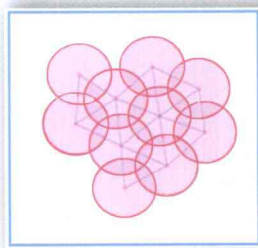
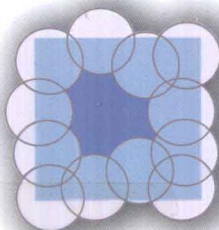


物联网应用技术系列教材

无线传感器网络技术

江南大学物联网工程学院 彭力 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

★★★★ |||||★★★★
物联网应用技术系列教材

无线传感器网络技术

江南大学物联网工程学院 彭 力 编著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2011

内 容 简 介

无线传感器网络是物联网的重要分支,本书结合作者长期以来在领域的研究工作,全面系统地阐述了当前无线传感器网络研究领域中的关键技术问题、研究成果和应用技术。全书共分为8章,内容涉及无线传感器网络概述、拓扑控制、节点技术、定位技术、目标跟踪技术、时间同步技术、安全技术、软硬件平台设计等。

本书既可作为物联网工程、传感器网络技术、通信工程等专业大专、本科生和研究生教材,也可供无线传感器网络研究领域的相关科研工作者及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

无线传感器网络技术/彭力编著. —北京:冶金工业出版社, 2011. 1

ISBN 978-7-5024-5468-5

I. ①无… II. ①彭… 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 227872 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 程志宏 美术编辑 张媛媛 版式设计 孙跃红

责任校对 王贺兰 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5468-5

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2011 年 1 月第 1 版, 2011 年 1 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 9.75 印张; 231 千字; 144 页

22.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

无线传感器网络是物联网的重要分支，是随着无线通信、嵌入式计算技术、传感器技术、微机电技术以及分布式信息处理技术的进步而发展起来的一门新兴的信息获取技术，是当前在国际上备受关注、涉及多学科、高度交叉、知识高度集成的前沿热点研究领域。无线传感器网络采用自组织方式配置大量的传感器节点，通过节点的协同工作来采集和处理网络覆盖区域中的目标信息，是一个集数据采集、数据处理、数据传输于一体的复杂系统，它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，这些信息通过无线方式被发送，并以自组多跳的无线传播方式传送到用户终端，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。

无线传感器网络具有分布式处理的监测精度高、容错性能好、覆盖区域大、可远程监控等优点，已成为国内外研究的热点。随着传感器技术和通信技术的进一步发展，因其应用的广泛性和多样性而越来越受到人们的高度重视，在军事和民用方面均有着非常广阔的应用前景，如军事侦察、环境监测、医疗监护、地震、气候预测、空间探索以及物联网应用等领域。

无线传感器网络潜在的实用价值，也已引起许多国家学术界和工业界的高度重视，被认为是对21世纪产生巨大影响力的技术之一。早在2003年，美国商业周刊在其“未来技术专版”中指出，效用计算、传感器网络、塑料电子学和仿生人体器官是全球未来的四大高技术产业，它们将掀起新的产业浪潮。与此同时，MIT技术评论 Technology Review 在预测未来技术发展的报告中指出，无线传感器网络将是未来改变世界十大新兴技术之首。

本书是在作者多年对无线传感器网络的理论研究和教授研究生课程的基础上编写的，全书总结了当今无线传感器网络研究领域中的研究成果和应用技术，结合作者多年来在该领域取得的若干成果，详细阐述了无线传感器网络研

究中的最新理论和最新方法。内容包括无线传感器网络的概念、组网通信技术、核心支撑技术、自组织管理技术以及应用开发实例等方面。全书结构合理,内容丰富,既可带领初学者迅速入门,也可为有基础的研究人员提供较为系统的参考方案。如果本书能对该领域的研究工作和推动国内无线传感器网络技术的发展有一些帮助的话,这将对所有为本书的出版付出辛勤劳动的参编者最好的鼓励。

本书作者诚挚地感谢参加本书资料收集和整理的老师和同学们,感谢熊伟丽、谢林柏、李稳、秦宁宁老师以及赵龙、向辉、刘刚、张炜研究生付出的辛勤劳动,同时感谢国家自然科学基金(60973095)的资助以及物联网技术应用教育部工程研究中心、轻工过程先进控制教育部重点实验室同事的帮助。

