



“十二五”国家重点图书

THE RESEARCH AND APPLICATION OF KEY TECHNOLOGY FOR
WIRELESS SENSOR NETWORK

无线传感器网络关键技术的 研究与应用

● 蔡绍滨 编著



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

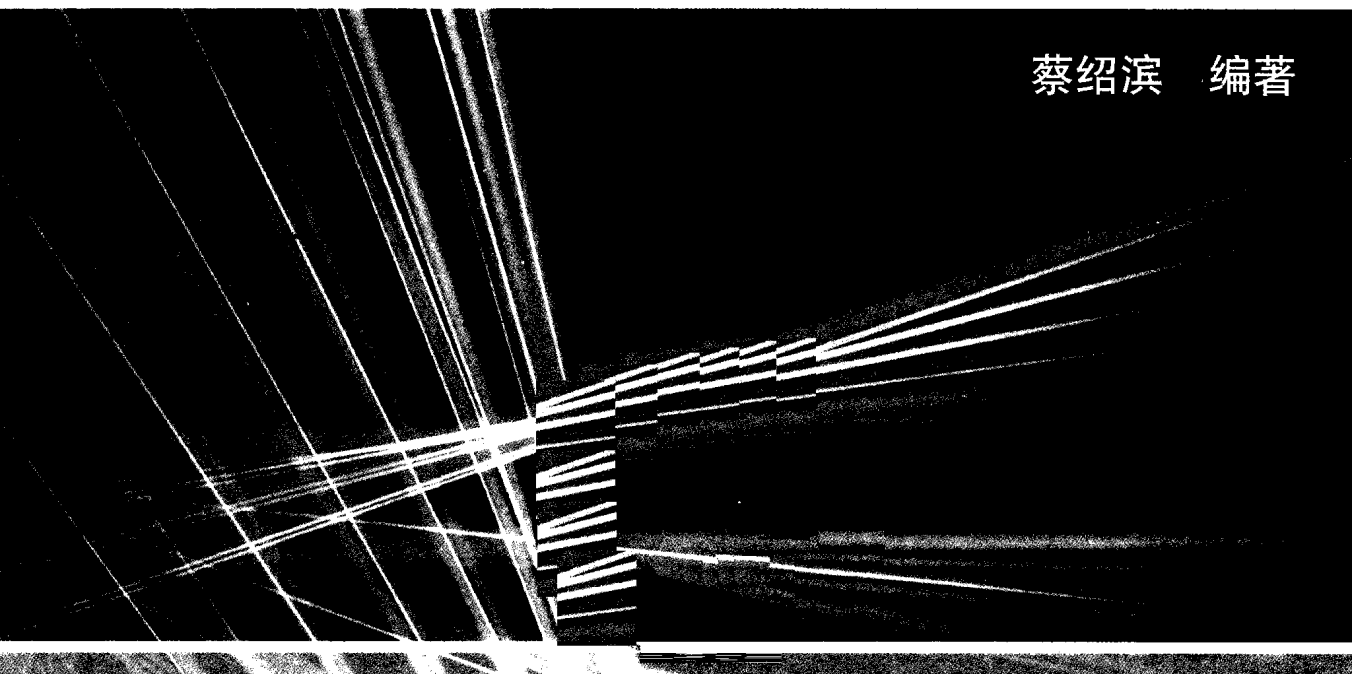


国家重点图书

THE RESEARCH AND APPLICATION OF KEY TECHNOLOGY FOR
WIRELESS SENSOR NETWORK

无线传感器网络关键技术的 研究与应用

蔡绍滨 编著



内 容 简 介

本书围绕无线传感器网络节点技术、路由技术、MAC 层技术、定位技术和安全技术及其 5 方面的关键技术,介绍其研究现状、发展趋势和相关应用。第 1 章介绍无线传感器网络研究意义和它在各个领域的研究现状,第 2 章介绍以 Mica 为代表的无线传感器节点的研究现状及作者在该方面进行的探索性研究,第 3 章以层次路由为主介绍无线传感器网络路由协议的研究现状及作者在该方面进行的探索性研究,第 4 章介绍基于竞争的 MAC 协议、基于调度的 MAC 协议、混合 MAC 协议和跨层设计 MAC 协议,第 5 章介绍无线传感器网络定位算法的研究现状及作者在基于三边定位算法的无线传感网络定位技术方面的探索性研究,第 6 章介绍无线传感器网络安全技术的研究现状及作者在基于分组的无线传感器密钥分配技术方面进行的探索性研究。

