



物联网技术系列丛书

普通高等教育“十三五”应用型人才培养规划教材

无线传感网 技术

聂增丽 王泽芳 编著

WUXIAN

CHUANGANWANG JISHU

物联网



西安交通大学出版社



物联网技术系列丛书

普通高等教育“十三五”应用型人才培养规划教材

无线传感网 技术

聂增丽 王泽芳 ○ 编著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目(CIP)数据

无线传感网技术 / 聂增丽, 王泽芳编著. — 成都:
西南交通大学出版社, 2016.8
(物联网技术系列丛书)
普通高等教育“十三五”应用型人才培养规划教材
ISBN 978-7-5643-4865-6

I. ①无… II. ①聂… ②王… 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 (2016) 第 178908 号

物联网技术系列丛书
普通高等教育“十三五”应用型人才培养规划教材

无线传感网技术

聂增丽 王泽芳 编著

责任编辑 宋彦博
助理编辑 张文越
封面设计 何东琳设计工作室

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市二环路北一段 111 号
西南交通大学创新大厦 21 楼)
发行部电话 028-87600564 028-87600533
邮政编码 610031
网 址 <http://www.xnjdcbs.com>

印 刷 四川煤田地质制图印刷厂
成 品 尺 寸 185 mm × 260 mm
印 张 13
字 数 323 千
版 次 2016 年 8 月第 1 版
印 次 2016 年 8 月第 1 次
书 号 ISBN 978-7-5643-4865-6
定 价 29.80 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

“无线传感网技术”是物联网工程专业的专业核心课程，包含无线传感网技术基础知识、传感器与射频技术、无线传感网的搭建、无线传感网络综合应用实例等内容，课程基于应用型本科以工程实践应用为中心的教育理念，对课程重点知识通过项目的形式进行编写，体现了理论够用、重工程实践应用的原则。通过该课程教学，主要培养学生应用传感技术、通信技术和组网技术设计无线传感网络系统能力。本书的设计增强了书籍的可读性和适用性。

本书共有 7 章内容，以智能大棚系统的实现为主线，每一章介绍了实现智能大棚系统的一个分支，每章的前几节内容是本章涉及的无线传感网知识，最后一节是本章的具体应用实例，最后一章是无线传感网综合应用，讨论了无线传感网的关键技术，梳理每章的技术脉络，以及如何最终实现智能大棚系统。本书的技术路线为：基础→硬件（传感设备）→无线传感网传输协议→无线传感网网络技术→远距离传输技术。具体为：第 1 章准备工作—智能大棚系统中的无线传感网，讲解智能大棚系统中的无线传感网的基础知识，包括概念、体系结构、应用和未来发展，最后是开发环境的介绍。第 2 章蔬菜溯源利器—传感器与 RFID，根据食品中的无线识别标签，找到食品来源，由食品引出智能大棚系统，并介绍了无线传感网硬件设备（传感设备）。第 3 章温湿度监测—利用 ZigBee 技术实现无线传感网数据传输，主要介绍无线传感网传输协议 ZigBee。第 4 章还原大棚系统实景—Wi-Fi 模式下视频信息传输，介绍了 Wi-Fi 技术，实现智能大棚视频监控。第 5 章为大棚系统实时操作—蓝牙无线数据采集，介绍蓝牙技术，使用蓝牙技术实现无线数据采集，进行土壤的监测等功能。第 6 章千里眼—远程监控，介绍 3G 通信技术和 4G 通信技术，利用 3G 通信技术实现远程监控。第七章合作，然后改变世界—智能大棚系统，梳理总结了无线传感网关键技术的脉络，然后介绍如何据此实现节点较少的智能大棚系统。

目 录

第 1 章 准备工作	1
——智能大棚系统中的无线传感网	1
1.1 智能大棚系统	1
1.2 无线传感网概述	3
1.3 无线传感网的结构	7
1.4 无线传感网关键技术	10
1.5 无线传感网的应用	13
1.6 无线传感网的未来发展	16
1.7 无线传感网的开发环境	16
第 2 章 蔬菜溯源利器	23
——传感器与 RFID	23
2.1 传感器	23
2.2 典型传感器简介	28
2.3 射频识别技术	33
2.4 基于 RFID 食品追踪应用实例	47
第 3 章 温湿度监测	56
——利用 ZigBee 技术实现无线传感网数据传输	56
3.1 ZigBee 概述	57
3.2 ZigBee 技术体系	59
3.3 ZigBee 物理层协议规范	66
3.4 ZigBee 的 MAC 层协议规范	72
3.5 温湿度监测应用实例	78
第 4 章 还原大棚系统实景	84
——Wi-Fi 模式下视频信息传输	84
4.1 Wi-Fi 技术概述	85
4.2 Wi-Fi 网络结构与服务	91
4.3 Wi-Fi 工作站接入网络	96
4.4 视频传输应用实例	98

