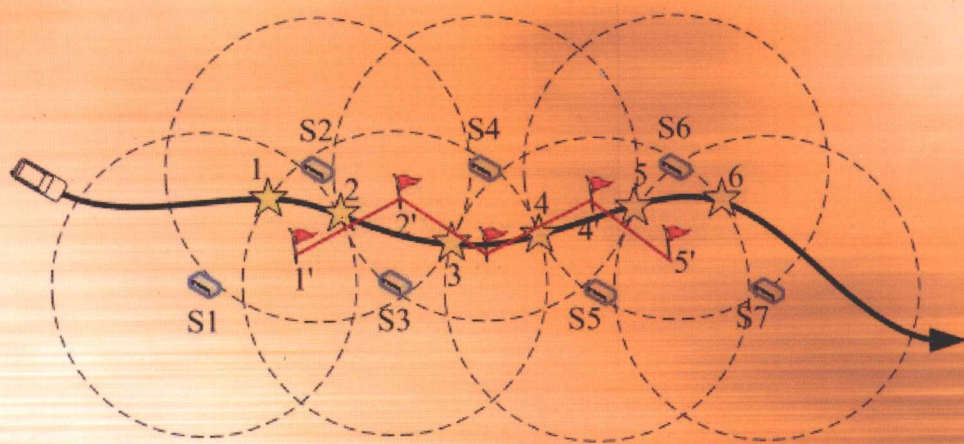




高等院校电子信息与电气学科特色教材

无线传感器网络简明教程 (第2版)

崔逊学 左从菊 编著



清华大学出版社





高等院校电子信息与电气学科特色教材

无线传感器网络简明教程 (第2版)

崔逊学 左从菊 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书根据网络工程本科专业的发展方向和教学需要,结合无线网络和传感器技术的最新发展及其应用现状编写而成。本书主要介绍无线传感器网络的基本概念,常见的微型传感器,传感器网络的通信技术、支撑技术、应用开发基础,传感器网络协议的技术标准,无线传感器网络实验。另外提供传感器网络应用方面的实例。

本书的特色在于内容简单明了、浅显易懂,侧重基本概念和基础技术,强调基本原理,力求概念准确、图文并茂。本书适宜作为普通高等院校本科生学习的教材,或者作为初学者的入门辅导书籍。

本书主要针对以下阅读群体:①开设无线传感器网络课程的本科生,涉及的专业包括计算机、自动化、探测与控制类专业、精密仪器专业等;②普通高校的硕士生、博士生作为无线传感器网络的入门辅导书;③工程技术开发人员作为参考书。

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

无线传感器网络简明教程/崔逊学,左从菊编著.--2版.--北京:清华大学出版社,2015
高等院校电子信息与电气学科特色教材

ISBN 978-7-302-38251-5

I. ①无… II. ①崔… ②左… III. ①无线电通信—传感器—高等学校—教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 235123 号

责任编辑:王一玲

封面设计:傅瑞学

责任校对:时翠兰

责任印制:王静怡

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 刷 者:北京四季青印刷厂

装 订 者:三河市吉祥印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:14

字 数:338千字

版 次:2009年7月第1版

2015年6月第2版

印 次:2015年6月第1次印刷

印 数:1~2500

定 价:35.00元

产品编号:060142-01

出版说明

随着我国高等教育逐步实现大众化以及产业结构的进一步调整,社会对人才的需求出现了层次化和多样化的变化,这反映到高等学校的定位与教学要求中,必然带来教学内容的差异化和教学方式的多样性。而电子信息与电气学科作为当今发展最快的学科之一,突出办学特色,培养有竞争力、有适应性的人才,是很多高等院校的迫切任务。高等教育如何不断适应现代电子信息与电气技术的发展,培养合格的电子信息与电气学科人才,已成为教育改革中的热点问题之一。

目前我国电类学科高等教育的教学中仍然存在很多问题,例如在课程设置和教学实践中,学科分立,缺乏和谐与连通;局部知识过深、过细、过难,缺乏整体性、前沿性和发展性;教学内容与学生的背景知识相比显得过于陈旧;教学与实践环节脱节,知识型教学多于研究型教学,所培养的电子信息与电气学科人才还不能很好地满足社会的需求等。为了适应 21 世纪人才培养的需要,很多高校在电子信息与电气学科专业建设和课程建设方面都做了大量工作,包括国家级、省级、校级精品课的建设等,充分体现了各个高校重点专业的特色,也同时体现了地域差异对人才培养所产生的影响,从而形成各校自身的特色。许多一线教师在多年教学与科研方面已经积累了大量的经验,将他们的成果转化为教材的形式,向全国其他院校推广,对于深化我国高等学校的教学改革是一件非常有意义的事。

