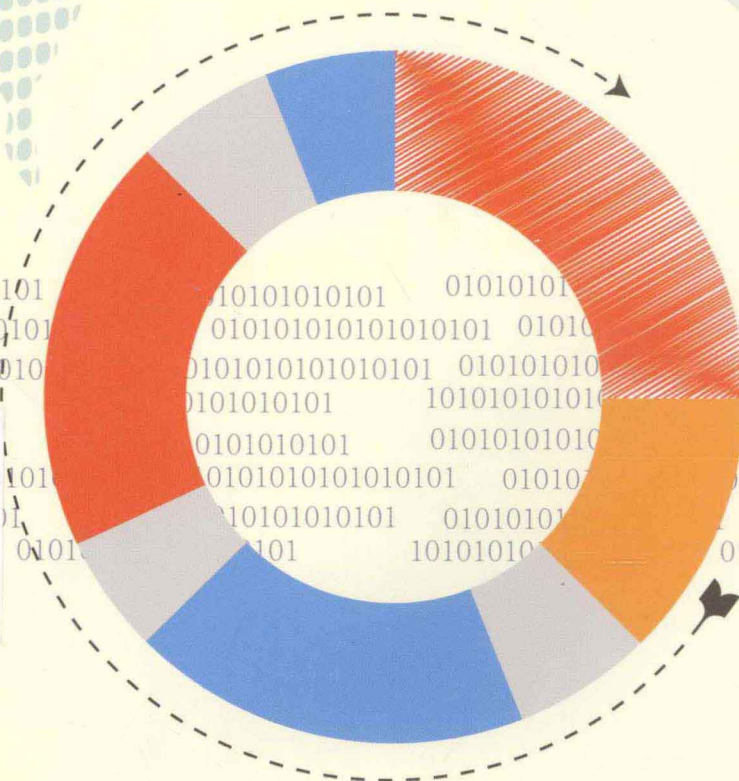


WUXIAN CHUANGANQI WANGLUO
JINENG ANQUAN XIEYI YANJIU

无线传感器网络 节能安全协议研究



毕嘉娜 著



东北大学出版社
Northeastern University Press

无线传感器网络节能安全协议研究

毕嘉娜 著

东北大学出版社

· 沈阳 ·

© 毕嘉娜 2013

图书在版编目(CIP)数据

无线传感器网络节能安全协议研究/毕嘉娜著. —沈阳: 东北大学出版社, 2013. 4

ISBN 978 - 7 - 5517 - 0309 - 3

I. ① 无… II. ① 毕… III. ① 无线电通信—传感器—节能—安全技术—研究 IV. ① TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 076529 号

内容简介

本书系统介绍了无线传感器网络的关键技术及安全性的相关问题。全书共分为 8 章。具体包括: 无线传感器网络的特点及基本研究内容, 无线传感器网络的安全威胁及应对策略, 节能路由、节能组簇协议、信任数据聚集、流量攻击检测和密钥管理等问题研究成果, 近几年新的研究领域——物联网的关键技术及安全研究内容, 并对未来新的物联网安全研究方向进行了展望。

本书主要特点在于创新性地提出了无线传感器网络节能协议和安全协议设计方法。书中的内容来源于作者近几年来的研究成果, 新颖实用, 研究方法先进。

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331(市场部) 83680267(社务室)

传真: 024—83680180(市场部) 83680265(社务室)

E-mail: neuph@neupress.com

http: //www. neupress. com

印 刷 者: 沈阳市第二市政建设工程公司印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 170mm × 240mm

印 张: 8.5

字 数: 162 千字

出版时间: 2013 年 4 月第 1 版

印刷时间: 2013 年 4 月第 1 次印刷

策划编辑: 王兆元

责任编辑: 潘佳宁

封面设计: 刘江旸

责任校对: 辛 思

责任出版: 唐敏志

ISBN 978 - 7 - 5517 - 0309 - 3

定 价: 25.00 元

前 言

无线传感器网络是由一组传感器节点以自组织方式构成的无线网络,其目的是协作地感知、采集和处理网络覆盖的地理区域中感知对象的信息,并发布给观察者。无线传感器网络的应用前景非常广泛,主要表现在军事、环境、健康、家庭、其他商业领域等各个方面。由于节点的电池能量有限,在很多无人值守的情况下节点不能频繁更换电池,因此最小化能量消耗是无线传感器网络协议和算法设计的关键要求。由于无线传感器网络经常部署在开放区域,传感器节点容易遭受攻击,例如俘获、窃听、拒绝服务、虫洞、女巫攻击等。随着无线传感器网络应用的广泛深入,其安全问题也变得越来越重要,其安全性研究引起了研究人员和应用者的强烈关注。