本书可作为高年级本科生、研究生及无线传感器网络技术研究人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

无线传感器网络关键技术的研究与应用/蔡绍滨编著.
—哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2011.5
ISBN 978-7-5603-3249-9

I. ①无… II. ①蔡… III. ①无线电通信-传感器-研究 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 047847 号

策划编辑 王桂芝
责任编辑 范业婷
封面设计 刘洪涛
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 8.75 字数 200 千字
版 次 2011 年 5 月第 1 版 2011 年 5 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-3249-9
定 价 28.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

无线通信、集成电路、传感器及微机电系统(MEMS)等技术的飞速发展推进了传感器信息获取技术的集成化、微型化和网络化。部署在监测区域内大量的微型传感器节点通过自组织的方式形成一个多跳无线电通信网络——无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN),来感知、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。

无线传感器网络在国防军事、工农业控制、城市管理、卫生医疗、环境监测、抢险救灾、反恐防恐、危险区域远程控制等领域有着潜在的应用前景。美国《商业周刊》将 WSN 列为 21 世纪最有影响力的 21 项技术之一,《MIT 技术评论》将无线传感器网络列于 10 种改变未来世界新兴技术之首。《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006 ~ 2020 年)》将“传感器网络及智能信息处理”作为未来信息产业及现代服务业的重点方向。

从 2005 年起,作者就开始追踪无线传感器网络相关技术的研究;2008 ~ 2009 年期间,作者在加州大学洛杉矶分校从事无线传感器网络相关的研究工作,对无线传感器网络有了进一步的认识;2010 年,在学校的支持下,哈尔滨工程大学计算机学院成立了无线传感器网络关键技术创新团队。

在国家自然科学基金“水声传感器网络路由算法及其支撑验证环境的研究(60603059)”、“基于双移动锚节点的三维水下传感器网络安静定位算法及其误差纠正技术的研究(6107)”、黑龙江省技术攻关项目“煤矿井下工作面人员无线定位技术的研究(GC06C106)”、黑龙江省学术型青年骨干教师支持计划“水声传感器网络定位技术的研究(1155G15)”、哈尔滨工程大学创新团队支持计划“无线传感器网络关键技术研究(HEUCFT1007)”和哈尔滨工程大学青年骨干教师支撑计划“无线传感器网络定位技术研究(HEUQG0804)”的支持下,作者在无线传感器网络关键技术方面进行了多年的研究。本书是作者在无线传感器网络关键技术研究及其应用方面的一些工作总结与心得体会,希望能够对无线传感器网络技术研究者提供一点有意义的借鉴和帮助。

由于作者水平有限,书中难免有疏漏或不当之处,敬请读者批评指正。

作 者
2011 年 1 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 传感器网络研究的主要内容	2
1.2.1 传感器网络节点	2
1.2.2 传感器网络的节点定位技术	3
1.2.3 传感器网络的安全技术	3
1.3 国内外传感器网络研究的状况	4
1.3.1 军事领域的研究进展情况	4
1.3.2 民用领域的研究进展情况	5
1.3.3 学术界的研究进展情况	6
1.4 传感器网络性能仿真评估技术	7
1.4.1 NS 仿真软件	8
1.4.2 GloMoSim 仿真软件	8
第2章 无线传感器网络节点技术的研究	10
2.1 引言	10
2.2 无线传感器网络节点技术简介	10
2.2.1 Mica 系列节点	10
2.2.2 兼容节点	11
2.2.3 商用微传感器节点	12
2.3 传感器节点的硬件体系结构	12
2.3.1 处理器模块的设计	13
2.3.2 无线通信模块的设计	14
2.3.3 传感器模块的设计	16
2.3.4 定位模块的设计	16
2.3.5 能量供应模块的设计	18
2.3.6 外部接口的设计	18
2.4 传感器节点的软件体系结构	19
2.4.1 TinyOS 总体架构和特点分析	20
2.4.2 TinyOS 任务调度机制	20
2.4.3 TinyOS 中的硬件驱动	21
2.4.4 Nesc 开发语言	23