为了配合全国高校培育有特色的精品课程和教材,清华大学出版社在大量调查研究的基础之上,在教育部相关教学指导委员会的指导下,决定规划、出版一套“高等院校电子信息与电气学科特色教材”,系列教材将涵盖通信工程、电子信息工程、电子科学与技术、自动化、电气工程、光电信息工程、微电子学、信息安全等电子信息与电气学科,包括基础课程、专业主干课程、专业课程、实验实践类课程等多个方面。本套教材注重立体化配套,除主教材之外,还将配套教师用 CAI 课件、习题及习题解答、实验指导等辅助教学资源。

由于各地区、各学校的办学特色、培养目标和教学要求均有不同,所以对特色教材的理解也不尽一致,我们恳切希望大家在使用本套教材的过程中,及时给我们提出批评和改进意见,以便我们做好教材的修订改版工作,使其日趋完善。相信经过大家的共同努力,这套教材一定能成

为特色鲜明、质量上乘的优秀教材,同时,我们也欢迎有丰富教学和创新实践经验的优秀教师能够加入到本丛书的编写工作中来!

清华大学出版社

高等院校电子信息与电气学科特色教材编委会

联系人:王一玲 wangyl@tup.tsinghua.edu.cn

第2版前言

本书第1版于2009年出版以来,已先后印刷7次。承蒙广大读者厚爱,在多所大学里被用作本科生教材或参考书。最近几年来,无线传感器网络在国内外得到了深入研究和广泛应用。出版社和作者都有修订出版的愿望,以使本书臻于完善,这也符合目前传感器网络的发展实际和社会需求。

笔者曾在课堂教学中讲授过本书,并从事无线传感器网络的理论研究和工程实践,得到国家自然科学基金项目(No. 61170252)的支持和资助。经验表明,学生在有限的学时内要做到深刻掌握无线传感器网络的理论和工程设计方法是比较困难的,但如果能掌握其基本原理,熟悉应用开发的基本方法,并进行一些实验操作,那么通过本课的学习就能让学生有所收获,为今后工作时能学以致用积累基本功。

本书的电子教学课件(PPT幻灯片文档)可与清华大学出版社联系下载,或者联系本书作者左从菊(congju_zuo@126.com),并由她负责解答书籍使用中的问题。本书课件仅供课堂教学使用,未经允许不得另作其他用途。

作 者

2015年5月

第1版前言

无线传感器网络是近几年来国内外研究和应用非常热门的领域,在国民经济建设和国防军事上具有十分重要的应用价值。综观计算机网络技术的发展史,应用需求始终是推动和左右全球网络技术进步的动力与源泉。早在1999年,商业周刊就将传感器网络列为21世纪最具影响的21项技术之一。2002年美国橡树岭国家实验室提出“网络就是传感器”的论断。由于无线传感器网络在国际上被认为是继互联网之后的第二大网络,在2003年美国《技术评论》杂志评出对人类未来生活产生深远影响的十大新兴技术,传感器网络被列为第一。

在现代意义上的无线传感器网络研究及其应用方面,我国与发达国家几乎同步启动,它已经成为我国信息领域位居世界前列的少数方向之一。我国发布的《国家中长期科学与技术发展规划纲要(2006—2020年)》中,为信息技术确定了三个前沿方向,其中有两项就与传感器网络直接相关,这就是智能感知和自组网技术。目前传感器网络的发展几乎呈爆炸式的趋势。

本科教育是高等教育的主体和基础,抓好本科教学是提高整个高等教育质量的重点和关键。因此,给本科生介绍和学习传感器网络的基本内容和基础技术具有非常重要的意义。

根据中国人民解放军炮兵学院的学科规划,以及军队院校本科专业发展的内容体系,我们较早地在本科学员中开设了“无线传感器网络及军事应用”的课程。我们总结本课程的前两期教学经验,结合当前传感器网络工程开发所需要的知识点,确定了本书的题材与内容。