由于水平有限,加之时间仓促,对于书中的缺点和错误,真诚地期望读者给予批评指正。

彭 力

2010年11月于无锡

目 录

第1章 无线传感器网络概述	1
1.1 传感器网络体系结构	1
1.2 无线传感器网络的特征	4
1.2.1 与现有无线网络的区别	4
1.2.2 传感器节点的限制	4
1.2.3 无线传感器网络的特点	5
1.3 无线传感器网络的应用及关键技术	6
1.3.1 无线传感器网络的应用	6
1.3.2 无线传感器网络的发展现状	8
1.3.3 无线传感器网络的关键技术	8
1.3.4 面临挑战	11
1.4 主流无线传感器网络仿真平台	12
1.4.1 基于通用网络的仿真平台	12
1.4.2 基于 TinyOS 的仿真平台	12
1.4.3 仿真平台比较	13
第2章 拓扑控制	15
2.1 概述	15
2.1.1 覆盖	16
2.1.2 连通	16
2.1.3 网络生命期	16
2.1.4 吞吐能力	16
2.1.5 干扰和竞争	17
2.1.6 网络延迟	17
2.1.7 拓扑性质	17
2.2 功率控制	17
2.2.1 基于节点度的功率控制	17
2.2.2 基于方向的功率控制	18
2.2.3 基于邻近图的功率控制	18
2.2.4 XTC 算法	19
2.3 层次性拓扑结构控制	20

2.3.1 LEACH 算法	20
2.3.2 TopDisc 算法	21
2.3.3 GAT 算法	24
2.4 启发机制	24
2.4.1 STEM 算法	25
2.4.2 ASCENT 算法	25
2.5 传感器网络的覆盖控制	26
2.5.1 基于虚拟势场力的传感器网络区域覆盖控制	26
2.5.2 基于市场竞争行为的无线传感器网络连接与覆盖算法	27
2.6 小结	31
第3章 无线传感器网络关键技术	32
3.1 无线传感器网络的路由技术	32
3.1.1 路由协议的分类	33
3.1.2 能量感知路由协议	35
3.1.3 基于查询路由	36
3.1.4 地理位置路由	40
3.1.5 基于 QoS 的路由	42
3.1.6 路由协议自主切换	44
3.2 无线传感器网络的链路层技术	47
3.2.1 能量受限带来的问题	47
3.2.2 由多跳共享带来的问题	47
3.2.3 由大规模自组织要求带来的问题	48
3.2.4 无线传感器网络 MAC 协议	49
3.2.5 基于竞争的 MAC 协议	49
3.2.6 基于时分复用的 MAC 协议	55
3.2.7 其他类型的 MAC 协议	59
3.3 ZigBee 概述	61
3.3.1 ZigBee 与 IEEE802.15.4	61
3.3.2 ZigBee 与 IEEE802.15.4 的区别	61
3.3.3 ZigBee 协议框架	62
3.3.4 ZigBee 的技术特点	63
3.3.5 网络层规范	64
3.3.6 应用层规范	68
3.4 小结	70
第4章 定位技术	71
4.1 定位技术概念、分类和一些常见算法	72
4.1.1 无线传感器网络定位技术概念	72

4.1.2 节点位置计算的常见方法	72
4.2 定位算法分类	74
4.3 基于距离的定位	74
4.3.1 基于 TOA 的定位	75
4.3.2 基于 TDOA 的定位	75
4.3.3 基于 AOA 的定位	76
4.3.4 基于 RSSI 的定位	78
4.4 与距离无关定位算法	78
4.4.1 质心定位算法	79
4.4.2 DV-Hop 算法	80
4.4.3 APIT 算法	81
4.4.4 凸规划定位算法	84
4.5 小结	85
第 5 章 目标跟踪技术	86
5.1 目标跟踪的基本原理及跟踪策略设计要考虑的问题	87
5.1.1 无线传感器网络中目标跟踪的基本原理	87
5.1.2 无线传感器网络跟踪策略设计要考虑的问题	88
5.2 点目标跟踪	88
5.2.1 双元检测协作跟踪	88
5.2.2 信息驱动协作跟踪	90
5.2.3 传送树跟踪算法	92
5.3 面目标跟踪	94
5.3.1 对偶空间转换	94
5.3.2 对偶空间跟踪算法	95
5.4 小结	96
第 6 章 时间同步技术	97
6.1 无线传感器网络时间同步机制	97
6.1.1 影响无线传感器网络时间同步的关键因素	97
6.1.2 无线传感器网络时间同步机制的基本原理	98
6.2 现有时间同步技术分析	100
6.2.1 基于接收者和接收者的时间同步机制	100
6.2.2 基于发送者和接收者的双向时间同步机制	102
6.2.3 基于发送者和接收者的单向时间同步机制	105
6.3 时间同步算法设计	107
6.4 小结	109
第 7 章 安全技术	110
7.1 概述	110