第 5 章 大棚系统实时操作	104
——蓝牙无线数据采集	104
5.1 蓝牙技术概述	104
5.2 蓝牙协议栈体系结构	106
5.3 蓝牙设备的组网	112
5.4 蓝牙系统的结构及组成	115
5.5 蓝牙无线数据采集系统实例	118
第 6 章 千里眼	124
——远程监控	124
6.1 3G 技术的概述	124
6.2 WCDMA 技术	127
6.3 CDMA2000 技术	132
6.4 TD-SCDMA 技术	138
6.5 4G 移动通信技术	142
6.6 远程监控应用实例	147
第 7 章 合作，然后改变世界	154
——智能大棚系统	154
7.1 智能大棚系统中的关键技术	154
7.2 无线传感网的节点定位技术	156
7.3 时间同步技术	167
7.4 网络拓扑控制	174
7.5 数据融合技术	181
7.6 安全技术	185
7.7 实现简易的智能大棚系统	192
参考文献	200

第 1 章 准备工作

——智能大棚系统中的无线传感网

本章主要介绍智能大棚系统中的无线传感网，包括无线传感网的概念，无线传感网的体系结构，无线传感网的应用及无线传感网的开发环境。要学会传感器网络设计，首先要了解传感网的体系结构，组成网络必要的元素及无线传感网络运行流程。本章的目标是使学生熟悉无线传感网络组成，学会使用替代法维修无线传感网。

1.1 智能大棚系统

我国是一个农业大国，农作物病虫害防治工作的好坏对于农作物的产量与质量影响巨大。农作物出现病虫害时能够及时诊断对于农业生产具有重要的指导意义，而我国农业专家又相对匮乏，不能够做到在灾害发生时及时出现在现场，因此农作物无线远程监控产品在农业领域就有了用武之地。

20 世纪 90 年代后，无线技术的广泛应用使得它在许多国民经济领域的应用研究获得迅速发展。尤其以 ZigBee 无线技术为主的物联网系统，使得精准农业的技术体系广泛运用于生产实践成为可能。精准农业技术体系的实践与发展，已经引起一些国家科技决策部门的高度重视。

我国实施精准农业的目标，一方面是总结国外发展经验，根据中国的国情找准自己的切入点；另一方面切实做好有关基于 ZigBee 无线技术的物联网应用与研究开发，力求走出适合中国国情的精确农业的发展道路。古诗有云：“草长莺飞二月天，拂堤杨柳醉春烟。”以往，只有在春天，万物才能充分地抽枝发芽，直至日后的开花结果。而现在，在温度湿度传感器的帮助下，即使是在白雪皑皑的冬季，我们也可以在温室大棚中欣赏到与夏日媲美的姹紫嫣红，见图 1-1 所示。



图 1-1 装有温湿度传感器的花卉大棚

这仅仅是物联网在智慧农业中的一个简单应用。智慧农业系统将互联网从桌面延伸到田野，让温室实时在线，从而实现蔬菜大棚与数据世界的融合。实时采集的传感器数据与传统的种植经验相结合，使得农业专家随时可以远程查看农田内的各种数据（温度、湿度、光照、水量），判断其是否是适合作物生长的最佳条件。专家根据自身经验和知识设定关键值，当某种数据偏离设定值时，大棚自动做出反应。例如温度偏低，则打开供暖设施；温度偏高，则开门通风；水量不足，则自动打开喷淋装置。该系统可同时监测几十万座蔬菜大棚，并控制其正常运行，从而使得农作物始终处在最佳的生长环境中。另外，该系统还可实现对蔬菜病虫害的早期预警和对蔬菜产量、交易价格的早期预测。智慧农业是充分发挥农业生产效率、减少农业资源浪费和农田污染的现代农业生产方式。

智能大棚系统主要包括以下几个模块：

（1）自动监测系统

通过设计自动监测系统，可以对农业生产环境的一些重要参数进行监测，实时精准的采集日光温室的环境参数。日光温室主要监测：空气温度、空气湿度、土壤温度、土壤水分、二氧化碳浓度和光照度。在任意地方只要有互联网或手机信号，户主都可通过计算机或手机实时掌握温室的信息。