第3章 无线传感器网络路由技术	25
3.1 无线传感器网络路由算法的分类	25
3.1.1 主动路由和被动路由	26
3.1.2 平面路由和分簇路由	26
3.2 无线传感器网络路由算法的设计要求	28
3.3 平面路由与层次路由	30
3.3.1 平面路由协议	31
3.3.2 蚁群算法的定向洪泛(DFlooding)协议	32
3.3.3 LEACH 和 DCHS、PEGASIS	34
3.3.4 LEACH-C 和 LEACH-F	36
3.3.5 TEEN	37
3.3.6 HEED	37
3.3.7 ACE	38
3.3.8 EEUC	39
3.3.9 平面路由与层次路由协议的比较	39
3.4 其他路由协议	41
3.4.1 能量感知路由协议	41
3.4.2 基于查询的路由协议	43
3.4.3 基于地理位置信息的路由协议	46
3.4.4 可靠路由协议	49
3.5 本章小结	50
第4章 MAC 协议	52
4.1 概 述	52
4.2 基于竞争的 MAC 协议	54
4.2.1 IEEE 802.11 MAC 层协议	55
4.2.2 S-MAC 协议	57
4.2.3 T-MAC 协议	60
4.2.4 B-MAC 协议	62
4.3 基于调度的 MAC 协议	64
4.3.1 基于分簇网络的 MAC 协议(Cluster-Based MAC)	65
4.3.2 TRAMA 协议	65
4.3.3 DMAC	68
4.3.4 LMAC	71
4.3.5 ArDeZ	72
4.4 混合 MAC 协议	73
4.4.1 Z-MAC 协议	73
4.4.2 Funneling-MAC 协议	75

4.5 跨层设计 MAC 协议	75
4.5.1 AIMRP	76
4.5.2 SARA-M 协议	76
4.6 本章小结	77
第 5 章 无线传感器网络定位技术	78
5.1 引 言	78
5.2 和距离无关的定位算法	79
5.2.1 Centroid 算法	79
5.2.2 DV-Hop 算法	79
5.2.3 APIT 算法	80
5.2.4 Amorphous 算法	81
5.3 和距离相关的定位算法	82
5.3.1 APS	83
5.3.2 AHLoS	83
5.3.3 三边测量法	83
5.3.4 三边测量法分析	84
5.3.5 循环三边组合测量法	85
5.3.6 改进的循环三边测量法	87
5.4 基于圆形的循环三边测量法	89
5.4.1 权重三角形选择技术的研究	89
5.4.2 基于圆形选择技术的循环三边组合测量法	93
5.5 算法分析与仿真	94
5.5.1 算法复杂性分析	94
5.5.2 性能仿真分析	94
5.6 本章小结	96
第 6 章 安全技术	97
6.1 概 述	97
6.2 传感器安全分析	100
6.2.1 物理层的攻击与防御	101
6.2.2 链路层的攻击与防御	102
6.2.3 网络层的攻击与防御	102
6.3 WSN 网络安全框架协议 SPINS	105
6.3.1 网络加密协议 SNEP	105
6.3.2 基于时间的高效容忍丢包的流认证协议 μ TESLA	108
6.3.3 SPINS 协议的实现问题	111
6.4 密钥管理技术	113
6.4.1 基于密钥池的密钥预分配方法	114

6.4.2 基于多项式计算的密钥预分配方法	116
6.4.3 LBPKD 密钥管理方法	117
6.4.4 LBPKD 性能的数学分析	118
6.4.5 LBPKD 性能的仿真分析	123
6.5 本章小结	124
参考文献	125

第一章

发展低碳经济的国际背景、 趋势及经验借鉴

倪月菊*

气候变化问题是当今国际社会高度关注的全球问题，它早已超越了环境问题的范畴，成为关系各国根本利益，涉及政治、经济、技术、环境、法律等方面的综合性、战略性问题。随着对气候变化本质认识的不断深入，国际气候政治博弈也日趋激烈，不顾发展中国家的发展需求，片面强调减排抑或片面强调经济增长，走发达国家工业化的老路，都是不足取的。在发展与减排之间寻求妥协，创造共赢，催生了低碳经济理念。