7.2 无线传感器网络中的安全问题	110
7.2.1 通信安全需求	111
7.2.2 信息安全需求	111
7.3 无线传感器网络的安全性分析	112
7.3.1 无线传感器网络的安全挑战	112
7.3.2 无线传感器网络中的威胁分析与对策	112
7.4 无线传感器网络的安全管理体系	116
7.4.1 预共享密钥分配模型	117
7.4.2 随机密钥预分配模型	118
7.4.3 基于位置的密钥预分配模型	124
7.4.4 其他	124
7.5 无线传感器网络的入侵检测技术	125
7.5.1 入侵检测技术概述	125
7.5.2 三种入侵检测方案的工作原理	125
7.6 小结	128
第8章 硬件平台设计	129
8.1 无线传感器网络的硬件开发概述	129
8.1.1 硬件系统的设计特点与要求	129
8.1.2 硬件系统的设计内容	130
8.2 节点的硬件设计	131
8.2.1 处理器模块	131
8.2.2 传感器模块	132
8.2.3 通信模块	133
8.2.4 电源模块	134
8.2.5 外围模块	135
8.3 传感器节点设计实例	136
8.3.1 节点系列简介	136
8.3.2 Mica 系列传感器设计分析	139
8.4 小结	141
参考文献	143

第 1 章 无线传感器网络概述

近年来，信息技术和网络技术的发展给人类社会和国民经济的各个领域带来了巨大而深刻的变化。以 Internet 为代表的信息网络对人们生活方式的影响越来越大，并且在未来的各个领域继续持续发展而不断提高影响力。无线传感器网络（Wireless Sensor Networks, WSN）是一种集成了传感器技术、微机电系统技术、无线通信技术和分布式信息处理技术的新型网络技术。其通过节点间的协作对监控区域的环境或检测对象的信息实时感知、采集和处理，并将处理后的信息传送到感兴趣的网络终端用户。从而使 WSN 成为 Internet 从虚拟世界到物理世界的延伸，成为逻辑上的信息世界与真实物理世界的连接桥梁，将信息世界与物理世界融为一体。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 世纪最有影响力的 21 项技术和改变世界的十大技术之一。传感器网络、塑料电子学和仿生人体器官又被称为全球未来的三大高科技产业。

1.1 传感器网络体系结构

无线传感器网络是由部署在监测区域内大量的廉价微型传感器节点组成，通过无线通信的方式形成一个多跳的自组织的网络系统，其目的是协作感知、采集和处理网络覆盖地理区域中感知对象的信息，并发布给观察者。

无线传感器网络由无线传感器、感知对象和观察者三个基本要素构成。无线是传感器与观察者之间、传感器之间的通信方式，能够在传感器与观察者之间建立通信路径。无线传感器的基本组成和功能包括如下几个单元：电源、传感部件、处理部件、通信部件和软件等，此外，还可以选择其他的功能单元，如定位系统、移动系统以及电源自供电系统等。图 1-1 所示为传感节点的物理结构。传感节点一般由传感单元、数据处理单元、GPS 定位装置、移动装置、能源（电池）及网络通信单元（收发装置）等六大部件组成，其中传感单元负责被监测对象原始数据的采集，采集到的原始数据经过数据处理单元的处理之后，通过无线网络传输到一个数据汇聚中心节点（Sink），Sink 再通过因特网或卫星传