本书首先针对在无线传感器网络定向扩散路由协议中兴趣和探测数据采用广播方式影响能耗的问题,提出了一种基于网格的定向扩散路由协议,降低和平衡了网络能量消耗,而且使定向扩散路由协议的优点得到了保留。其次,提出了一个新的簇结构模式——ICEE 及其生成算法,包括确定簇内数据聚集节点 aggregator 的平凡算法和近似快速算法、确定向基站发送已融合数据的节点 sender 的算法。ICEE 的节能性通过它优化的簇拓扑结构来实现。然后针对分簇路由协议的易受攻击性,分别提出了一种基于信任的簇内数据聚集协议、一种基于 ARMA 的流量攻击检测协议和一种基于安全节点的密钥管理协议,从不同的角度增强簇型传感器网络的安全性。

本书讲述的内容为作者近年来的研究成果,内容新颖,属于当前该研究领域的前沿问题,具有重要的理论与应用价值。

在本书的写作过程中,哈尔滨工业大学的季振洲教授传授给

我许多宝贵的创新解决科研问题的方法，为我打开了科学的大门。由衷地感谢我的师兄曹志研，师弟孙彦东、刘涛、王晖、刘彦钊、陈龙、孙国栋和我一起讨论，激发了我的灵感，你们的陪伴和帮助让我感受到了友情的力量与科研的魅力。衷心感谢渤海大学信息学院杨玉强教授对本书出版的大力支持。特别感谢渤海大学工学院韩志艳博士、渤海大学信息学院陆璐博士在本书撰写中提供了有益的编辑建议。在我创作的过程中，我的家人给我提供了无微不至的照顾，仅以此书献给他们，感激他们多年来对我的爱和关怀。本书的出版得到了国家自然科学基金（项目编号：61203002）、辽宁省教育厅一般科研项目（项目编号：L2012396，L2012397，L2012400）、中国博士后基金项目（项目编号：2012M520158）、辽宁省“百千万人才工程”项目（项目编号：2012921058）的资助，在此一并表示感谢。

由于作者水平有限，书中不足之处还请读者与同行不吝赐教。

毕嘉娜

2013年2月于渤海大学

目 录

第1章 无线传感器网络概述	1
1.1 无线传感器网络体系结构	1
1.1.1 网络结构	1
1.1.2 节点结构	2
1.2 无线传感器网络的特点	3
1.3 无线传感器网络的应用	4
1.4 无线传感器网络的关键技术及国内外研究现状	6
1.4.1 关键技术	6
1.4.2 国内外研究现状	8
1.5 本书的章节安排	11
本章参考文献	12
第2章 无线传感器网络的安全技术	14
2.1 无线传感器网络的安全限制	14
2.2 无线传感器网络安全性标准	15
2.3 无线传感器网络面临的安全威胁	16
2.4 无线传感器网络拓扑结构及安全性分析	17
2.5 无线传感器网络的安全路由	18
2.5.1 SPKI/SDSI	19
2.5.2 SPIN	19
2.5.3 INSENSE	19
2.6 无线传感器网络的认证机制	20
2.6.1 基于秘密共享的 WSN 实体认证协议	20
2.6.2 基于 WSN 广播源认证机制的 uTESLA 协议	21
2.7 本章小结	23
本章参考文献	23
第3章 基于网格的定向扩散路由协议	25
3.1 无线传感器网络路由的特点	25

