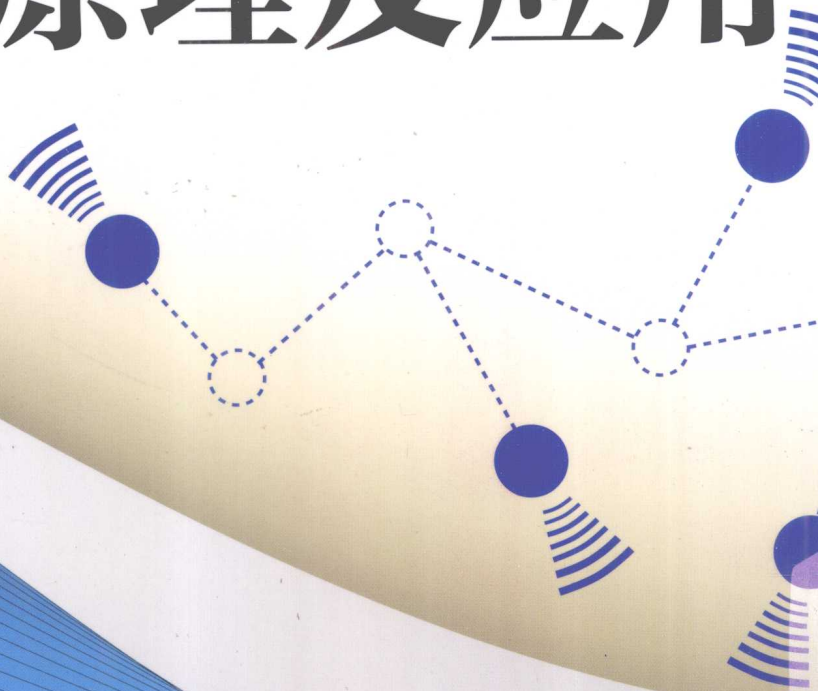


■ 唐宏 谢静 鲁玉芳 唐伦 编著

无线传感器网络 原理及应用



■ 唐宏 谢静 鲁玉芳 唐伦 编著

无线传感器网络 原理及应用

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

无线传感器网络原理及应用 / 唐宏等编著. -- 北京
: 人民邮电出版社, 2010.8
ISBN 978-7-115-22896-3

I. ①无… II. ①唐… III. ①无线电通信—传感器
IV. ①TP212

中国版本图书馆CIP数据核字 (2010) 第074753号

内 容 提 要

本书对无线传感器网络的众多关键技术, 如网络体系结构、MAC 层协议、路由协议等做了详细而深入的描述, 同时还着重探讨了无线传感器网络的开发和应用, 安排了无线传感器网络的硬件开发、嵌入式操作系统 TinyOS 和 MiniOS 等内容。最后, 针对无线传感器网络应用方面的最新成果进行全面介绍, 有助于读者开拓视野, 打开研究思路。

本书既注重基础理论知识, 又注重技术的工程实用性, 可作为通信与信息系统、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、教辅和教学参考书, 也可作为对无线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用书。

无线传感器网络原理及应用

- ◆ 编 著 唐 宏 谢 静 鲁玉芳 唐 伦
责任编辑 青晓琴
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市海波印务有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 11 2010 年 8 月第 1 版
字数: 265 千字 2010 年 8 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-22896-3

定价: 32.00 元

读者服务热线: (010)67119329 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

无线传感器网络集传感技术、无线通信技术、网络互联技术以及分布式计算技术等为一体,具备部署快速、节点众多、自组织成网、较强的抗毁和自愈能力等优点。它是由一些微型传感器节点组成的网络,能够实时监测和采集各种监测对象的信息并传送到用户进行分析和利用。它通过携带能量有限的电池来供应能量,通常部署在区域环境复杂,甚至工作人员不能到达的场合,而且成本较低,在军事、环境监测、气象、工业控制、外层空间探索等领域具有十分重要的作用。

由于无线传感器网络将给人类社会生活生产等带来深远的影响,发达国家非常重视无线传感器网络的发展。我国也很早就开始了传感网技术的研究,目前,传感网标准体系已经形成了初步的框架。在市场方面,无线传感器网络已经成为政府推进物联网发展的首要着力点,有专家预计我国无线传感器网络市场将在未来一段时间内以超过 200%的年均复合增长率增长。