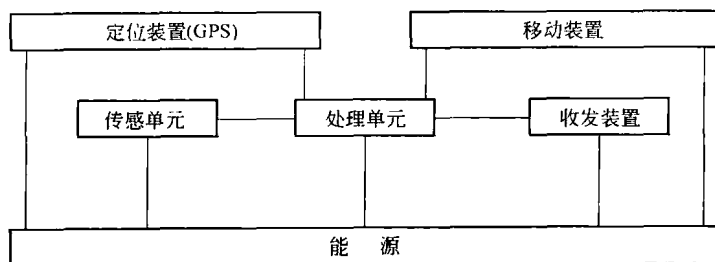


图 1-1 传感节点的物理结构

输到用户数据处理中心。

传感器节点的处理器一般选用嵌入式 CPU, 在存储计算时, 由于传感器节点体积小, 必然导致其携带的处理器能力比较弱, 存储器容量比较小。随着低功耗电路和系统设计技术, 以及电路加工工艺的提高, 目前已经开发出很多超低功耗微处理器, 如 Motorola 的 68HC16、ARM 公司的 ARM7 和 Intel 的 8086 等, 计算能力也得到了大幅度提高。同时对存储技术的研究也使得 Flash 存储器等小体积、大容量、低电压操作、多次写、无限次读的非易失存储介质用于传感器节点制造。传感器节点的能量供应一般采用电池, 目前使用的大部分都是自身存储有限能源的化学电池, 并且节点能量在实施部署后很难进行有效补充。随着光电转换理论的提出, 传统的电池被加入了许多新的元素, 太阳能电池、微光电池、生物能电池、地热能电池等一系列可以从自然界中汲取能量转换为电能的电池出现, 使得能量的自补充成为可能。从理论上讲, 新型电池能持久供应能量, 但受到当前工业水平所限, 工程实践中生产这种微型化的电池还有相当的难度, 以及节点部署区域特定地理环境等的局限, 使其效果并不理想, 如何进一步缩小传感器的体积是目前研究的重点。为尽可能地延长整个传感器网络的生命周期, 在设计传感器节点时, 保证能量供应的持续性是一个重要的设计原则。传感器节点消耗能量的模块主要是包括传感器模块、信息处理模块和无线通信模块, 而绝大部分的能量消耗是集中在无线通信模块上, 约占整个传感器节点能量消耗的 80%。一旦节点的能量衰竭, 该节点即失效。因此, 在电池技术没有获得飞跃性的发展之前, 人们主要是从研究传感器的网络特性着手, 提出各种用于传感器网络的分簇算法、路由协议等, 通过减少节点能量消耗的方式来延长网络生命周期。

传感器网络的部署往往通过飞行器撒播、人工埋置和火箭弹射等方式, 当部署完成后, 如图 1-2 所示, 各节点任意分布在被监测区域内, 节点以自组织的形式构成网络。

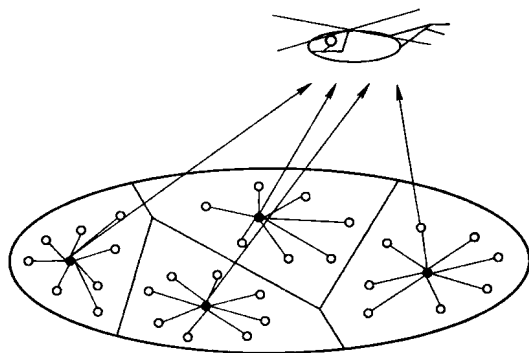


图 1-2 点部署图

借助于节点内置的形式多样的感知模块测量所在环境中的热、红外、声呐、雷达和地震波信号, 从而探测包括温度、湿度、噪声、光强度、压力、土壤成分、移动物体的大小、速度和方向等众多我们感兴趣的物质现象。而节点的计算模块则完成对数据进行简单处理, 再采用微波、无线、红外和光等多种通信形式, 通过多跳中继方式将监测数据传送到汇聚节点, 汇聚节点将接收到的数据进行融合及压缩后, 最后通过 Internet 或其他网络通信方式将监测信息传送到管理节点。同样地, 用户也可以通过管理节点进行命令的发

布, 通知传感器节点收集指定区域的监测信息。图 1-3 给出了一个传感器网络的结构, 图中网络中的部分节点组成了一个与 Sink 进行通讯的数据链路, 再由 Sink 把数据传送到卫星或者因特网, 然后通过该链路和 Sink 进行数据交换并借此使数据到达最终用户手中。