无线传感器网络是军用网络工程专业的一门重要课程,本书主要介绍无线传感器网络的基本概念、网络结构、网络协议和算法、设计基础和测试技术等内容,结合传感器探测功能介绍一些常用的传感器类型,阐述传感器网络的开发、调试与应用,以及相关的传感器网络系统建立和调试的实验等内容,另外提供传感器网络应用方面的实例。

本教材依据网络工程专业教学大纲而编写,课时数约为50学时左右。通过本课程的学习,主要使学生掌握传感器网络设计与开发的基本技术,为今后从事无线传感器网络系统和网络化探测设备的设计开发打下良好基础。

为了便于学习,本书在编写过程中尽量做到结合实际,着重介绍物理概念,以图文结合的方式来阐述问题,文字力求通俗易懂。为了适合教学需要,各章后面均附有习题,书后附有丰富的参考文献。

本书作者的工作得到了国家自然科学基金项目(No. 60773129)和安

徽省优秀青年科技基金项目(No. 08040106808)等的支持和资助,在此表示谢意!

感谢中国科学院电子学研究所方震博士为本书的撰写提供了素材。研究生刘慕、邢立军、胡成等人为本书的完成也做出了贡献。

本书编写过程中参考了大量文献和资料,恕不一一列举,在此对原作者深表谢意。另外,互联网是本书成文的另一个重要参考来源。由于网上许多资料无法找到出处,所以书中如有内容涉及相关人士的知识产权,请给予谅解并及时与我们联系。

感谢读者选择使用本书,欢迎您对本书内容提出批评和修改建议,我们将不胜感激。本书作者的电子邮件地址:cuixunxue@tom.com。

作者

2009年5月于合肥

目录

第1章 概述	1
1.1 引言	1
1.2 传感器网络的体系结构	3
1.2.1 传感器网络的应用系统架构	3
1.2.2 传感器网络结点的结构	6
1.2.3 网络体系结构	7
1.3 传感器网络的特征	11
1.3.1 与现有无线网络的区别	11
1.3.2 与现场总线的区别	11
1.3.3 传感器结点的限制条件	12
1.3.4 组网特点	14
1.4 传感器网络的应用领域	16
1.4.1 军事领域	16
1.4.2 工业领域	18
1.4.3 农业领域	18
1.4.4 智能交通领域	19
1.4.5 家庭与健康领域	20
1.4.6 环境保护领域	20
1.4.7 其他领域	21
1.5 传感器网络的发展历史	22
1.5.1 计算设备的演化历史	22
1.5.2 无线传感器网络的发展过程	22
1.5.3 我国的传感器网络发展情况	24
思考题	25
第2章 微型传感器的基本知识	26
2.1 传感器概述	26
2.1.1 传感器的定义和作用	26
2.1.2 传感器的组成	27
2.1.3 传感器的分类	28
2.2 常见传感器的类型介绍	28
2.2.1 能量控制型传感器	28
2.2.2 能量转换型传感器	29

2.2.3	光敏传感器	29
2.2.4	气、湿敏传感器	30
2.2.5	集成与智能传感器	30
2.3	传感器的一般特性和选型	31
2.3.1	传感器的一般特性	31
2.3.2	传感器选型的原则	34
2.4	微型传感器应用示例	35
2.4.1	磁阻传感器简介	35
2.4.2	磁阻传感器用于车辆探测	37
	思考题	45
第3章	传感器网络的通信与组网技术	46
3.1	物理层	46
3.1.1	物理层概述	46
3.1.2	传感器网络物理层的设计	50
3.2	MAC 协议	52
3.2.1	MAC 协议概述	52
3.2.2	IEEE 802.11 MAC 协议	53
3.2.3	典型 MAC 协议: S-MAC 协议	56
3.3	路由协议	59
3.3.1	路由协议概述	59
3.3.2	典型路由协议: 定向扩散路由	61
	思考题	62
第4章	传感器网络的支撑技术	64
4.1	时间同步机制	64
4.1.1	传感器网络的时间同步机制	64
4.1.2	TPSN 时间同步协议	66
4.1.3	时间同步的应用示例	68
4.2	定位技术	69
4.2.1	传感器网络结点定位问题	69
4.2.2	基于测距的定位技术	72
4.2.3	无须测距的定位技术	76
4.2.4	定位系统的典型应用	78
4.3	数据融合	79
4.3.1	多传感器数据融合概述	79
4.3.2	传感器网络中数据融合的作用	80
4.3.3	数据融合技术的分类	83
4.3.4	数据融合的主要方法	85