- 1 -

传感器网络的一些典型应用。

本书由唐宏担任主编，参加编写的人员还有谢静、鲁玉芳、唐伦、何春燕、于晓、吴财生等，王莉、祁小楼、梁小芳、牛艳萍、苑学明、方文平、孙伟等对本书的编写提供了大力帮助。本书还得到重庆邮电大学重庆市移动通信重点实验室、重庆邮电大学移动通信教育部工程研究中心及各位同事的大力支持，在此一并表示感谢。同时，本书还获得了重庆邮电大学出版基金资助。

无线传感器网络是当今网络技术研究的热点，各种技术和应用发展非常迅速，限于作者的水平，书中难免有错误或不足之处，敬请广大读者批评指正。

作者
2010年2月

目 录

第1章 无线传感器网络概述	1
1.1 无线传感器网络的发展历程	1
1.2 无线传感器网络的基本结构	2
1.3 无线传感器网络的关键性能指标	3
1.3.1 网络的工作寿命	3
1.3.2 网络覆盖范围	4
1.3.3 网络搭建成本和难易程度	4
1.3.4 网络响应时间	5
1.4 无线传感器网络的关键技术	5
1.4.1 QoS 保证	5
1.4.2 数据融合技术	6
1.4.3 网络安全机制	6
1.4.4 定位技术	7
1.4.5 同步管理机制	7
1.4.6 无线通信网络技术	8
1.4.7 嵌入式实时系统软件技术	8
1.4.8 相关的硬件技术	8
1.5 无线传感器网络的应用范围	9
1.5.1 环境监测	9
1.5.2 军事领域	9
1.5.3 医疗健康	9
1.5.4 交通管理	10
1.5.5 智能家居	10
1.5.6 空间探测应用	10
第2章 无线传感器网络基础	11
2.1 无线传感器网络体系结构	11
2.1.1 无线传感器网络结构	11
2.1.2 无线传感器网络节点结构	15
2.1.3 无线传感器网络协议结构模型	17
2.2 无线传感器网络的特征	22
2.2.1 与现有无线网络的区别	22
2.2.2 无线传感器网络的特点	26
2.2.3 无线传感器网络的性能评价指标	27
第3章 无线传感器网络路由协议	29
3.1 路由协议概述	29
3.1.1 无线传感器网络路由协议的考虑因素	29

3.1.2 路由的过程	30
3.1.3 无线传感器网络路由协议分类方法	32
3.2 平面路由协议和层次路由协议	33
3.2.1 平面路由协议	33
3.2.2 层次路由协议	36
3.2.3 平面路由协议和层次路由协议比较	40
3.3 能量感知路由	41
3.3.1 能量消耗源	41
3.3.2 能量路由	42
3.3.3 能量多路径路由	42
3.4 基于查询的路由	44
3.4.1 定向扩散路由	44
3.4.2 谣传路由	46
3.5 地理位置路由	47
3.5.1 GEAR 路由	48
3.5.2 GAF 路由	50
3.5.3 GPSR 路由	52
3.5.4 其他位置路由	53
3.6 可靠路由协议	54
3.6.1 不相交多路径路由机制	54
3.6.2 ReInForM 路由	56
3.6.3 SPEED 协议	58
3.7 路由协议自主切换	59
3.8 小结	60
第 4 章 无线传感器网络 MAC 层技术	61
4.1 MAC 层技术概述	61
4.1.1 无线传感器网络特点对 MAC 协议的影响	61
4.1.2 无线传感器网络 MAC 协议的设计准则	63
4.1.3 无线传感器网络 MAC 协议分类	65
4.2 IEEE 802.11 协议	66
4.2.1 IEEE 802.11 网络拓扑结构	66
4.2.2 IEEE 802.11 协议 MAC 层的工作模式	68
4.2.3 分布式协调功能 (DCF)	70
4.2.4 集中式协调功能 (PCF)	72
4.2.5 DCF 与 PCF 机制的局限性	74
4.2.6 IEEE 802.11 的 QoS 保障	74
4.3 小结	75
第 5 章 常用 MAC 层协议简介	76
5.1 基于竞争方式的 MAC 协议	76