（2）远程控制系统

当监测到温室环境参数超标时，户主通过物联网平台或手机远程控制环境调节设备。如温室内可控制卷帘、通风和灌溉等设备，保证种植环境最适宜蔬菜的生长，从而为农作物健康生长创造条件。

（3）视频监控系统

现代农业的发展同样离不开远程视频监视系统，该系统由网络型视频服务器、高分辨率摄像头组成，基于网络技术和视频信号传输技术，实现通过计算机或手机。对温室内部种植对象的生长状况进行全天候视频监控并及时作出农技指导。通过视频监控系统，即使户主身在千里之外也能够对种植环境中对象的成长状况了如指掌，视频监控是现代化种植业发展的必然趋势。

（4）溯源系统

使消费者拿到农产品时通过终端设备或网络就能查看到各类信息，食用放心。

（5）物联网综合支撑服务平台

建设物联网统一管理平台，集监测系统、远程控制系统、视频监控系统等功能为一体，实现农作物全程数字化、网络化和智能化管理。

（6）物联网数据中心

数据中心是整个系统的核心，是本系统数据存储、处理、查询的中心，是应用平台数据的中心。

数据中心的建设主要包括服务器建设、存储系统建设、软件系统建设、机房物理环境建设等，如配置服务器、存储、防火墙、路由器、交换机、入侵检测等设备。

系统的总体架构分为终端应用、数据处理平台、网络传输和自动采集/控制终端四部分。系统构架示意图如图 1-2 所示。

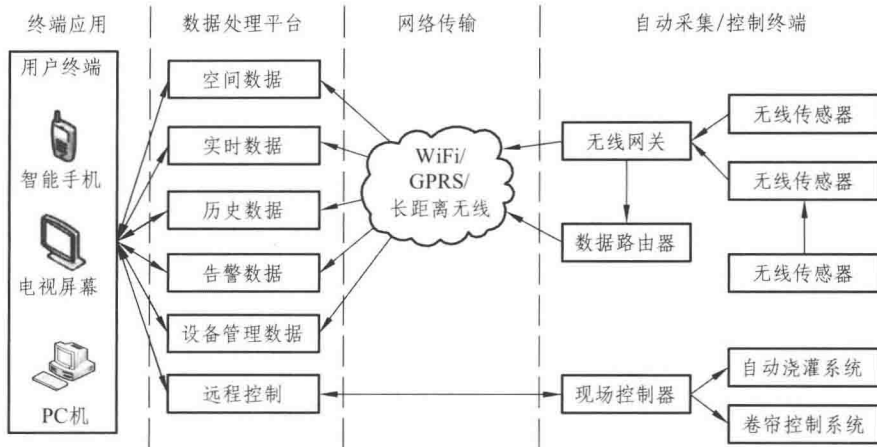


图 1-2 系统架构

智能大棚系统主要运用了智能传感技术，利用传感设备采集数据，利用传感网络传输数据，利用无线传感网控制大棚各项参数以适应生产需要。系统运行示意图如图 1-3 所示。



图 1-3 系统运行

1.2 无线传感网概述

无线传感网是当前在国际上备受关注的、多学科高度交叉的、知识高度集成的前沿热点研究领域。传感器技术、微机电系统、现代网络和无线通信等技术的进步，推动了现代无线传感网络的产生和发展。无线传感网络扩展了人们信息获取能力，将客观世界的物理信息同传输网络连接在一起，在下一代网络中将为人们提供最直接、最有效、最真实的信息。无线传感网络能够获取客观物理信息，具有十分广阔的应用前景，能应用于军事国防、工农业控制、城市管理、生物医疗、环境检测、抢险救灾、危险区域远程控制等领域。这一技术已经

引起了许多国家学术界和工业界的高度重视，被认为是将对 21 世纪产生巨大影响力的技术之一。

无线传感网是一种分布式传感网络，它的末梢是可以感知和检查外部世界的传感器。无线传感网络中的传感器通过无线方式通信，因此网络设置灵活，设备位置可以随时更改，还可以跟互联网进行有线或无线方式的连接。

无线传感网就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的网络系统，其目的是协作感知、采集和处理网络覆盖区域中被感知对象的信息，并发送给观察者。如图 1-4 所示，大量的传感器节点将探测数据通过汇聚节点经其他网络发送给了终端用户。