3.2	无线传感器网络路由的设计目标	26
3.3	无线传感器网络路由的分类	26
3.4	定向扩散路由协议概述	27
3.5	基于网格的定向扩散路由协议	29
3.6	GDD 性能评价	34
3.6.1	仿真模型	34
3.6.2	性能指标	34
3.6.3	仿真比较	35
3.6.4	执行比较	36
3.7	本章小结	37
	本章参考文献	37
第4章	分布式节能组簇协议	39
4.1	簇头个数的优化问题	39
4.2	簇内数据聚集通信能耗的优化	41
4.2.1	能耗优化的簇结构模式 ICEE	41
4.2.2	生成 ICEE 的平凡算法	42
4.2.3	生成 ICEE 的快速算法	42
4.3	网络节点能耗负载平衡问题	44
4.4	节点自适应的组簇问题	45
4.4.1	节点移动情况的分类	45
4.4.2	保持簇稳定的意义和方法	46
4.5	节能自组织协议 MAESP 的描述	47
4.6	组簇阶段	48
4.6.1	簇头选择算法	48
4.6.2	组簇算法	48
4.7	簇维护阶段	49
4.7.1	数据传输	50
4.7.2	相关的簇重组算法	53
4.8	仿真实验模型选取	56
4.8.1	无线传输模型选取	56
4.8.2	移动模型选取	57
4.9	仿真实验结果及分析	58
4.9.1	ICEE 节能及网络延迟性能	58

4.9.2	impRWM 有效性	60
4.9.3	MAESP 节能性能	62
4.10	本章小结	63
	本章参考文献	63
第5章	基于信任的簇内数据聚集协议	65
5.1	数据聚集的作用	65
5.2	无线传感器网络中的信任管理	66
5.2.1	无线传感器网络中信任管理的分类	66
5.2.2	无线传感器网络信任管理框架	67
5.3	基于统计的信任数据聚集机制	70
5.4	基于信任的簇内数据聚集协议	71
5.4.1	安全簇头选举	72
5.4.2	基于信任的数据聚集	73
5.5	协议性能评价	74
5.5.1	安全簇头选举	75
5.5.2	安全数据聚集	76
5.6	本章小结	77
	本章参考文献	77
第6章	基于 ARMA 的流量攻击检测协议	80
6.1	无线传感器网络攻击检测需求	80
6.2	无线传感器网络攻击检测分类	81
6.3	无线传感器网络攻击检测研究进展	81
6.4	基于 ARMA 的流量攻击检测协议	84
6.4.1	协议概述	84
6.4.2	协议假设	84
6.4.3	网络流量模型及流量预测值计算	85
6.4.4	虚拟簇头检测机制	87
6.4.5	簇头对成员节点的检测	88
6.5	协议性能分析	89
6.5.1	评价指标概念	89
6.5.2	仿真环境设置	90
6.5.3	网络无攻击时的仿真	90
6.5.4	网络存在流量攻击时的仿真	91

6.5.5 被俘节点的发现率	92
6.6 本章小结	93
本章参考文献	93
第7章 基于安全节点的密钥管理协议	96
7.1 无线传感器网络密钥管理设计目标	96
7.2 无线传感器网络密钥管理分类	97
7.3 典型的层次型密钥管理方案	98
7.3.1 低能耗密钥管理方案	98
7.3.2 轻量级密钥管理方案	99
7.4 基于安全节点的密钥管理	101
7.4.1 系统环境	101
7.4.2 SNKM 协议描述	102
7.5 性能评价	107
7.6 实验仿真	108
7.7 本章小结	108
本章参考文献	109
第8章 物联网安全研究展望	111
8.1 国内外物联网研究现状	111
8.1.1 国外研究现状	111
8.1.2 国内研究现状	113
8.2 物联网关键技术	115
8.2.1 物联网编码	115
8.2.2 识别和防碰撞问题	116
8.2.3 物联网名称解析服务	118
8.2.4 物联网信息发布服务	119
8.2.5 物联网中间件	119
8.3 物联网安全	120
8.3.1 物联网安全分析	120
8.3.2 物联网安全策略	123
8.4 物联网安全研究的新方向	125
8.5 本章小结	127
本章参考文献	128

第 1 章 无线传感器网络概述

微电子技术、计算技术和无线通信等技术的进步，推动了低功耗多功能传感器的快速发展，使其在微小体积内能够集成信息采集、数据处理和无线通信等多种功能。无线传感器网络（Wireless Sensor Networks, WSN）是由部署在监测区域内大量的廉价微型传感器节点组成，通过无线通信方式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中感知对象的信息，并发送给观察者。传感器、感知对象和观察者构成传感器网络的三个要素。如果说 Internet 构成逻辑上的信息世界，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，改变人类与自然界的交互方式。人们可以通过传感器网络直接感知客观世界，从而极大地扩展现有网络的功能和人类认识世界的能力。《美国商业周刊》和《MIT 技术评论》在预测未来技术发展的报告中，分别将无线传感器网络列为 21 世纪最有影响的 21 项技术和改变世界的十大技术之一^[1]。