第一节 低碳经济：概念的提出及演进

低碳经济是近几年提出的概念，它是一种比循环经济要求更高、

* 倪月菊，经济学博士，副研究员，中国社会科学院世界经济与政治研究所国际贸易室。

是很大,及时地开展传感器网络技术的研究对社会和经济的发展都具有重大的意义。

1.2 传感器网络研究的主要内容

传感器节点通常通过飞行器撒播、人工埋置,火箭弹射等方式被部署在特定的区域内。在部署之后,节点以自组织的形式构成分布式网络,其基本结构如图 1.1 所示。传感器网络以多跳的方式来实现数据的收集和传输。

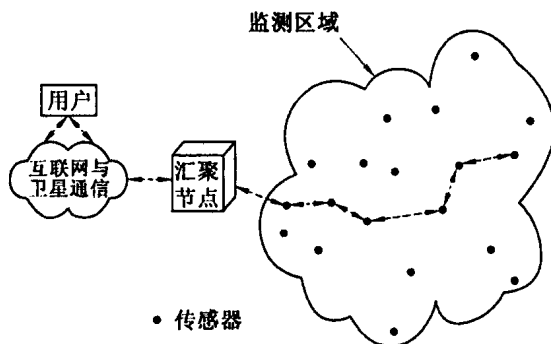


图 1.1 传感器网络

与传统的网络相比,传感器网络具有以数据为中心、资源受限、分布式自组织、点对点多跳路由、强的容错和抗毁能力、动态拓扑及面向应用等特点。因此,传感器网络是一个复杂且庞大的系统工程,其研究工作涉及网络体系结构、节点技术、路由技术、数据管理技术、定位技术和网络安全技术等多个方面。本节主要在节点技术、定位技术和安全技术三个方面进行一些有意义的探索。

1.2.1 传感器网络节点

尽管传感器网络节点的结构根据其应用的不同而不同,但传感器网络节点一般都由两部分组成:节点硬件和节点的嵌入式软件。节点硬件又由数据采集(传感器模块)、数据处理(处理模块)、数据传输(无线通信模块)和电源(能量供应模块)四个主要部分组成(如图 1.2 所示)。

(1) 处理器通常选用嵌入式 CPU,如 Motorola 的 MC68328, ARM 公司的 ARM7 等。

(2) 数据传输单元主要由低功耗、短距离的无线通信模块组成,如 RFM 公司的 TR1000 等。

(3) 节点需要一个微型化的操作系统来进行较复杂的任务调度与管理。UC Berkeley 的 NEST 项目组开发的 TinyOS 操作系统,uCOS-II,嵌入式 Linux 都是可选的操作系统。

(4) 一般由能量有限的电池来实现节点供电。

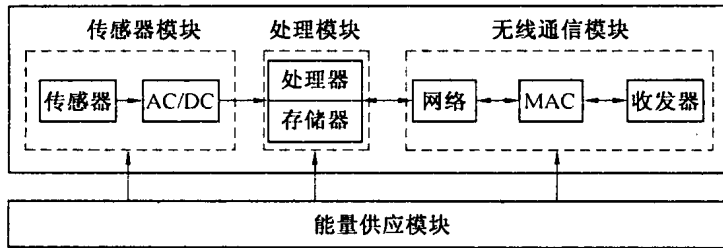


图 1.2 传感器节点结构

1.2.2 传感器网络的节点定位技术

在传感器网络的应用中,只有当节点和被感知的物体的位置是可知的,节点获得的信息才有意义。因此,节点定位是传感器网络的关键技术之一。通常而言,传感器节点的定位方式有以下几种:

(1)手工配置,即为每个传感器节点手工输入其在网络中的坐标值。但是由于传感器节点数目庞大,所以这种方法耗时,是不可行的。

(2)为每个节点配置全球卫星定位系统(GPS),节点通过接收来自多颗卫星的信号来确定自己的位置。但是对于嵌入式微传感器系统来说,GPS 体积大、价格高、能耗大,而且卫星信号不能穿透建筑物,所以不能用于室内定位系统。因此,这种方法在许多应用中也是不可行的。

(3)利用算法的传感器网络节点定位技术。

传感器网络节点定位算法可以根据是否和距离相关分为:

①和距离无关的定位算法;