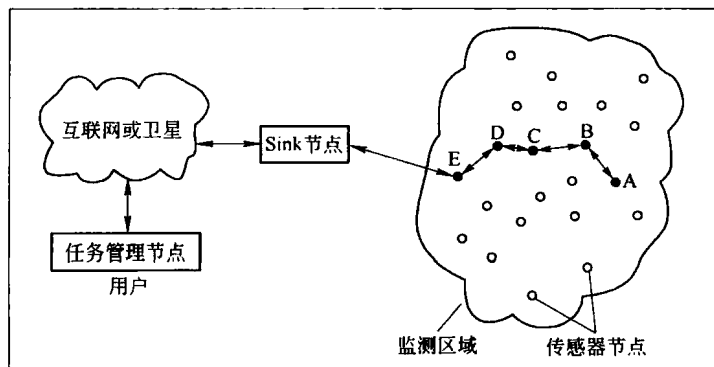


图 1-3 无线传感器网络的体系结构

依据传感器网络节点的连接特点, 在研究中, 一般利用图论的概念将传感器网络抽象成一种单位圆平面图 (Unit-Disk Graph), 即假设传感节点具有相同的有效传输半径 R , 则认为彼此处于传输半径范围内 (半径为 R 内的平面圆内) 的节点之间存在一条单位长度的无向边。按照源节点的分布情况, 传感器网络模型可分为事件半径模型和随机源节点模型两类。图 1-4 与图 1-5 分别给出了传感器网络的事件半径模型和随机源节点模型。

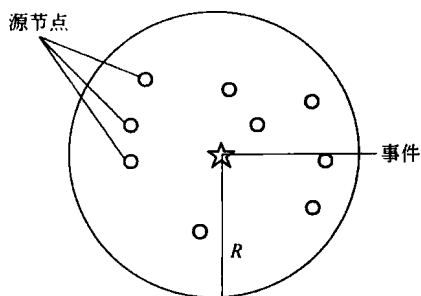


图 1-4 传感器网络的事件半径模型

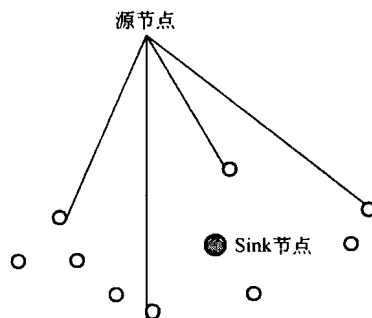


图 1-5 传感器网络的随机源节点模型

在图 1-4 所示的事件半径模型中, 星型表示要监测的事件, 在以该事件为圆心, 半径为 R 的圆内的所有非 Sink 节点的传感节点被选择作为数据源; 而在图 1-5 所示的随机源节点模型中, 随机选择 K 个非 Sink 节点的传感节点作为数据源。

1.2 无线传感器网络的特征

1.2.1 与现有无线网络的区别

无线自组网 (mobile ad-hoc network) 是一个由几十到上百个节点组成的、采用无线通信方式的、动态组网的多跳的移动性对等网络, 其目的是通过动态路由和移动管理技术传输具有服务质量要求的多媒体信息流。通常节点具有持续的能量供给。

传感器网络虽然与无线自组网有相似之处, 但同时也存在很大的差别。传感器网络是集成了检测、控制以及无线通信的网络系统, 节点数目更为庞大 (上千甚至上万), 节点分布更为密集; 由于环境影响和能量耗尽, 节点更容易出现故障; 环境干扰和节点故障易造成网络拓扑结构的变化; 通常情况下, 大多数传感器节点是固定不动的。另外, 传感器节点具有的能量、处理能力、存储能力和通信能力等都十分有限。传统无线网络的首要设计目标是提高服务质量和高效带宽利用, 其次才考虑节约能源; 而传感器网络的首要设计目标是能源的高效使用, 这也是传感器网络 and 传统网络最重要的区别之一。