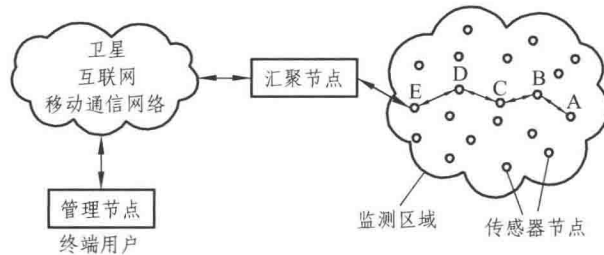


图 1-4 无线传感网

可以看出，传感器、感知对象和观察者是传感器网络的三个基本要素。这三个要素之间通过无线网络建立通信路径，协作感知、采集、处理、发布感知信息。

无线传感网以最少的成本和最大的灵活性，连接任何有通信需求的终端设备，采集数据，发送指令。若把无线传感网各个传感器或执行单元设备视为“豆子”，将一把“豆子”（可能 100 粒，甚至上千粒）任意抛撒开，经过有限的“种植时间”，就可从某一粒“豆子”那里得到其他任何“豆子”的信息。作为无线自组双向通信网络，传感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，同时具有一定的移动能力和动态调整能力。

无线传感网所具有的众多类型的传感器，可探测包括地震、电磁、温度、湿度、噪声、光强度、压力、土壤成分、移动物体的大小、速度和方向等周边环境中多种多样的现象。

1.2.1 无线传感网的特点

目前常见的无线网络包括移动通信网、无线局域网、蓝牙网络、AdHoc 网络等。无线传感网在通信方式、动态组网以及多跳通信等方面与它们有许多相似之处，但也有很大的差别。无线传感网具有如下特点。

1. 大规模

为了获取精确信息，在监测区域通常部署大量传感器节点，可能达到成千上万，甚至更多。传感器网络的大规模性包括两方面的含义：一方面是传感器节点分布在很大的地理区域内，如在原始大森林采用传感器网络进行森林防火和环境监测，需要部署大量的传感器节点；另一方面，传感器节点部署很密集，在面积较小的空间内，密集部署了大量的传感器节点。

传感器网络的大规模性具有如下优点：通过不同空间视角获得的信息具有更大的性价比；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；

大量冗余节点的存在,使得系统具有很强的容错性能;大量节点能够增大覆盖的监测区域,减少洞穴或者盲区。

2. 自组织

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,如通过飞机播撒大量传感器节点到面积广阔的原始森林中,或随意放置到人不可到达或危险的区域。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。

在传感器网络使用过程中,部分传感器节点由于能量耗尽或环境因素造成失效,也有一些节点为了弥补失效节点、增加监测精度而补充到网络中,这样在传感器网络中的节点个数就动态地增加或减少,从而使网络的拓扑结构随之动态地变化。传感器网络的自组织性要能够适应这种网络拓扑结构的动态变化。

3. 动态性

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。

4. 可靠性

无线传感网特别适合部署在恶劣环境或人类不宜到达的区域,节点可能工作在露天环境中,遭受日晒、风吹、雨淋,甚至遭到人或动物的破坏。传感器节点往往采用随机部署,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. 以数据为中心

互联网是先有计算机终端系统,然后再互联成为网络,终端系统可以脱离网络独立存在。在互联网中,网络设备用唯一的IP地址标识,资源定位和信息传输依赖于终端、路由器、服务器等网络设备的IP地址。如果想访问互联网中的资源,首先要知道存放资源的服务器IP地址。可以说现有的互联网是一个以地址为中心的网络。

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,节点编号是否需要全网唯一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。所以通常说传感

器网络是一个以数据为中心的网络。

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，并不关心哪个节点监测到目标。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消息。

6. 集成化

传感器节点的功耗低，体积小，价格便宜，实现了集成化。其中，微机电系统技术的快速发展为无线传感网络节点实现上述功能提供了相应的技术条件。在未来，类似“灰尘”的传感器节点也将会被研发出来。

7. 密集的节点布置

在安置传感器节点的监测区域内，布置有数量庞大的传感器节点。通过这种布置方式可以对空间抽样信息或者多维信息进行捕获，通过相应的分布式处理，即可实现高精度的目标检测和识别。另外，也可以降低单个传感器的精度要求。密集布设节点之后，将会存在大量的冗余节点，这一特性能够提高系统的容错性能，对单个传感器的要求得到了大大降低。最后，适当将其中的某些节点进行休眠调整，还可以延长网络的使用寿命。