②和距离相关的定位算法。

免测距算法的基本思想是利用从邻近信标所获得的连接关系或接近关系等信息计算未知节点的几何坐标。典型的免测距算法有 Centroid 算法、DV-Hop 算法、APIT 算法和 Amorphous 算法等。

传感器节点常采用接收信号强度(Received Signal Strength Index, RSSI)技术、信号到达时间(Time of Arrival, TOA)技术、信号到达时间差(Time Difference of Arrival, TDOA)技术和信号到达角度(Angle of Arrival, AOA)技术来进行节点间的测距。在以上节点间测距的基础上,传感器网络可采用 APS 算法、AHLoS 算法、三边测量法、Lateration 算法、循环三边组合测量法和改进的循环三边组合测量法等来进行未知节点的定位。

1.2.3 传感器网络的安全技术

当 WSN 传输的数据对用户而言敏感时,安全通信对于 WSN 是非常重要的。尽管人们已经在 WSN 的许多方面(例如,感知网的拓扑结构管理,路由方法和数据管理)取得了显著的成绩,但是人们在 WSN 的安全方面的研究才刚刚开始。由于以前为自组网设计的

安全方法并不适用于 WSN, 所以 WSN 迫切需要专门为它设计的安全系统。

由于绝大多数的安全机制是可以通过通信信息加密来实现的, 所以密钥管理在 WSN 的安全机制中具有十分重要的作用。密钥管理的目的是: ①将一定区域内的系统用户初始化; ②产生、分配和安装密钥; ③控制密钥的使用; ④更新、重新激活和破坏密钥; ⑤存储、备份和获取密钥。密钥管理现在是 WSN 没有解决的难题之一。

由于传感器的硬件资源非常有限, 所以 WSN 不能够使用典型的共用密钥加密系统来保证节点间的通信安全。例如, Smart Dust 感知器仅仅具有 8 kb 的程序内存、512 字节的数据内存和一个小 CPU。这个小 CPU 具有 3.0 V 工作电压、4 MHz 工作主频和 32 个 8 位寄存器。Carman, Kruus and Matt 的研究表明一个中等的处理器(例如, Motorola MC68328)在进行 1 024 bit 的 RSA 加密操作时所消耗的能量远远大于它进行 1 024 bit 的 AES 加密操作所消耗的能量。因此, 对称密码、低能耗、授权加密模式和 hash 方法是保证 WSN 通信的有效工具。实现网络安全必须有一个现实可行的密钥管理系统作为基础, 由于 WSN 节点结构紧凑, 能力受到诸多限制, 在有线网络和传统无线网络中的一些经典的密钥管理方案, 如 Diffie-Helman 密钥交换协议, 密钥分发中心(Key Distribution Center, KDC), RSA 公开密钥体系等, 在 WSN 中并不适用。因此, 需要为传感器网络研究适合它的密钥管理机制。

1.3 国内外传感器网络研究的状况

1.3.1 军事领域的研究进展情况

美国陆军 2001 年提出了“灵巧传感器网络通信”计划。该计划已被美国 2001 年财政计划批准, 并在 2001 ~ 2005 财政年度期间实施。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、更快地作出决策, 从而改进未来战斗系统的生存能力。

美国陆军近期又确立了“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。该项目是支持陆军“更广阔视野”的 3 个项目之一。美国陆军最近还确立了“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, 如一些特殊地形地域的特种信息(登陆作战中敌方岸滩的翔实地理特征信息, 丛林地带的地面坚硬程度、干湿程度)等, 为更准确地制定战斗行动方案提供情报依据, 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。

美国海军最近也确立了“传感器组网系统”研究项目。传感器组网系统的核心是一套实时数据库管理系统。该系统可以利用现有的通信机制对从战术级到战略级的传感器

信息进行管理,而管理工作只需通过一台专用的商用便携机即可,不需要其他专用设备。该系统以现有的带宽进行通信,并可协调来自地面和空中监视传感器以及太空监视设备的信息。该系统可以部署到各级指挥单位。

2002年5月,美国 Sandia 国家实验室与美国能源部合作,共同研究能够尽早发现以地铁站等场所为目标的生化武器袭击,并及时采取防范对策的系统。该研究属于美国能源部恐怖对策项目的重要一环。该系统集检测有毒气体的化学传感器和网络技术于一体,安装在车站的传感器一旦检测到某种有害物质,就会自动向管理中心通报,自动进行引导旅客避难的广播,并封锁有关入口等。该系统除了能够在专用管理中心进行监视之外,还可以通过 WWW 进行远程监视。