5.1.1 S-MAC 协议	76
5.1.2 T-MAC 协议	85
5.1.3 Sift 协议	89
5.1.4 S-MAC Sift 协议	90
5.1.5 WiseMAC 协议	91
5.1.6 其他基于竞争的 MAC 协议	92
5.2 基于时分复用的 MAC 协议	94
5.2.1 基于分簇网络的 MAC 协议	94
5.2.2 AL-LMAC 协议	95
5.2.3 TRAMA 协议	96
5.2.4 DMAC	97
5.2.5 其他基于时分复用的 MAC 协议	100
5.3 TDMA 和 FDMA 结合的协议	101
5.4 小结	103
第 6 章 无线传感器网络硬件开发	105
6.1 无线传感器网络硬件开发需考虑的因素	105
6.1.1 无线传感器网络的应用类别	105
6.1.2 无线传感器节点的设计要求	107
6.2 节点的组成与核心模块设计	108
6.3 节点设计实例	113
6.3.1 无线传感器网络节点的结构	114
6.3.2 微控制单元芯片选择和设计	114
6.3.3 无线传输单元芯片选择和设计	117
6.3.4 传感器模块芯片选择和设计	122
6.4 小结	126
第 7 章 嵌入式操作系统	127
7.1 传感器节点对操作系统的需求	127
7.2 TinyOS 操作系统	127
7.2.1 简介	127
7.2.2 基于组件的体系结构	128
7.2.3 任务调度机制	130
7.2.4 通信机制	131
7.3 MiniOS 操作系统	132
7.3.1 MiniOS 简介	132
7.3.2 MiniOS 的进程管理	133
7.3.3 系统时钟服务	135
7.3.4 MiniOS 的内存管理	135
7.3.5 通信与同步	136
7.3.6 中断过程及处理	138

7.4 小结	139
第 8 章 无线传感器网络应用	140
8.1 军事领域的应用	140
8.1.1 智能尘埃	141
8.1.2 目标定位和跟踪	143
8.1.3 防核生化袭击	145
8.1.4 灵巧传感器网络 (SSW)	145
8.1.5 WSN 在协同作战中的应用	145
8.2 无线传感器网络用于城市交通管理	146
8.2.1 智能交通系统	147
8.2.2 智能公交系统	148
8.3 环境科学的应用	148
8.3.1 环境监测	149
8.3.2 无线温室监测系统	151
8.3.3 詹姆斯保护区研究项目	153
8.3.4 PODS 研究项目	153
8.3.5 森林火灾监测系统	154
8.3.6 无线传感器在煤田监测中的应用	155
8.4 医疗健康方面的应用	155
8.4.1 医疗检测领域常用传感器	156
8.4.2 远程医疗监护系统	158
8.4.3 呼吸医疗监视仪	159
8.4.4 药物生产监控系统应用	159
8.4.5 药物临床实验监控系统应用	161
8.4.6 无人智能药物超市应用	161
8.4.7 住院患者管理	162
8.5 无线传感器网络技术在室内环境的应用	163
8.5.1 智能家居系统	163
8.5.2 智能建筑系统	164
8.6 其他应用	165
8.7 小结	166
参考文献	167

第 1 章

无线传感器网络概述

1.1 无线传感器网络的发展历程

随着社会的不断发展，各类科学技术也在飞速进步并且深刻地影响着我们的生活环境，很大程度上改善了我们的生活质量。尤其是信息技术的发展，使得人类置身于信息时代，信息技术在我们的生活中变得越来越普遍，也越来越重要。

在众多信息技术中，传感器技术作为获取信息最重要也是最基础的技术得到极大的发展，其应用领域也越来越广。它作为基础科学出现在物联网、智慧地球等新兴概念中，在后者的研究、发展过程中发挥着举足轻重的作用。随着现代传感器技术的发展，人们的信息获取技术已经从过去的单一化渐渐向集成化、微型化和网络化方向发展，这些变化推动了无线传感器网络（Wireless Sensor Networks, WSN）的发展。

无线传感器网络是由在空间上相互离散的众多传感器互相协作组成的传感器网络系统，使得分布于不同场所的数量庞大的传感器之间能够实现更加有效、可靠的通信。无线传感器网络的发展将帮助物联网等前沿科学实现社会生产生活中信息感知能力、信息互通性和智能决策能力的全面提升，进而增强整个系统的性能。

传感器网络经历了一个长期的发展过程。在 20 世纪 70 年代，出现了利用点对点传输技术以及专门的连接传感控制器将传统传感器连接起来，从而构成传感器网络的雏形，这就是第一代传感器网络。随着相关学科的不断发展和进步，传感器网络也具有了获取多种信息信号的综合处理能力，采用串/并接口（如 RS-232、RS-485）与传感控制器相连，构成具有信息综合和处理能力的传感器网络，这是第二代传感器网络。第三代传感器网络出现在 20 世纪 90 年代后期和 21 世纪初，用能够智能获取多种信息信号的传感器，采用现场总线连接传感控制器，构成局域网络，成为智能化传感器网络。第四代传感器网络就是目前的研究热点——无线传感器网络，该网络采用大量具有多功能多信息信号获取能力的传感器，特别重要的变化则是传感器之间采用无线技术进行连接，从而形成无线传感器网络，这是传感器网络本身发展的一个飞跃。这将使技术进一步发展，应用范围得到极大的扩展。传感器网络的发展历程如图 1-1 所示。