4.3.5	传感器网络应用层的数据融合示例	88
4.4	能量管理	90
4.4.1	能量管理的意义	90
4.4.2	传感器网络的电源节能方法	91
4.5	安全机制	94
4.5.1	传感器网络的安全问题	94
4.5.2	传感器网络的安全设计分析	97
4.5.3	传感器网络安全框架协议: SPINS	100
4.5.4	SPINS 协议的实现问题与系统性能	102
	思考题	105
第 5 章	传感器网络的应用开发基础	107
5.1	仿真平台和工程测试床	107
5.1.1	传感器网络的仿真技术概述	107
5.1.2	常用网络仿真软件平台	110
5.1.3	仿真平台的选择和设计	119
5.1.4	传感器网络工程测试床	120
5.2	网络结点的硬件开发	123
5.2.1	硬件开发概述	123
5.2.2	传感器结点的模块化设计	124
5.2.3	传感器结点的开发实例	131
5.3	操作系统和软件开发	138
5.3.1	网络结点操作系统	138
5.3.2	软件开发	148
5.3.3	后台管理软件	152
	思考题	156
第 6 章	传感器网络协议的技术标准	158
6.1	技术标准的意义	158
6.2	IEEE 1451 系列标准	159
6.3	IEEE 802.15.4 标准	163
6.3.1	IEEE 802.15.4 标准概述	163
6.3.2	物理层	164
6.3.3	MAC 子层	166
6.3.4	符合 IEEE 802.15.4 标准的传感器网络实例	168
6.4	ZigBee 协议标准	171
6.4.1	ZigBee 概述	171
6.4.2	网络层规范	174
6.4.3	ZigBee 网络系统的设计开发	175

6.4.4 符合 ZigBee 规范的传感器网络实例	176
思考题	178
第 7 章 传感器网络技术的军事应用	179
7.1 战场感知的网络架构	179
7.2 常见的地面战场微型传感器	181
7.2.1 微震动传感器	182
7.2.2 声响传感器	183
7.2.3 磁性传感器	183
7.2.4 红外传感器	184
7.2.5 压力传感器	184
7.2.6 超声波传感器	184
7.3 美军沙地直线传感器网络项目介绍	185
7.3.1 项目背景	185
7.3.2 目标探测的传感器选型	187
7.3.3 项目系统试验	188
思考题	191
第 8 章 无线传感器网络实验	192
8.1 实验背景和设计	192
8.2 实验内容和步骤	194
附录 A 英汉对照术语表	202
附录 B 传感器网络结点部署的概率特性	205
参考文献与网址	207

第1章

概 述

1.1 引 言

不同学科之间的交叉和渗透是当代科学发展的一个显著特征。一个学科获得的成果、形成的思维方式和思路等均可能为其他学科的发展提供借鉴；同时，现实世界中的一些挑战性的问题往往难以用单一学科的知识和技术加以解决，需要不同学科的交叉和综合。这种方式不但有益于具体科学和技术问题的解决，而且往往催生新的学科门类。无线传感器网络集成了传感器、微机电系统和网络通信三大技术，是当前国际上备受关注的、由多学科交叉的一个前沿热点领域。

随着通信技术、嵌入式计算技术与传感器技术的飞速发展和日益成熟，具有感知能力、计算能力和通信能力的微型传感器开始在世界范围内出现。由这些微型传感器构成的传感器网络引起了人们的极大关注。这种传感器网络综合了传感器技术、嵌入式计算技术、分布式信息处理技术和通信技术，能够通过协作实时监测、感知和采集网络分布区域内的各种环境或监测对象的信息，并对这些信息进行处理，获得详尽、准确的数据，传送给需要这些信息的用户。

传感器网络可以使人们在任何时间、任何地点和任何环境条件下，获取大量翔实、可靠的信息，真正实现“无处不在的计算”理念。这种网络系统可以广泛地应用于国防军事、国家安全、环境监测、交通管理、医疗卫生、制造业、反恐抗灾等领域。由于它经常采用无线方式实现网络通信，因而人们一般称其为无线传感器网络。

无线传感器网络是信息感知和采集的一场革命，将给人类的生产和生活带来深远影响。美国的《技术评论》将无线传感器网络列为未来新兴十大技术之首。无线传感器网络的广泛使用是一种必然趋势，将为人类社会带来极大的变革^{[1][2]}。