美国海军最近开展的网状传感器系统 CEC (Cooperative Engagement Capability) 是一项革命性的技术。CEC 是一个无线网络,其感知数据是原始的雷达数据。该系统适用于舰船或飞机战斗群携带的电脑进行感知数据的处理。每艘战船不但依赖于自己的雷达,还依靠其他战船或者装载 CEC 的战机来获取感知数据。例如,一艘战船除了可从自己的雷达获取数据外,还可从舰船战斗群的 20 个以上的雷达中获取数据,也可从鸟瞰战场的战机上获取数据。空中的传感器负责侦察更大范围的低空目标,这些传感器也是网络中重要的一部分,利用这些数据合成图片具有很高的精度。由于 CEC 可以从多方面探测目标,极大地提高了测量精度。利用 CEC 数据可以准确地击中目标,还可以快速而准确地跟踪混乱战争环境中的敌机和导弹,使战船可以击中多个地平线或地平线以上近海面飞行的超声波目标。因此,即使是今天最先进的反舰巡航导弹也会被实时地监测到并被击中。

2000年,美国国防部把 Smart Sensor Web 定为国防部科学技术 5 个尖端研究领域之一。Smart Sensor Web 的基本思想是在整个作战空间中放置大量的传感器节点来收集传递信息,并且将信息汇集到融合点,在那里综合成一张图片,并分发给需要该信息的作战者。Smart Sensor Web 将为军队提供大覆盖面及高分辨率的信息,以 Web 为中心的传感器信息分发和融合的网络,可以提高军队的敏感度。

1.3.2 民用领域的研究进展情况

1995年,美国交通部提出了“国家智能交通系统项目规划”,预计到 2025 年全面投入使用。该计划试图把先进的信息技术、数据通信技术、传感器技术、控制技术及计算机处理技术有效地集成运用于整个地面交通管理,建立一个在大范围内全方位发挥作用的,实时准确高效的综合交通运输管理系统。这种新型系统将有效地使用传感器网络进行交通管理,不仅可以使汽车按照一定的速度行驶,前后车自动地保持一定的距离,而且还可以提供有关道路堵塞的最新消息,推荐最佳行车路线以及提醒驾驶员避免交通事故等。由于该系统将应用大量的传感器与各种车辆保持联系,因此,人们可以利用计算机来监视每一辆汽车的运行状况(如制动质量和发动机调速时间等)。根据具体情况,计算机可以自

动进行调整,使车辆保持在高效低耗的最佳运行状态,并就潜在的故障发出警告,或直接与事故抢救中心取得联系。

2002年10月24日,美国英特尔公司发布了“基于微型传感器网络的新型计算发展规划”,将致力于微型传感器网络在预防、医学、环境监测、森林灭火乃至海地板块调查和行星探查等领域的应用。实现该计划分为物理、实现和应用三个阶段。物理阶段主要开发具有感知、计算和通信功能的超微型传感器(也被称做尘粒(MOTE)或智能微尘(Smart Dust))。实现阶段将在实际商务中使用来自传感器网络的感知数据。应用阶段将应用传感器网络于预防、医学、环境监测及灾害对策等领域。英特尔研究中心、伯克利实验室和大西洋学院的研究人员计划部署和使用无线传感器网络来研究大鸭岛上环境,这些传感器由温度、湿度及气压等芯片和红外线传感器组成。科学家们使用这些设备可以在不干扰野生动植物正常生活的情况下监视它们及其生存环境。

1.3.3 学术界的研究进展情况

在美国自然科学基金委员会的推动下,美国的加州大学伯克利分校、麻省理工学院、康奈尔大学和加州大学洛杉矶分校等学校开始了传感器网络的基础理论和关键技术的研究。英国、日本和意大利等国家的一些大学和研究机构也纷纷开展了该领域的研究工作。学术界的研究主要集中在传感器网络体系结构技术和通信协议的研究上,但是也开展了一些感知数据查询处理技术的研究,并取得了一些初步成果。目前的研究工作还处于起步阶段,大量的问题还没有涉及。下面介绍目前的主要研究进展。