无线传感器网络在军事、环境科学、医疗健康、空间探索和灾难拯救等领域有着广阔的应用前景，但在恶劣环境、无人区域或敌方阵地中，传感器网络容易遭到破坏和干扰。传感器网络的许多应用（如军事目标的监测和跟踪等）在很大程度上取决于网络的安全运行，一旦传感器网络受到攻击或破坏，将可能导致灾难性的后果。如何在节点计算速度、电源能量、通信能力和存储空间非常有限的情况下，通过设计安全机制，提供机密性保护和身份认证功能，防止各种恶意攻击，为传感器网络创造一个相对安全的工作环境，是一个关系到传感器网络能否真正走向实用的关键性问题^[2]。

1.1 无线传感器网络体系结构

1.1.1 网络结构

无线传感器网络系统通常包括传感器节点（Sensor Node）、汇聚节点（Sink Node）和管理节点^[3]。大量传感器节点随机部署在监测区域（Sensor

Field) 内部或附近, 能够通过自组织方式构成网络, 如图 1.1 所示。传感器节点监测的数据沿着其他传感器节点逐跳地进行传输, 在传输过程中, 监测数据可能被多个节点处理, 经过多跳后路由到汇聚节点, 最后通过互联网或卫星到达管理节点。用户通过管理节点对传感器网络进行配置和管理, 发布监测任务和收集监测数据。

传感器节点通常是一个微型的嵌入式系统, 它的处理能力、存储能力和通信能力相对较弱, 通过携带能量有限的电池供电。从网络功能上看, 每个传感器节点兼顾传统网络节点终端和路由器的双重功能, 除了进行本地信息收集和数据处理外, 还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任务。

汇聚节点的处理能力、存储能力和通信能力相对较强, 它连接传感器网络与 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。汇聚节点既可以是一个具有增强功能的传感器节点, 有足够的能量供给和更多的内存与计算资源; 也可以是没有检测功能, 仅带有无线通信接口的特殊网关设备。

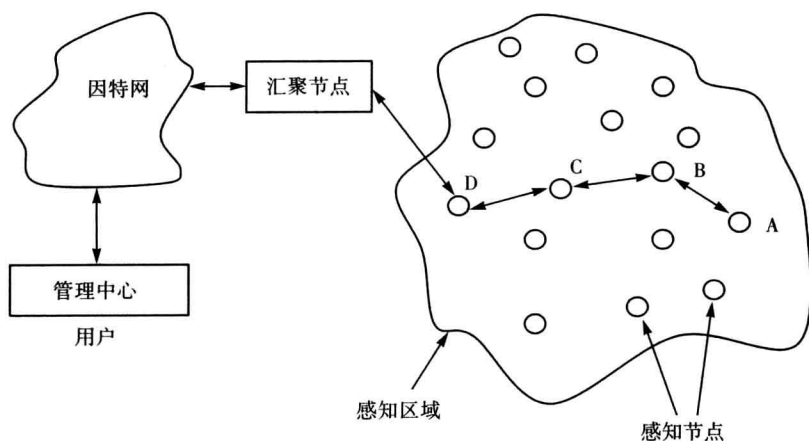


图 1.1 无线传感器网络体系结构

1.1.2 节点结构

传感器节点由传感器模块、处理器模块、无线通信模块和能量供应模块四部分组成, 如图 1.2 所示。传感器模块负责监测区域内信息的采集和数据的转换; 处理器模块负责控制器和整个传感器节点的操作, 存储和处理本身采集的数据以及其他节点转发来的数据; 无线通信模块负责与其他传感器节点进行无线通信, 交换控制信息和收发采集数据; 能量供应模块为传感器节