1.2.2 传感器节点的限制

传感器节点在实现各种网络协议和应用系统时, 存在以下一些实现约束。

1.2.2.1 电源能量有限

传感器节点体积微小, 通常携带能量十分有限的电池。由于传感器节点个数多、成本要求低廉、分布区域广, 而且部署区域环境复杂, 有些区域甚至人员不能到达, 所以传感器节点通过更换电池的方式来补充能源是不现实的。如何高效使用能量来最大化网络生命周期是传感器网络面临的首要挑战。

传感器节点消耗能量的模块包括传感器模块、处理器模块和无线通信模块。随着集成电路工艺的进步, 处理器和传感器模块的功耗变得很低, 绝大部分能量消耗在无线通信模块上。由于传感器节点各部分能量消耗绝大部分是在无线通信模块, 所以传感器节点传输信息时要比执行计算时更消耗电能。

无线通信模块存在发送、接收、空闲和睡眠四种状态。无线通信模块在空闲状态一直监听无线信道的使用情况, 检查是否有数据发送给自己; 而在睡眠状态是关闭通信模块。无线通信模块在发送状态的能量消耗最大, 在空闲状态和接收状态的能量消耗接近, 略少于发送状态的能量消耗, 在睡眠状态的能量消耗最少。如何让网络通信更有效率, 减少不必要的转发和接收, 不需要通信时尽快进入睡眠状态, 是传感器网络协议设计需要重点考虑的问题。

1.2.2.2 通信能力有限

无线通信的能量消耗与通信距离的关系为:

$$E = k \cdot d^n$$

其中, 参数 n 满足关系 $2 < n < 4$ 。 n 的取值与很多因素有关, 例如传感器节点部署贴近地面时, 障碍物多、干扰大, n 的取值就大; 天线质量对信号发射的影响也很大。考虑诸多因素, 通常 n 为 3, 即通信消耗与距离的三次方成正比。随着通信距离的增加, 能耗将急剧增加。因此, 在满足通信连通度的前提下应尽量减少通信距离。一般而言, 传感器节点的无线通信半径在 100m 以内比较合适。

考虑到传感器节点的能量限制和网络覆盖区域大, 传感器网络采用多跳路由的传输机制。传感器节点的无线通信带宽有限, 通常仅有数百 kb/s 的速率。由于节点能量的变化, 受高耸建筑物、障碍物等地势地貌以及风雨雷电等自然环境的影响, 无线通信性能可能经常变化, 频繁出现通信中断。在这样的通信环境和节点有限的通信能力情况下, 如何设计网络通信机制以满足传感器网络的通信需求是传感器网络面临的挑战之一。

1.2.2.3 计算和存储能量有限

随着低功耗电路和系统设计技术的提高, 目前已经开发出很多超低功耗微处理器。除了降低处理器的绝对功耗以外, 现代处理器还支持模块化供电和动态频率调节功能。利用这些处理器的特性, 传感器节点的操作系统设计了动态能量管理 (dynamic power management, DPM) 和动态电压调节 (dynamic voltage scaling, DVS) 模块, 可以更有效地利用节点的各种资源。动态能量管理是当节点周围没有感兴趣的事件发生时, 部分模块处于空闲状态, 把这些组件关掉或调到更低能耗的睡眠状态; 动态电压调节是当计算负载较低时, 通过降低微处理器的工作电压和频率来降低处理能力, 从而节约微处理器的能耗, 很多处理器如 StrongARM 都支持电压频率调节。

1.2.3 无线传感器网络的特点

无线传感器网络有以下一些特点:

(1) 计算和存储能力有限。传感器节点是一种微型嵌入式设备, 要求它价格低功耗小, 这些限制必然导致其携带的处理器能力比较弱, 存储器容量比较小。为了完成各种任务, 传感器节点需要利用有限的计算和存储资源完成监测数据的采集和转换、数据的管理和处理、应答汇聚节点的任务请求和节点控制等多种工作。

(2) 动态性强。传感器网络的拓扑结构可能因为下列因素而改变, 环境因素或电能耗尽造成的传感器节点出现故障或失效; 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; 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; 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。

(3) 网络规模大、密度高。为了获取尽可能精确、完整的信息, 无线传感器网络通常密集部署在大片的监测区域内, 传感器节点数量可能达到成千上万, 甚至更多。大规模网络通过分布式处理大量的采集信息能够提高监测的精确度, 降低对单个节点传感器的精度要求; 通过大量冗余节点的协同工作, 使得系统具有很强的容错性并且增大了覆盖的监测区域, 减少盲区。