无线传感器网络的研究起始于 20 世纪 90 年代末期。自 1999 年把中间件技术引入无线传感器网络中之后，就有很多研究机构开始从不同的侧面进行研究。而大多数针对无线传感器

网络的特性而开展的中间件的开发工作都集中在延长网络的生命期和如何使用网络的有限资源方面。美国的加州大学伯克利分校、康奈尔大学等学校开始了传感器网络的基础理论和关键技术的研究。由于无线传感器网络的巨大应用价值，它已引起世界许多国家的军事部门、工业界和学术界的极大关注。从 2000 年起，国际上开始出现一些有关传感器网络研究结果的报道，美国自然科学基金委员会于 2003 年制定了传感器网络研究计划，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，把传感器网络作为一个重要研究领域，设立了一系列的军事传感器网络研究项目；美国英特尔公司、微软公司等信息业巨头也开始了传感器网络方面的研究工作；日本、德国、英国、意大利等科技发达国家也对无线传感器网络表现出了极大的兴趣，纷纷展开了该领域的研究工作。

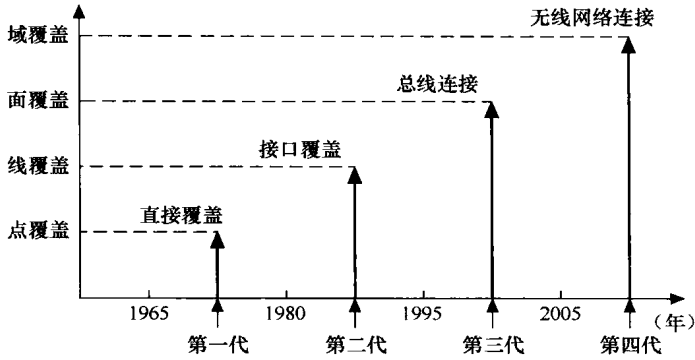


图 1-1 传感器发展历程

在国内，一些大学和科研机构的研究人员已开始关注这一全新的网络技术，研究进展十分迅速，并取得了较为丰富的研究成果。特别是进入 21 世纪后，他们对无线传感器网络的核心问题提出了许多新颖的思想和解决方案。但是，从总体上说这个领域的研究尚处于一个起步的阶段，已有的研究工作正在为该领域提出越来越多需要解决的问题。尽管无线传感器网络目前仍处于初步应用阶段，但随着各个关键问题的解决以及传感器节点价格的逐步下降，未来 10 年内无线传感器网络将得到广泛应用。

1.2 无线传感器网络的基本结构

无线传感器网络技术综合了传感器技术、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，具有多学科高度交叉、技术高度集成的特点。传感器节点之间通过无线方式，采用自组装多跳的形式组成一个传感器网络，利用各类集成化微型传感器实施监测、感知和采集各种环境信息或监测对象的信息。这些收集到的信息以无线方式通过多跳路径传送到用户终端，传输过程中会对信息进行各种处理，使其能够满足特定对象的需求（如以图表等形式出现在人们眼前等），从而实现物理世界、计算世界以及人类社会三元世界的连通。

传感器网络可以用最低的成本达到最大的灵活性，可以连接任何有通信需求的终端设备，采集数据或发送指令。在实际应用过程中，可以将数百个乃至上千个传感器或执行单元设备任意抛撒在所需的场地，经过一段有限的时间，各节点之间可以按照各种协议建立起任意两点之间的信息传播路径，因此可以从其中任何一个传感器单元获取所有其他传感器单元的信

息。同时，由于是无线自组织的双向通信网络，传感器网络能以最大的灵活性自动完成不规则分布的各种传感器与控制节点的组网，同时具有较强的动态调整能力，某些网络还具有一定的移动能力。

无线传感器网络由许多个功能相同或不同的无线传感器节点组成，如图 1-2 所示。在某个应用区域分布着很多的无线传感器网络节点，各节点之间通过无线方式传输信息，图中带箭头连线表示可能的信息传输路径。每一个传感器节点包括数据采集模块（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）等部分，节点在网络中可以充当数据采集者、数据中转站或类头节点（Cluster-head Node）的角色。作为数据采集者，数据采集模块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远方基站（Base Station）或网关节点（Sink Node）；作为数据中转站，节点除了完成采集任务外，还要接收相邻节点的数据，将其转发给距离基站更近的相邻节点或者直接转发到基站或网关节点；作为类头节点，则要负责收集该类中所有节点采集的数据，经过数据融合后，发送到基站或汇聚节点。