无线传感器网络已成为国际竞争的焦点和制高点，引起了学术界和工业界的广泛关注。美国自然科学基金委员会在2003年制订了传感器网络研究计划，投资3400万美元，支持相关基础理论的研究。美国国防部和各军事部门都对传感器网络给予了高度重视，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，把传感器网络作为一个重要研究领域，纷纷设立了一系列军事传感器网络研究项目。美国英特尔公司、微软公司等企业也开展了传感器网络方面的研究工作，竞相设立或启动相应的行动计划。日本、英国、意大利和巴

西等国家也对传感器网络表现出极大的兴趣,大量展开该领域的研究工作。

我国也十分重视无线传感器网络的研究。在“中国未来 20 年技术预见研究”提出的 157 个技术课题中,有 7 项直接涉及无线传感器网络。2006 年初发布的《国家中长期科学与技术发展规划纲要》,为信息技术确定了 3 个前沿方向,其中两项与无线传感器网络研究直接相关。国家自然科学基金委员会在该领域设立了多个重点项目和面上项目^[3]。

传感器网络作为一个全新的应用领域,在基础理论和工程技术两个层面向科技工作者提出了大量的挑战性研究课题。无线传感器网络已经成为一个十分重要和非常热烈的研究领域。近年来国内外开展了大量研究,取得了很多研究成果。我国科技工作者在无线传感器网络方面也取得了很好的成果,探索了无线传感器网络如何在我国人民的生活和国民经济建设中发挥作用,推动我国无线传感器网络的研究和工程应用,抢占国际新技术制高点,使我国在无线传感器研究领域进入世界先进行列^[4]。

从技术发展的角度来看,更小、更廉价的低功耗计算设备代表的“后 PC 时代”冲破了传统台式计算机和高性能服务器的设计模式;普遍的网络化带来的计算处理能力是难以估量的;微机电系统(Micro-Electro-Mechanism System, MEMS)的迅速发展奠定了设计和实现片上系统(System on Chip, SoC)的基础。以上三方面的高度集成孕育出了许多新的信息获取和处理模式,传感器网络就是一例。

最近几年来无线通信、集成电路、传感器和微机电系统等技术得到飞速发展,从而使得低成本、低功耗和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结点,通过无线电通信形成的一个自组织网络系统。

在通信方式上,虽然可以采用有线、无线、红外和光等多种形式,但一般认为短距离的无线低功率通信技术最适合传感器网络使用,为明确起见,一般称作无线传感器网络。

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,因而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。

从技术特征的方面来看,无线传感器网络是一种无中心结点的全分布系统。通过随机投放的方式,众多传感器结点被密集部署到监控区域。这些传感器结点集成了探测感知模块、数据处理模块和通信模块,它们通过无线信道相连,自组织地构成网络系统。

传感器结点借助于内置的多种传感器探测元器件,可以测量出所处周边环境中的热、红外、声呐、雷达和地震波信号,识别出诸如温度、湿度、噪声、光强度、压力、土壤成分、移动物体的大小、速度和方向等众多物理现象。传感器结点之间还可以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。传感器网络通过网关还可以连接到现有的网络基础设施(如因特网、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。

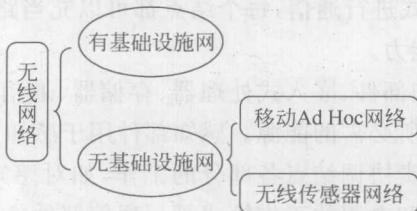
如果说因特网构成了逻辑上的信息世界,改变了人与人之间的沟通方式,那么,无线传感器网络就是将逻辑上的信息世界与客观上的物理世界融合在一起,将改变人类与自然界的交互方式。未来的人们将通过遍布四周的传感器网络直接感知客观世界,从而极大地扩展网络的功能和人类认识世界、改造世界的能力。

1.2 传感器网络的体系结构

1.2.1

传感器网络的应用系统架构

目前无线网络可分为两种(如图 1.1 所示):一种是有基础设施的网络,需要固定基站,例如人们使用的手机属于无线蜂窝网的终端设备,它就需要高大的天线和大功率基站来支持,基站就是最重要的基础设施;另外,使用无线网卡上网的无线局域网,由于采用了接入点这种固定设备,也属于有基础设施网。另一种是无基础设施网,又称为无线 Ad Hoc 网络,结点是分布式的,没有专门的固定基站。