1. 传感器网络技术的研究

加州大学伯克利分校提出了应用网络连通性重构传感器位置的方法,基于相关性的Sensor数据编码模式,用稀疏传感器网络重构跟踪移动对象路线的方法,传感器网络上随时间变化的连续流可视化方法,允许系统级优化时有效通信机制的一般化解,传感器网络上的数据分布式存储的地理Hash表方法,确定传感器网络中节点位置的分布式算法等。并研制了一个传感器操作系统TinyOS。

加州大学洛杉矶分校开发了一个无线传感器网络和一个无线传感器网络模拟环境,用于考察传感器网络各方面的问题。他们提出了低级通信不依赖于网络拓扑结构的分布式系统技术,支持多应用传感器网络中命名数据和网内数据处理的软件结构,变换初始感知为高级数据流的层次系统结构,传感器网络的时间同步的解决方法,自组织传感器网络的设计问题及解决方法和新的多路径模式等。

南加州大学提出了在生疏环境中部署移动传感器的方法,传感器网络监视结构及其聚集函数计算方法,节省能源的计算聚集树构造算法等。

斯坦福大学提出了在传感器网络中事件跟踪和传感器资源管理的对偶空间方法以及由无线网连接的传感器和控制器构成的闭环控制系统的框架。

麻省理工学院开始研究超低能耗无线传感器网络的问题,试图解决超低能耗无线传

传感器系统的方法学和技术问题。

2. 传感器网络通信协议的研究

人们首先对已有的因特网和 Ad Hoc 无线网络的通信协议进行了研究,发现这些协议不适用于传感器网络,其原因如下:

- (1) 传感器网络中的传感器节点数量远大于 Ad Hoc 网络中的节点数;
- (2) 感知节点出现故障的频率要大于 Ad Hoc 网络;
- (3) 感知节点要比因特网和 Ad Hoc 网络中的节点简单;
- (4) 感知节点的能量有限;
- (5) 因特网的数据报头对于传感器网络来说太长。

针对这些问题,康奈尔大学和南加州大学等很多大学开展了传感器网络通信协议的研究,先后提出了几类新的通信协议,包括基于谈判的协议(如 SPIN-PP 协议、SPIN-EC 协议、SPIN-BC 协议和 SPIN-RL 协议)、基于定向发布的协议、基于节能的协议、基于多路径技术的协议、基于传播路由技术的协议、基于介质存取控制技术的协议、基于分簇技术的协议和以数据为中心的路由协议等。

3. 感知数据查询处理技术的研究

康奈尔大学在感知数据查询处理技术方面开展的研究工作较多。他们研制了一个测试感知数据查询技术性能的 COUGAR 系统,提出了在传感器网络上计算聚集函数的容错和可扩展算法,并探索了把传感器网络表示为数据库的思想,探讨了如何把分布式查询处理技术应用于感知数据查询的处理。加州大学伯克利分校研究了传感器网络的数据查询技术,提出了实现可动态调整的连接查询处理方法和在管理传感器网络上多查询的方法,应用数据库技术实现了传感器网络上的数据聚集函数,提出了在低能耗分布式无线传感器网络环境下实现聚集函数的方法,并研制了一个感知数据库系统 TinyDB。

南加州大学研究了传感器网络聚集函数的计算方法,提出了节省能源的计算聚集的树构造算法,并通过实验证明了无线通信机制对聚集计算的性能有很大的影响。哈尔滨工业大学和黑龙江大学在传感器数据管理系统方面开展了研究工作,提出了以数据为中心的传感器网络的数据模型,以及一系列基于节能策略的感知数据操作算法和感知数据查询处理技术。

1.4 传感器网络性能仿真评估技术

无线传感器网络的自身特点给无线传感器网络技术的性能评估带来很大的难度。基于固定网络协议或有中心的移动通信网协议的调试手段很难在此发挥作用。如果利用实物进行实验,不但要花费大量的人力和物力,而且还很难模拟所有的随机情况,实验得不到满意的效果。因此,一个功能强大的网络仿真软件是开发和研究无线传感器网络的必不可少的手段。