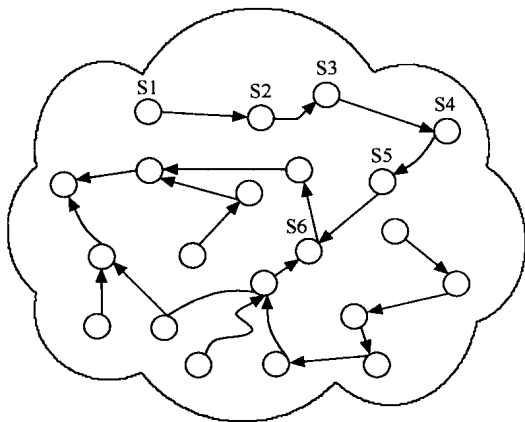


图 1-2 无线传感器网络

1.3 无线传感器网络的关键性能指标

根据无线传感器网络的特有结构及应用的特殊要求，可以总结出无线传感器网络系统的关键性能评估指标：网络的工作寿命、网络覆盖范围、网络搭建的成本和难易程度、网络响应时间。这些评定指标之间是相互关联的，通常为了提高其中一个指标必须降低另一个指标，比如降低网络的响应时间性能可以延长系统的工作寿命。这些指标构成的多维空间可以用于评估一个无线传感器网络系统的整体性能。

1.3.1 网络的工作寿命

任何一个传感器网络搭建之前首先要考虑的就是系统的工作寿命。环境数据采集和安全监测应用中的网络节点一般都布置在无人区域，常常需要数月甚至几年的工作寿命，长期保持稳定的工作状态显得尤其重要。

影响网络工作寿命的首要因素是能源供给。每个网络节点必须能够管理自身的能源供给以使网络寿命最大化。节点的最小工作寿命往往会成为限制网络系统正常工作的重要因素，例如安全监测应用中任意一个节点的失效都可能使系统失效。在某些应用场合中，网络可以采用外部电源供电，如采用相关建筑物的供电系统对部分甚至全部网络节点供电。然而，对于无线传感网络系统来说，首要的优点是网络搭建的简易性，采用外部供电方式恰恰削弱了无线传感网络的这一优点，但开发者可以采取折中的方法，即只对很少的特殊节点采用外部

供电的方式。

多数的应用场合中大部分网络节点还是采用自身供电方式，其能源储备能够维持数年时间，或者这些网络节点能够通过附加设备从所在环境中获取能源，例如太阳能电池和压电换能装置，选择这些供电方式的前提是节点的平均功耗足够低。在已经确定了能源供给的情况下，决定系统工作寿命最主要的因素是无线收发器的功耗大小。网络节点无线收发器的功耗是网络系统最主要的功耗，可以通过降低传输信号的输出功率或者降低无线收发器的工作频率来降低功耗，但不管哪种方法都会影响网络系统其他方面的性能。

1.3.2 网络覆盖范围

无线传感器网络的第二大性能指标是网络的覆盖范围。对于一个实际网络来说，能够覆盖更大的范围通常是更有意义的事情，而且终端用户使用也会更方便。在无线传感器网络中，覆盖范围不仅仅局限于单个节点的无线通信距离，因为采用多跳通信技术可以大大扩展网络的覆盖范围，理论上可以无限地扩展网络的覆盖范围，但在实际应用中，覆盖范围越大，也就预示着信息传递所需经过的节点越多，同时对于处于关键路径的节点来说，需要传输的次数也会越多，从而增加网络节点的功耗，降低网络的工作寿命。

和覆盖范围相关的是网络容纳节点的数量，即可扩展性。可扩展性是无线传感器网络的一大优点。网络用户可以先组建很小的网络，随后不断增加传感器节点以采集更多的信息。该网络采用的技术必须能满足其网络扩展的要求。与此同时，在网络扩展过程中，必须注意这样的问题：增加系统中网络节点的数量会影响到系统的工作寿命和采样速率。因为更多的节点意味着更多数据的无线传输和更多的功耗，并且原来的采样周期也会相应增加。