点提供运行所需的能量，通常采用微型电池。

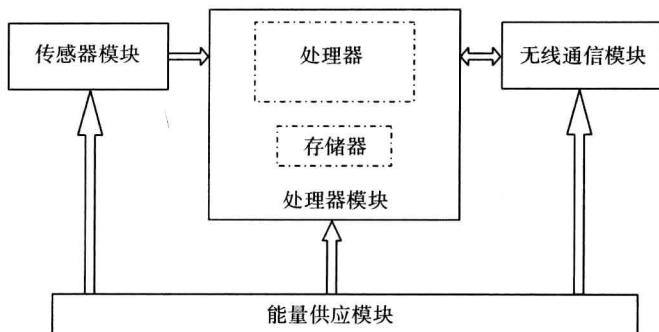


图 1.2 传感器节点结构

1.2 无线传感器网络的特点

与常见的无线网络如移动通信网、无线局域网、蓝牙网络、Ad Hoc 网络等相比，无线传感器网络具有以下特点^[4]。

(1) 资源有限

节点由于受价格、体积和功耗的限制，其电能、计算能力、程序空间和内存空间比普通的计算机要弱很多。

(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，这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。

(3) 动态性网络

传感器网络的拓扑结构可能由于下列因素而改变：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个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) 多跳路由

网络中节点通信距离有限，一般在百米范围内，节点只能与它的邻居直接通信。如果希望与其射频覆盖范围之外的节点进行通信，则需要通过中间

节点进行路由。固定网络的多跳路由使用网关和路由器来实现,而无线传感器网络中的多跳路由则是由普通网络节点完成的,没有专门的路由设备。这样每个节点既是信息的发起者,也是信息的转发者。

(5) 应用相关的网络

传感器网络用来感知客观世界,获取物理世界的信息。客观世界的物理量多种多样,不可穷尽。不同的传感器网络应用关心不同的物理量,因此对传感器的应用系统也有多种多样的要求。不同的应用背景对传感器网络的要求不同,其硬件平台、软件系统和网络协议必然会有很大的差别。所以传感器网络不能像 Internet 一样,有统一的通信协议平台。对于不同的传感器网络应用虽然存在一些共性的问题,但是在开发传感器网络应用中,更关心传感器网络的差异。只有让系统更贴近应用,才能做出最高效的目标系统。

(6) 以数据为中心的网络

传感器网络是任务型的网络,脱离传感器网络谈论传感器节点没有任何意义。传感器网络中的节点采用节点编号标识,节点编号是否需要具备全网唯一性取决于网络通信协议的设计。由于传感器节点随机部署,构成的传感器网络与节点编号之间的关系是完全动态的,表现为节点编号与节点位置没有必然的联系。用户使用传感器网络查询事件时,直接将所关心的事件通告给网络,而不是通告给某个确定编号的节点。网络在获得指定事件的信息后汇报给用户。这种以数据本身作为查询或传输线索的思想更接近于自然语言交流的习惯。

(7) 节点数量众多

为了对一个区域执行监测任务,往往会有成千上万的传感器节点被空投到该区域。传感器节点分布非常密集,利用节点之间高度连接性来保证系统的容错性和抗毁性。

1.3 无线传感器网络的应用

无线传感器网络可以由形式多样的传感器组成,它们可以监控复杂多变的环境条件,如湿度、温度、车辆运动、突发条件、压力、土壤成分、噪声等级等。无线传感器网络的特性奠定了它在许多应用领域都有重要的应用,如军事、环保、太空搜索、灾难拯救、医疗、家用和商业领域等^[5-8]。

(1) 军事应用

在军事领域,无线传感器网络将会成为 C4ISRT (Command, Control, Communication, Computing, Intelligence, Surveillance, Reconnaissance and Targeting) 系统不可或缺的一部分。C4ISRT 系统的目标是利用先进的高科技技

术,为未来的现代化战争设计一个集命令、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,受到了发达国家的普遍重视。

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,它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的损坏而导致整个系统的崩溃。这一点是传统网络技术所无法比拟的,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,包括侦察敌军兵力、装备和物资,监视冲突区,侦察敌方地形和布防,定位攻击目标,评估损失,侦察和探测核、生物和化学攻击。

在战场上,指挥员往往需要及时准确地了解部队、武器装备和军用物资供给的情况,铺设的传感器将采集相应的信息,并通过汇聚节点将数据送至指挥所,再转发到指挥部,最后融合来自各战场的的数据,形成完备的战区态势图。