为实现网络仿真,人们开发了一系列商用和研究用的网络仿真软件: Cadence 的 Bones, CACI(Consolidated Analysis Centers Inc)的 COMNET 和 Mil3 的 OPNET 都是著名的商用仿真软件,但是现在能够免费得到、较为普遍应用的无线传感器仿真软件是 LBNL(Lawrence Berkeley National Laboratory)开发的 NS(Network Simulator)仿真软件和 UCLA(University of California at Los Angeles)开发的 GloMoSim(Global Mobile Simulator)仿真软件。在国内,解放军理工大学在自组网仿真方面作了较多的研究,提出了两种自组网仿真系统。下面简单介绍 NS 和 GloMoSim 仿真软件。

1.4.1 NS 仿真软件

NS 仿真软件是由 DARPA 资助的 VINT(Virtual InterNetwork Testbed)项目在 REAL network simulator 的基础上开发的网络仿真软件。它不但是 UC Berkeley(University of California at Berkeley)、USC/ISI(University of Southern California/Information Sciences Institute)、LBNL 和 Xerox PARC(Palo Alto Research Center)合作的成果,而且它还从其他的研究机构获得很大的帮助。NS 仿真软件的目的是建立一个全面的网络仿真器。它的无线网仿真部分来自于 UC Berkeley 的 Daedalus、CMU(Carnegie Mellon University)的 Monarch(Mobile Networking Architectures)和 Sun 的 Microsystems。

NS 是一个建立在 C++语言和 Otcl 语言基础上的面向对象仿真器。它利用 C++语言描述程序的主体、算法和协议中要处理的字节和包头;也利用 Otcl 交互式地改变程序参数的特点来完成仿真过程中的参数调整;还利用 tclcl 语言完成 C++和 Otcl 间的参数传递。

在数据结构方面,NS 采用类似于 OSI 七层网络协议的分层方式(表 1.1),利用简单的 API 接口实现层与层之间的连接。这种接口方式不但有利于将不同开发者开发的模型整合在一起,而且有利于新代码轻松地加入到 NS 的原有代码中。

1.4.2 GloMoSim 仿真软件

GloMoSim 是 UCLA 在 PARSEC(PARallel Simulation Environment for Complex Systems)并行语言环境上开发的并行网络仿真器。并行网络仿真软件的研究起源于有线网,开始时用于 ATM 网络仿真、LAN 仿真和并行计算机连接网络的仿真。GloMoSim 设计的主要目的是通过并行仿真来缩短仿真的执行时间,实现规模为百万节点的网络模型仿真。和 NS 仿真软件一样,GloMoSim 也采用类似于 OSI 七层网络协议的分层方式(表 1.1),也通过定义简单的 API 接口实现层与层之间的连接。

表 1.1 NS 和 GloMoSim 实现的主要网络层的模型

模型 层	NS	GloMoSim	共有
物理层	Two-ray ground reflection, Shadowing	Rayleigh, Rician, SIRCIM	Free space
数据层	TDMA	CSMA, MACA, MACAW, FAMA	802.11
网络层	DSDV, DSR, TORA	DSR, ODMRP, ZRP	ADOV
传输层	TCP, UDP		
应用层		CBR	Telnet, FTP

为了实现大规模网络的仿真, GloMoSim 在并行的基础上采用了节点集和网络层集技术来降低网络规模对系统资源的要求。节点集是仿真过程中一个地理区域内的节点的集合, 处理器以串行的方式处理集合中所有节点的活动。通过节点集的方式, GloMoSim 仿真器不但可以在并行处理的过程中减少节点间通信造成的处理器间的通信, 而且可以减少仿真过程中节点为了保存和处理过多的无关信息对系统资源的占用。

在仿真过程中, 经常存在多个网络层访问同一个共享变量的情况。例如, 当某个网络层要使用处理器的时候, 它要访问一个共享变量来确定处理器是否可用。如果每一个网络层为一个实体(PARSEC 语言中的并行处理的基本单位), 那么将有过多的实体存在于仿真过程中。因此, PARSEC 程序不但无法通过一种有效的方式来访问这样一个共享变量, 而且它的实体间的通信还要求每个实体大量地保留其他实体的信息。这些开销将严重影响仿真的规模和性能。GloMoSim 可以将所有的网络层放在一个实体中, 降低网络规模对系统资源的要求。