(4) 可靠性。传感器网络特别适合部署在恶劣环境或人类不宜到达的区域, 传感器

节点可能工作在露天环境中, 遭受太阳的暴晒或风吹雨淋, 甚至遭到无关人员或动物的破坏。传感器节点往往采取随机部署, 如通过飞机撒播或发射炮弹到指定区域进行部署。这些都要求传感器节点非常坚固, 不易损坏, 适应各种恶劣环境条件。由于监测区域环境的限制以及传感器节点数目巨大, 不可能人工“照顾”每个传感器节点, 网络的维护十分困难甚至不可维护。传感器网络的通信保密性和安全性也十分重要, 要防止监测数据被盗取和获取伪造的监测信息。因此, 传感器网络的软硬件必须具有鲁棒性和容错性。

(5) 应用相关。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差别。只有让系统更贴近应用, 才能做出最高效的目标系统。针对每一个具体应用来研究传感器网络技术, 这是传感器网络设计不同于传统网络的显著特征。

(6) 以数据为中心。在传感器网络中人们只关心某个区域某个观测指标的值, 而不会去关心具体某个节点的观测数据, 以数据为中心的特点要求传感器网络能够脱离传统网络的寻址过程, 快速有效的组织起各个节点的信息并融合提取出有用信息直接传送给用户。

例如, 在应用于目标跟踪的传感器网络中, 跟踪目标可能出现在任何地方, 对目标感兴趣的用戶只关心目标出现的位置和时间, 并不关心哪个节点检测到目标。事实上, 在目标移动的过程中, 必然是由不同的节点提供目标的位置信息。

1.3 无线传感器网络的应用及关键技术

1.3.1 无线传感器网络的应用

在传感器网络中人们只关心某个区域某个观测指标的值, 而不会去关心具体某个节点的观测数据, 以数据为中心的特点要求传感器网络能够脱离传统网络的寻址过程, 快速有效的组织起各个节点的信息并融合提取出有用信息直接传送给用户。

1.3.1.1 军事方面应用

在军事领域中, 无线传感器网络将会成为 C4ISRT (Command, Control, Communication, Computing, Intelligence, Surveillance 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、侦察和定位为一体的战场指挥系统, 受到了军事发达国家的普遍重视。因为传感器网络是由密集型、低成本、随机分布的节点组成的, 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, 这一点是传统的传感器技术无法比拟的, 也正是这一点使传感器网络非常适合应用于恶劣的战场环境中, 包括监控我军兵力、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; 评估损失和探测核、生物和化学攻击等。

1.3.1.2 环境科学和预报系统

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。传感器网络在环

境研究方面可用于监视农作物灌溉情况、土壤空气情况、牲畜和家禽的环境状况和大面积的地表监测等,还可以通过跟踪鸟类、小型动物和昆虫进行种群复杂度的研究等。基于传感器网络的 ALERT 系统中就有数种传感器用来监测降雨量、河水水位和土壤水分,并依此预测爆发山洪的可能性。类似地,传感器网络可实现对森林环境监测和火灾报告,平常状态下定期报告森林环境数据,当发生火灾时,这些传感器节点通过协同合作会在很短的时间内将火源的具体地点、火势的大小等信息传送给相关部门。传感器网络还有一个重要应用就是生态多样性的描述,能够进行动物栖息地生态监测。美国加州大学伯克利分校 Intel 实验室和大西洋学院联合在大鸭岛 (Great Duck Island) 上部署了一个多层次的传感器网络系统,用来监测岛上海燕的生活习性。

1.3.1.3 医疗护理

传感器网络在医疗系统和健康护理方面的应用包括监测人体的各种生理数据、跟踪和监控医院内医生和患者的行动、医院的药物管理等。如果在住院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,医生利用传感器网络就可以随时了解被监护病人的病情,发现异常能够迅速抢救。将传感器节点按药品种类分别放置,计算机系统即可帮助辨认所开的药品,从而减少病人用错药的可能性。人工视网膜是一个生物医学的应用项目,在 SSIM (Smart Sensors and Integrated Microsystems) 计划中,替代视网膜的芯片是由 100 个微型的传感器组成,并置入人眼,目的是使失明者或者视力极差者能够恢复到一个可以接受的视力水平。传感器的无线通信满足反馈控制的需要,有利于图像的识别和确认。