(2) 环境应用

随着人们对于环境的日益关注,环境科学所涉及的范围越来越广泛。通过传统方式采集原始数据是一项很困难的工作。无线传感器网络为野外随机性的数据获取提供了方便,比如跟踪候鸟和昆虫的迁移,研究环境变化对农作物的影响,监测海洋、大气和土壤的成分等。ALERT 系统中就有数种传感器来监测降雨量、河水水位和土壤成分,并以此预测爆发山洪的可能性。类似地,无线传感器网络对森林火灾准确、及时的预报也是有帮助的。此外,无线传感器网络也可以被应用在精细农业中,以监测农作物中的害虫、土壤的酸碱度和施肥状况等。

(3) 医疗应用

如果在病人身上安装特殊用途的传感器节点,如心率和血压监测设备,利用无线传感器网络,医生就可以随时了解被监护病人的病情,进行及时处理。也可实现在人体内植入人工视网膜让盲人重见光明。还可以利用无线传感器网络长时间地收集人的生理数据,这些数据在研制新药品过程中是非常有用的,而安装在被监测对象身上的微型传感器也不会给人的正常生活带来太多的不便。此外,在药物管理等诸多方面,它也有新颖而独特的应用。

(4) 家庭应用自动化

随着科技发展,智能传感器节点和启动器被内置于真空吸尘器、微波炉、冰箱和录像机等家电中。这些内置在家电里的传感器节点相互作用,通过互联网或卫星构成内部的网络。终端用户通过它们可以更容易地管理远程或本地家用电器。

(5) 商业应用

自组织、微型化和对外部世界的感知能力是无线传感器网络的三大特点,

这些特点决定了无线传感器网络在商业领域也会有不少的机会,比如城市车辆检测和跟踪系统等。此外,在仓库管理、交互式博物馆、交互式玩具、工厂自动化生产线等众多领域,无线传感器网络都将会孕育出全新的设计和应用模式。

(6) 灾难拯救

在发生地震、水灾、强热带风暴或遭受其他灾难打击后,固定的通信网络设施可能被全部摧毁或无法正常工作,可以利用这种不依赖任何固定网络设施、能快速布施的无线传感器网络实施通信。在安全生产方面,可以实现矿井瓦斯浓度监控、安全开采预测和矿山资源监控等作用。

1.4 无线传感器网络的关键技术及国内外研究现状

1.4.1 关键技术

无线传感器网络作为当今信息领域新的研究热点,涉及多学科交叉的研究领域,有非常多的关键技术有待发现和研究,下面仅列出部分关键技术^[9-12]。

(1) 网络拓扑控制

传感器网络拓扑控制目前主要的研究问题是在满足网络覆盖度和连通度的前提下,通过功率控制和骨干网节点选择,剔除节点之间不必要的无线通信链路,生成一个高效的数据转发的网络拓扑结构。通过拓扑控制自动生成的良好的拓扑结构,能够提高 MAC 协议和路由协议的效率,可为数据聚集、时间同步和目标定位等很多方面奠定基础,有利于节省节点的能量,延长网络的生存期。

(2) MAC 协议

MAC 协议直接控制射频模块。通过对现有系统的分析可知,射频模块是节点中最大的能耗部件,对节点的功耗具有重要影响。因为无线传感器网络规模大且节点密度高,所以 MAC 协议的设计首先必须考虑节能性和可扩展性,其次考虑公平性、带宽利用率和实时性等。

(3) 路由协议

路由协议是通信协议中的重要一环,路由协议决定了通信流量在网络上的分布,对网络的生存时间有很大影响。无线传感器网络的路由必须考虑能源有效性需求,以数据为中心,或者利用位置信息进行路由。在路由过程中,同时需要考虑数据融合等操作。无线传感器网络的路由协议既要有效维持数据传输通路,又要减少网络中的通信量,还要具有一定的鲁棒性。

(4) 能源感知计算

如何有效节省能源是无线传感器网络的核心问题。能源节省涉及节点的能源管理、网络范围内能源优化、自适应能源、精度计算。在传感器节点上, 需要实现计算、通信和存储相互协调的能源管理。在网络范围内, 需要考虑通信的分布、拓扑管理、计算、通信的权衡和如何减少通信的额外开销等问题。

