) 的缩写, 是欧洲电信协会 GSM 系统中有关分组数据所规定的标准。GPRS 是在现有的 GSM 网络上开通的一种新的分组数据传输技术, 它和 GSM 一样采用 TDMA 方式传输语音, 但是采用分组的方式传输数据。GPRS 提供端到端的、广域的无线 IP 连接及高达 115.2kbps 的空中接口传输速率。

GPRS 采用了分组交换技术, 可实现若干移动用户同时共享一个无线信道或一个移动用户可使用多个无线信道。当用户进行数据传输时则占用信道, 无数据传输时则把信道资源让出来, 这样不仅极大地提高了无线频带资源的利用率, 同时也提供了灵活的差错控制和流量控制, 正因如此, GPRS 是按传输的数据量来收费的, 即按流量收费, 而不是按时间来计费的。

GPRS 采用信道捆绑和增强数据速率改进来实现高速接入, 它可以实现在一个载频或 8 个信道中实现捆绑, 每个信道的传输速率为 14.4kbps, 在这种情况下, 8 个信道同时进行数据传输时, GPRS 方式最高速率可达 115.2kbps。如果 GPRS 通过数据速率改进, 将每个信道的速率提高到 48kbps, 那么其速率高达 384kbps, 对于这样的高速率, 可以完成更多的业务, 比如网页浏览、收/发电子邮件等。

GPRS 还具有数据传输与语音传输可同时进行并自如切换等特点。总之, 相对于原来 GSM 以拨号接入的电路数据传送方式, GPRS 是分组交换技术, 具有实时在线、高速传输、流量计费和自如切换等优点, 它能全面提升移动数据通信服务^[11]。因而, GPRS 技术广泛地应用于多媒体、交通工具的定位、电子商务、智能数据和语音、基于网络的多用户游戏等方面。

3. CDMA

CDMA 是 Code Division Multiple Access 的缩写, 全称为码分多址, 它是在数字技术的分支——扩频通信技术上发展起来的一种崭新而成熟的无线通信技术。CDMA 是最早由美国高通公司研制出来用于商业的。CDMA 研制出来时, 正值 GSM 统领移动通信市场的时候, 因此, 几乎没有一个移动通信运营商敢使用它。最后是在 20 世纪 90 年代初, 韩国政