1.3.1.4 智能家居

传感器网络能够应用在家居中。在家电和家具中嵌入传感器节点,通过无线网络与 Internet 连接在一起,将会为人们提供更加舒适、方便和更具人性化的智能家居环境。利用远程监控系统可完成对家电的远程遥控,例如可以在回家之前半小时打开空调,也可以遥控电饭锅、微波炉、电冰箱、电话机、电视机、电脑等家电,按照自己的意愿完成相应的煮饭、炒菜、查收电话留言、选择录制电视和电台节目以及下载网上资料到电脑等工作,也可以通过图像传感设备随时监控家庭安全情况。利用传感器网络可以建立智能幼儿园,监测孩童的早期教育环境,跟踪孩童的活动轨迹,可以让父母和老师全面地了解学生的学习过程。

1.3.1.5 建筑物状态监控

建筑物状态监控 SHM (Structure Health Monitoring) 是利用传感器网络来监控建筑物的安全状态。作为 CITRIS (Center of Information Technology Research in the Interest of Society) 计划的一部分,美国加州大学伯克利分校的环境工程和计算机科学家们采用传感器网络,让大楼、桥梁和其他建筑物能够自身感觉并识别它们本身的状况。使得安装了传感器网络的智能建筑自动告诉管理部门它们的状态信息,并且能够自动按照优先级来进行一系列自我修复工作。未来的各种摩天大楼可能就会装备这种类似红绿灯的装置,从而建筑物可自动告诉人们当前是否安全、稳固程度如何等信息。

1.3.1.6 空间探索

探索外部星球一直是人类梦寐以求的理想,借助于航天器布撒的传感器网络节点实现对星球表面长时间的监测,这种方式成本很低,节点体积小,相互之间可以通信,也可以和地面站进行通信,应该是一种经济可行的方案。美国国家航空航天局(NASA)的JPL(Jet Propulsion Laboratory)实验室研制的SensorWebs就是为将来的火星探测进行技术准备的,已在佛罗里达宇航中心周围的环境监测项目中进行测试和完善。

1.3.1.7 商业应用

自组织、微型化和对外部世界的感知能力是传感器网络的三大特点,这些特点决定了传感器网络在商业领域应该也会有不少的机会,比如传感器网络可用于城市车辆监测和跟踪系统中。德国某研究机构正在利用传感器网络技术为足球裁判研制一套辅助系统,以减小足球比赛中越位和进球的误判断。此外,在灾难拯救、仓库管理、交互式博物馆、交互式玩具、工厂自动化生产等众多领域,无线传感器网络都将会孕育出全新的设计 and 应用模式。

1.3.2 无线传感器网络的发展现状

传感器网络的研究起步于20世纪90年代末期。由于其巨大的应用价值,已经引起了世界许多国家军事部门、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。但这些研究成果目前还处于起步阶段,距离实际需求还很远。美国国家自然科学基金委员会在2003年制定了传感器网络的研究计划,主要注重相关基础理论研究。美国国防部和各军事部门也对传感器网络极为重视,设立了一系列军事传感器网络研究项目。

英特尔、微软公司等信息工业界巨头也开始了传感器网络方面的工作。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。我国对无线传感器网络的研究才刚刚起步,在传感器网络方面的研究工作还不多。目前,国内一些高等院校与研究机构已积极开展无线传感器网络的相关研究工作,主要有清华大学、中科院软件所、浙江大学、哈尔滨工业大学、中科院自动化所等。

国内外研究机构纷纷开展的无线传感器网络研究,完全归功于其广阔的应用前景和对社会生活的巨大影响。

到目前为止,无线传感器网络的发展大致经历了两个阶段,第一阶段主要是利用MEMS技术设计小型化的节点设备;第二阶段主要集中于对网络本身问题的研究。它是目前无线传感器网络研究领域的主要方向。

1.3.3 无线传感器网络的关键技术

无线传感器网络作为当今信息领域新的研究热点,有许多亟待解决的关键技术问题。

1.3.3.1 能源管理

由于无线传感器节点的电池容量十分有限,且在实际应用中及时补充或更换电池是不