(5) 安全

无线传感器网络处于真实的物理世界, 缺乏专门的服务与维护, 因此无线传感器网络的安全受到严峻的挑战。无线传感器网络可能会遇到窃听、消息修改、消息注入、路由欺骗、拒绝服务、恶意代码等安全威胁。另外, 在无线传感器网络中, 安全的概念也发生了变化, 通信安全是其中重要的一部分, 隐私保护日渐重要, 而授权重要性则降低。目前无线传感器网络的安全研究仅处于起步阶段, 需要依据无线传感器网络的特点, 针对无线传感器网络的安全威胁, 研究新型的安全协议和安全策略。

(6) 定位问题

传感器节点所采集的数据必须和位置相关, 这样对用户才有意义。当前研究的主要问题是如何在有信标和无信标的情况下, 利用更多种测距等手段实现对节点自身和外部对象的分布协同定位, 以获取其绝对或相对位置。无线传感器网络的定位机制应当满足能量高效性、自组织性、鲁棒性和分布性等要求。

(7) 时钟同步问题

时钟同步在所有的分布式系统中都是一个重要的问题, 在需要节点协同工作的无线传感器网络中更是如此。由于链路不稳定等原因, Internet 上的时间同步协议 NTP 不适用于无线传感器网络, 而 GPS 的授时功能因成本和环境条件的约束一般也不能用于所有节点。必须针对无线传感器网络结构不稳定、链路失效率高的特点, 设计专门的时钟同步协议。

(8) 数据聚集技术

节点冗余造成数据冗余, 减少网络中传输的冗余数据能有效地节省能量。传感器节点在收集和转发数据的过程中, 可以根据数据的特点和查询要求进行数据聚集, 去除冗余信息, 融合相关数据, 挖掘高层知识。但是数据聚集在减少传输总量的同时, 增加了传输延迟。如何根据特定的应用需求, 研究数据的聚集策略, 以及多传感器多数据类型环境下的数据聚集方法, 是无线传感器网络的重要研究内容。

(9) 数据管理技术

从用户的角度看, 无线传感器网络可以被视为一个分布式数据库。如果

以数据库的方法在无线传感器网络中进行数据管理,那么用户只需关心数据查询的逻辑结构,而无需关心查询的实现细节,从而有利于提高无线传感器网络的易用性。就数据管理而言,无线传感器网络与传统的分布式数据库存在很大的差别;需要针对其特点,设计高能效的、鲁棒性的数据管理技术。

(10) 应用层技术

无线传感器网络的应用层由各种面向具体应用的软件系统构成。应用层技术主要研究各种应用系统的开发和多任务之间的协调。此外,还包括传感器网络程序设计语言、程序设计方法学、软件开发环境和工具、软件测试工具、面向应用的系统服务、网络测试和配置管理工具等方面的研究。

1.4.2 国内外研究现状

无线传感器网络的研究起步于 20 世纪 90 年代末期,从 2000 年起,国际上开始出现一些有关无线传感器网络发展和研究的报道。特别是日本、美国和一些欧洲国家对于无线传感器网络表现出极大的兴趣,纷纷展开了该领域的研究工作,其中美国通过国家自然科学基金委员会、国防部和各军事部门都投入巨资制订并实施无线传感器网络的研究计划。现在,在军事领域、民用领域和学术界掀起无线传感器网络的研究热潮,并已经取得了一定的研究成果^[13-16]。

(1) 军事领域

美国国防部和各军事部门都对无线传感器网络给予了高度重视,提出了 C4ISR 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研究课题。

2001 年,美国陆军提出了“灵巧传感器网络通信”计划,并在 2001—2005 财政年度实施。灵巧传感器网络通信的目标是建设一个通用通信基础设施,支援前方部署,将无人值守式弹药、传感器和未来战斗系统所用的机器人系统连成网络,成倍地提高单一传感器的能力,使作战指挥员能更好、更快地做出决策,从而改进未来战斗系统的生存能力。

美国陆军又确立了“无人值守地面传感器群”项目,其主要目标是使基层部队指挥员具有在他们所希望部署传感器的任何地方灵活地部署传感器的能力。美国陆军还确立了“战场环境侦察与监视系统”项目。该系统是一个智能化传感器网络,可以更为详尽、准确地探测到精确信息。它通过“数字化路标”作为传输工具,为各作战平台与单位提供各取所需的情报服务,使情报侦察与获取能力产生质的飞跃。该系统由散布型传感器网络系统、机载和车载型侦察与探测设备等构成。