1.3.3 网络搭建成本和难易程度

网络搭建容易是无线传感器网络的突出优点。由于无线传感器网络通常可以自组织网络，因此施工人员就无需了解其底层的通信机制，没有经过特别培训的人员也可以在其关心的区域中组建简易的无线传感器网络。理想情况下，传感器网络可以根据任意的节点布置方式自组织网络。但是在真实的应用环境中，不同的场景和目的制约着节点的布置方式，节点不可能任意无限制地布置，所以在搭建网络时，无线传感器网络还应该能够自我评定网络组建的性能以及指示潜在的问题，这就要求任意一个节点都可以发现与其相关的链路信息并评定其链接性能。

在无线传感器网络的整个生命周期中，系统还必须能够根据环境的变化自适应地重组网络。部分节点可能需要重新布置，或者会有外部的干扰影响部分节点的通信，这些因素的存在都要求网络能够自动地重新配置资源或者给用户明确的指示。

网络的初始布置和配置只是网络系统生命周期中的第一步。从长远角度看，系统成本还包括更多的网络维护费用，对于安全监测的应用网络特别要保证其系统性能的鲁棒性。除了组建网络前须要进行软硬件测试之外，还必须建立具备自维护功能的传感器系统，而且在需要额外维护时还能产生要求维护的请求。

在实际组建的网络中，系统维护和确认将会消耗一部分网络资源，网络诊断和重新设置也将减少网络的工作寿命，同时还会降低网络的采样速率。

1.3.4 网络响应时间

每个网络都存在一个特定的响应时间,对于大多数的无线传感器网络的应用来说,其响应时间可能不会有非常严格的要求,但是在安全监测类系统中,网络的响应时间是主要的评定指标,即发生安全异常事件时必须立即发送警报消息。尽管节点大部分时间处于低功耗状态,但是一旦发生异常事件,节点必须能尽快实时传送优先级最高的警报消息序列。响应时间在环境监测的应用网络中显得同样重要,例如工业规划设计者设想将无线传感器网络用于工业过程控制,只要响应时间满足应用要求,网络系统就可以保证实际的应用。

但是快速响应时间和网络工作寿命是相互制约的,如果每分钟开启一次无线收发器,系统的平均功耗相对较低,然而这在安全监测网络中将无法满足实时监测的要求。如果节点采用外部供电方式使之一直处于工作状态,可以随时侦听警报消息并发送到基站,这样就可以保证快速的响应时间,但同时也增加了网络布置的难度。

1.4 无线传感器网络的关键技术

无线传感器网络是信息、感知与采集和计算模式的一场革命。无线传感器网络作为一个全新的研究领域,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,这里介绍其中几个尤其关键的技术。

1.4.1 QoS 保证

在无线传感器网络的研究和应用中,QoS (Quality of Service, 服务质量) 问题最近才引起人们的关注,特别是基于无线传感器网络的图像、视频和流媒体等多媒体信息的传输需求的急剧增加,给无线传感器网络的设计者带来了极大的挑战。无线传感器网络是带宽和能量都受限制的网络,而多媒体信息的传输对延迟、网络吞吐率和带宽等都有较高的需求。对于特定的应用,为了满足用户的需求,必须提供 QoS 保证。

无线传感器网络 QoS 模型,实质就是网络 and 用户的 QoS 信息的交互模型,网络为用户提供 QoS 支持,而用户给网络提出 QoS 需求。由于网络体系结构中每个层次都有不同的 QoS 需求,如 MAC 层需要物理层提供信道的信噪比以确定选择哪个质量较佳的信道进行用户接入和传输,网络层需要 MAC 提供信道的使用情况以决定选择哪条业务最不拥塞的路径路由数据,传输层也需要网络和 MAC 层的状态信息以便满足用户的传输差错率需求,因此,根据用户具体应用的不同,恰当地选择合适的 QoS 保证机制,是无线传感器网络 QoS 保证技术未来研究的主要课题。

在设计无线传感器网络 QoS 保证机制时,不但要考虑来自用户应用的需求,还要对系统网络的特点和结构做深入的分析,在处理传感器网络的 QoS 业务时,还应该注意以下几个方面:网络带宽的限制、消除冗余数据传输、能量和延迟的平衡、节点缓存大小的限制和多业务类型的支持。

当前无线传感器网络 QoS 保证技术研究的目标和挑战主要体现在以下 3 个方面:

- 带宽的有效利用；
- 能量使用的最小化；
- QoS 的支持不仅包括 QoS 保证机制，而且还应当包括 QoS 控制。

1.4.2 数据融合技术

在无线传感器网络应用中，由于各节点采集到的数据有大量的冗余数据，同时受制于节点的能源和通信带宽的影响，各个节点单独传输数据到汇聚节点的方法是不合适的，因此引入了一种称为“数据融合”（或称为“数据汇聚”）的技术。所谓数据融合，就是对收集到的多份数据或信息进行处理，组合出更高效、更符合用户需求的数据的过程。对于无线传感器网络的应用，很多时候用户只关心监测结果，并不需要接收大量的原始数据，因此数据融合是处理该类问题的有效手段。

数据融合技术具有以下几个作用。

- 节省能量：在部署无线传感器网络时，为了保证整个网络的可靠性和监测信息的准确性（即保证一定的精度），配置节点时考虑了一定的冗余度，因此监测区域周围的节点采集的数据会非常接近或相似，即数据的冗余程度较高。如果把这些数据全部传输，除了消耗更多的能源，并不会带来更多的收益，因此需要采用数据融合技术消除冗余数据。
- 获取更准确的信息：由于受到环境变化的影响，来自传感器节点的数据存在着较高的不可靠性，通过对监测同一区域的传感器节点采集的数据进行综合，可以有效地提高获取信息的精度和可信度。
- 提高数据收集效率：通过进行数据融合，可以减少网络数据的传输量，从而降低传输拥塞概率，降低数据传输延迟，减少传输数据冲突碰撞现象，可在一定程度上提高网络收集数据的效率。

1.4.3 网络安全机制

同其他无线网络一样，安全问题是无线传感器网络必须重点考虑的问题。由于采用的是无线传输信道，传感器网络存在窃听、恶意路由、消息篡改等安全问题。同时，无线传感器网络的有限能量和有限处理、存储能力两个特点使安全问题的解决更加复杂。在无线传感器网络的某些应用当中，如居民小区的无线安防网络、军事上在敌控区监视对方军事部署的无线传感器网络等，安全问题显得尤为重要。

无线传感器网络的安全和一般网络的安全出发点都是相同的，都面临一些共同的问题，如保密性问题、点对点消息认证问题、完整性鉴别问题、时效性问题、认证组播和广播问题以及安全管理问题。这些共性问题在各个协议层都应当充分考虑，只是每个层次研究和实现的侧重点不同。

由于无线传感器网络具有一些非常显著的特点，因此安全问题的解决方法也不尽相同，在进行无线传感器网络的安全机制设计时，必须考虑到如下一些问题：

- （1）受制于有限的计算能力和存储空间，密钥过长、时间和空间复杂度较大的安全算法不适合无线传感器网络，而以定制的流加密和块加密的 RC4/6 等一系列算法却比较适合。
- （2）缺乏后期节点部署的预备知识，在网络部署前节点之间的连接性是未知的，因而无

法使用公共密钥安全体系,这种网络要实现点对点的动态安全连接是非常困难的。

(3) 部署区域的物理安全无法保证,对于敌占区部署的无线传感器网络本身就存在物理上的不安全因素,如何及时撤出或销毁被俘获节点是一个必须考虑的问题。

(4) 无线传感器网络单个节点带宽有限,并且能量也非常有限,这两个特征对于整个网络的安全和完备的影响极大,制定安全机制时必须加以考虑。

(5) 对于某一个实用的无线传感器网络,在制定安全机制时,必须着眼于整个网络的安全问题,而不能只局限在某一个节点、某一些节点或者点到点之间传输的安全问题。

1.4.4 定位技术

在无线传感器网络的应用中,绝大多数情况下需要有节点位置信息,否则采集到的数据将不具备任何意义,尤其是关于环境监测、桥梁结构变化监测、管道泄漏检测等,发生地点的地理位置信息非常重要。地理信息除了用来报告事件发生的地点外,还可用于目标跟踪、目标轨迹预测、协助路由以及网络拓扑管理等。

目前最常用的定位技术是全球定位系统 GPS (Globe Position System)。GPS 是目前最成熟的定位系统,通过卫星的授时和测距来对用户节点进行定位,具有较高的定位精度,实时性较好,抗干扰能力强。但是, GPS 技术定位只适合于视距通信的场合,即室外无遮挡的环境,用户节点通常能耗高、体积较大且成本较高,并不适合低成本自组织无线传感器网络。

无线传感器网络由于资源和能量受限,因此对定位算法和定位技术都提出了较高的要求。其定位技术或定位算法通常需要具备以下 4 个重要特征:

- 自组织特性,节点可能随机分布或人工部署;
- 能量高效特性,尽量采用低复杂度的定位算法,减少通信开销,延长网络寿命;
- 分布式计算特性,各个节点都计算自己的位置信息;
- 鲁棒性,可能监测数据有误差,要求定位算法具有良好的容错性。

1.4.5 同步管理机制

同步管理主要是指时间的同步管理。而在分布式无线传感器网络应用中,每个传感器节点都有自己的本地时钟,不同节点的晶振频率存在偏差,温度和电磁波的干扰也会造成节点之间的运行时间偏差。而无线传感器网络本质上是一个分布式协同工作的网络系统,很多应用都要求网络节点之间相互协同配合,因此时间同步是同步管理机制的重要内容。

传统无线网络中,时间同步机制已经得到广泛应用,如网络时间协议 NTP (Network Time Protocol) 就是因特网中普遍采用的时间同步协议。另外, GPS 和无线测距技术也可以用来提供网络的全局时间同步。由于传感器网络本身的特点,节点体积和造价都不能太高,故设计时间同步机制必须考虑节点的体积、造价成本、能耗以及应用相关等约束条件的影响。

首先,传感器节点需要彼此并行操作和协作,以完成复杂的监测和感知环境的任务。数据融合是这种并行操作的典型实例,不同的节点采集的数据集合构成一个有意义的结果。例如,在车辆跟踪系统中,传感器节点记录车辆的位置和时间并传送给网关汇聚节点,然后结合这些信息估计车辆的位置和速度。如果传感器节点缺乏统一的时间同步,车辆的位置估计将是不准确的。

其次,许多节能方案是利用时间同步来实现的。例如,传感器可以在适当的时候休眠,在需要的时候再唤醒。当应用这种节能模式时,网络节点应该在相同的时间休眠和唤醒,也就是说当数据到来时,节点的接收器并没有关闭。

无线传感器网络时间同步机制设计的目的是为网络中所有节点的本地时钟提供共同的时间戳,一般关注以下几个主要性能参数。

- 能量效率:指达到同步所需要的时间以及消耗的能量。同步需要的时间越长,消耗的能量越多,同步的效率就越低。
- 可扩展性及健壮性:时间同步机制应该支持有效扩展网络中节点的数目或者密度,还能保证在某些节点被破坏的情况下,时间同步机制应继续保持有效并且功能健全。
- 精确度:它的需求因特殊的应用和时间同步的目的而有所不同,对于某些应用,知道时间和消息的先后顺序就足够了;然而某些应用则要求较高的同步精度。
- 有效同步范围:可以是物理上的地理范围,也可是逻辑范围,如网络路由的跳数。时间同步机制可以给网络内所有的节点提供时间,也可以给局部区域内的部分节点提供时间。
- 成本和尺寸:实现同步机制需要特定的硬件,必须保证成本较低且体积较小。

1.4.6 无线通信网络技术

无线传感器网络的高度自组织和多跳通信特点,使适用于无线传感器网络的专用无线通信软硬件技术,尤其是无线通信软件技术成为一个全新的研究领域。同时,由于无线通信网络的功能与性能成为决定无线传感器网络应用成败的关键,因此它也作为无线传感器网络应用研究的核心任务之一受到更多的重视与关注。

1.4.7 嵌入式实时系统软件技术

无线传感器网络节点是一个典型的嵌入式系统。同时,由于无线通信的异步特性和传感器节点本身的信息采集等功能又要求系统对各种外部事件实时反应,这就决定了无线传感器网络节点同时又是一个实时系统。因此,无线传感器网络节点的软硬件设计必须要满足嵌入式系统和实时系统的双重要求。

1.4.8 相关的硬件技术

现代计算机技术的发展,给人类文明带来了巨大的影响。计算机应用系统的输入硬件主要是各种传感器,传感器技术的落后会极大地限制计算机功能的发挥,如同人具有发达的大脑而没有灵敏的五官一样。传感器的发展将使计算机的功能得到充分的利用,只有传感器与计算机技术协调发展,才能设计出真正满足需求的实用系统。

自1971年微型计算机问世以来,随着大规模集成电路制造技术的不断发展,微型计算机的发展出现了两个分支:一个是向高速度、高性能的高档方向发展,如PC、大型机就是这一发展方向的成果;另一个是向功能有限但稳定可靠且微型廉价的嵌入式方向发展,这就产生了把中央微处理器(CPU)、随机存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、定时器/计数器以及各种IO控制器电路等主要的计算机部件集成在同一片芯片上的完整的计算机系统。正是后