无线 Ad Hoc 网络又可分为两类:一类是移动 Ad Hoc 网络,它的终端是快速移动的。一个典型的例子是美军 101 空降师装备的 Ad Hoc 网络通信设备,保证在远程空投到一个陌生地点之后,在高度机动的装备车辆上仍然能够实现各种通信业务,而无需借助外部设施的支援。另一类就是无线传感器网络,它的结点是静止的或者移动很慢。

在移动自组织网络(Mobile Ad Hoc Network, MANET)出现之初,它指的是一种小型无线局域网,这种局域网的结点之间不需要经过基站或其他管理控制设备就可以直接实现点对点的无线通信,而且当两个通信结点之间由于功率或其他原因导致无法实现链路直接连接时,网内其他结点可以帮助中继信号,以实现网络内各结点的相互通信。由于无线结点是在随时移动的,因而这种网络的拓扑结构也是动态变化的^[5]。

无线传感器网络的标准定义是这样的:

无线传感器网络是大量的静止或移动的传感器以自组织和多跳的方式构成的无线网络,目的是协作地探测、处理和传输网络覆盖区域内感知对象的监测信息,并报告给用户。它的英文是 Wireless Sensor Network,简称 WSN。

在这个定义中,传感器网络负责实现数据采集、处理和传输三种功能,而这正对应着现代信息技术的三大基础技术,即传感器技术、计算机技术和通信技术。它们分别构成了信息系统的“感官”、“大脑”和“神经”三个部分。因此说,无线传感器网络正是这三种技术的结合,可以构成一个独立的现代信息系统(如图 1.2 所示)。

另外,从上述定义可以看出,传感器、感知对象和用户是传感器网络的三个基本要素。无线网络是传感器之间、传感器与用户之间最常用的通信方式,用于在传感器与用户之间建立通信路径。协作式的感知、采集、处理和发布感知信息是传感器网络的基本功能。

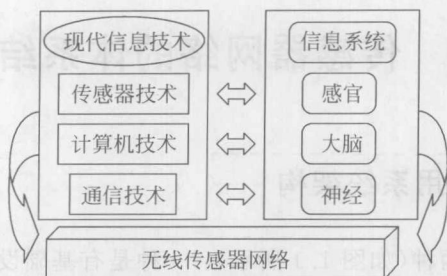


图 1.2 现代信息技术与无线传感器网络之间的关系

一组功能有限的传感器结点协作地完成大的感知任务,是传感器网络的重要特点。传感器网络中的部分或全部结点可以慢速移动,拓扑结构也会随着结点的移动而不断地动态变化。结点间以 Ad Hoc 方式进行通信,每个结点都可以充当路由器的角色,并且都具备动态搜索、定位和恢复连接的能力。

传感器结点由电源、感知部件、嵌入式处理器、存储器、通信部件和软件这几部分构成。电源为传感器提供正常工作所必需的能源。感知部件用于感知、获取外界的信息,并将其转换为数字信号。处理部件负责协调结点各部分的工作,如对感知部件获取的信息进行必要的处理、保存,控制感知部件和电源的工作模式等。通信部件负责与其他传感器或用户的通信。软件是为传感器提供必要的软件支持,如嵌入式操作系统、嵌入式数据库系统等。

传感器网络的用户是感知信息的接收者和使用者,可以是人也可以是计算机或其他设备。例如,军队指挥官可以是传感器网络的用户,一台由飞机携带的移动计算机也可以是传感器网络的用户。一个传感器网络可以有多个用户,一个用户也可以是多个传感器网络的使用者。用户可以主动地查询或收集传感器网络的感知信息,也可以被动地接收传感器网络发布的信息。用户对感知信息进行观察、分析、挖掘、制定决策,或对感知对象采取相应的行动。

感知对象是用户感兴趣的监测目标,也是传感器网络的目标对象,如坦克、军事人员、动物、有害气体等。感知对象一般通过表示物理现象、化学现象或其他现象的数字量来表征,如温度、湿度等。一个传感器网络可以感知网络分布区域内的多个对象,一个对象也可以被多个传感器网络所感知。

从用户的角度来看,无线传感器网络的宏观系统架构如图 1.3 所示,通常包括传感器结点(sensor node)、汇聚结点(sink node)和管理结点(manager node)。有时汇聚结点也称为网关结点或者信宿结点。

具有探测功能的大量传感器结点随机密布在整个观测区域,通过自组织的方式构成网络。传感器结点在对所探测到的信息进行初步处理之后,以多跳中继的方式传送给汇聚结点,然后经卫星、因特网或者移动通信网络等途径,到达最终用户所在的管理结点。终端用户也可以通过管理结点对传感器网络进行管理和配置,发布监测任务或者收集回传的数据。

从网络功能上看,每个传感器结点都具有信息采集和路由的双重功能,除了进行本地信息收集和数据处理外,还要存储、管理和融合其他结点转发过来的数据,同时与其他结点协作完成一些特定任务。

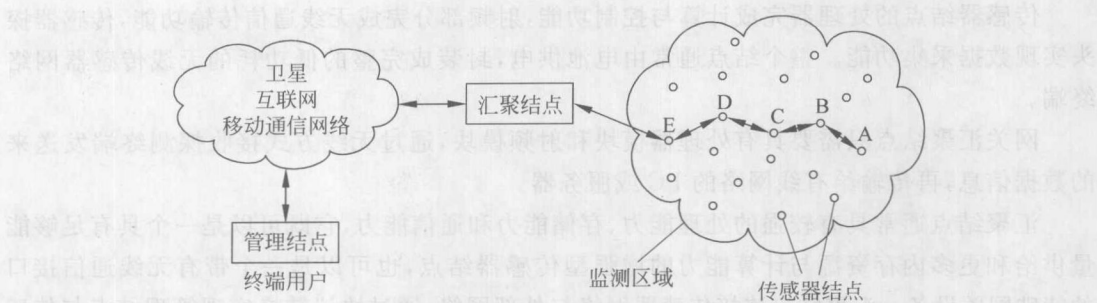


图 1.3 无线传感器网络的宏观系统架构

如果通信环境或者其他因素发生变化,导致传感器网络的某个或部分结点失效时,先前借助它们传输数据的其他结点则自动重新选择路由,保证在网络出现故障时能够实现自动愈合。

这种大量的传感器网络探测结点通常是由 6 个功能模块组成(如图 1.4 所示),即传感模块、计算模块、通信模块、存储模块、电源模块和嵌入式软件系统。

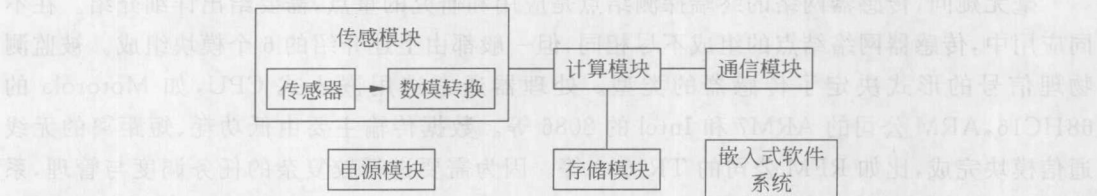


图 1.4 传感器网络结点的功能模块组成

传感模块负责探测目标的物理特征和现象,计算模块负责处理数据和系统管理,存储模块负责存放程序和数据,通信模块负责网络管理信息和所感知信息的发送和接收。另外,电源模块负责结点供电,结点由嵌入式软件系统支撑,运行网络的五层协议。

这 5 层协议包括物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用层,如图 1.5 所示。

物理层负责载波频率的产生、信号调制、解调,数据链路层负责媒体接入和差错控制,网络层负责路由发现与维护,传输层负责数据流的传输控制,应用层负责任务调度、数据分发等具体业务。

传感器网络的一个突出特色是采用了跨层设计技术,这一点与现有的 IP 网络不同。跨层设计包括能量分配、移动管理和应用优化。

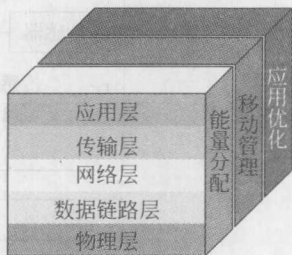


图 1.5 传感器网络的协议分层

能量分配是尽量延长网络的可用时间,移动管理是对结点移动进行检测和注册,应用优化是根据应用需求优化调度任务。

传感器探测结点通常是一个嵌入式系统,由于受到体积、价格和电源供给等因素的限制,它的处理能力、存储能力相对较弱,通信距离也有限,通常只与自身通信范围内的邻居结点交换数据。如果要访问单跳通信范围以外的结点,必须使用多跳路由。