8. 协作方式执行任务

这种方式通常包括协作式采集、处理、存储以及传输信息。通过协作的方式，传感器的节点可以共同实现对对象的感知，得到完整的信息。这种方式可以有效克服存储能力不足的缺点，共同完成复杂任务的执行。在协作方式下，传感器之间的节点实现远距离通信，可以通过多跳中继转发，也可以通过多节点协作发射的方式进行。

9. 自组织方式

之所以采用这种工作方式，是由无线传感器自身的特点决定的。我们事先无法确定无线传感器节点的位置，也不能明确它与周围节点的位置关系，同时，有的节点在工作中有可能会因为能量不足而失去效用，则另外的节点将会补充进来弥补这些失效的节点，还有一些节点被调整为休眠状态，这些因素共同决定了网络拓扑的动态性。这种自组织工作方式主要包括：自组织通信，自调度网络功能以及自我管理网络等。

10. 无线传感器

无线传感网络中，节点的唤醒方式有以下几种：

① 全唤醒模式：这种模式下，无线传感网络中的所有节点同时被唤醒，探测并跟踪网络中出现的目标。虽然这种模式下可以得到较高的跟踪精度，然而是以网络能量的巨大消耗为代价的。

② 随机唤醒模式：这种模式下，无线传感网络中的节点按给定的唤醒概率被随机唤醒。

③ 由预测机制选择唤醒模式：这种模式下，无线传感网络中的节点根据跟踪任务的需要，选择性地唤醒对跟踪精度收益较大的节点，通过本拍的信息预测目标下一时刻的状态，并唤醒节点。

④ 任务循环唤醒模式：这种模式下，无线传感网络中的节点周期性地处于唤醒状态，这种工作模式的节点可以与其他工作模式的节点共存，并协助其他工作模式的节点工作。

其中由预测机制选择唤醒模式可以获得较低的能量损耗和较高的信息收益。

1.2.2 无线传感网的发展

无线传感网的发展分为以下几个阶段：

第一代传感网出现在 20 世纪 70 年代。这类具有简单信息信号获取能力的传统传感器，采用点对点传输。当年，美越双方在密林覆盖的“胡志明小道”进行了一场血腥较量，这条道路是胡志明部队向南方游击队源源不断输送物资的秘密通道，美军曾经绞尽脑汁动用航空兵狂轰滥炸，但效果不大。后来，美军投放了 2 万多个“热带树”传感器。

第二代传感网出现在 20 世纪 80 年代至 90 年代之间。其具有获取多种信息信号的综合能力，采用串、并接口（如 RS-232、RS-485）与传感控制器相连，构成有综合多种信息能力的传感器网络，如美军研制的分布式传感器网络系统、海军协同交战能力系统、远程战场传感器系统等。这种现代微型化的传感器具备感知能力、计算能力和通信能力。因此在 1999 年，《商业周刊》将传感器网络列为 21 世纪最具影响的 21 项技术之一。

第三代传感网出现在 21 世纪开始至今。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。这个阶段的传感网的技术特点有网络传输自组织，节点设计低功耗。它除了应用于情报部门反恐活动外，在其他领域更是获得了很好的应用。

第四代传感器网络正在研究开发阶段，目前成形并大量投入使用的产品还没有出现。大量的具有多功能多信息信号获取能力的传感器，采用自组织无线接入网络，与传感器网络控制器连接，构成无线传感网。本书所介绍的无线传感网就是指第四代传感器网络。

1.3 无线传感网的结构

1.3.1 无线传感网的网络结构

传感器网络系统通常包括传感器节点（End Device）、汇聚节点（Router）和管理节点（Coordinator）。

大量传感器节点随机部署在监测区域内部或附近，能够通过自组织方式构成网络。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，发布监测任务以及收集监测数据。无线传感网的网络结构示意图如图 1-5 所示。

1. 传感器节点

传感器节点处理能力、存储能力和通信能力相对较弱，通过小容量电池供电。从网络功能上看，每个传感器节点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，并与其他节点协作完成一些特定任务。

2. 汇聚节点

汇聚节点的处理能力、存储能力和通信能力相对较强，它是连接传感器网络与因特网等外部网络的网关，实现两种协议间的转换，同时向传感器节点发布来自管理节点的监测任务，并把无线传感网收集到的数据转发到外部网络上。汇聚节点是一个具有增强功能的传感器节点，汇聚节点有足够的能量供给，能将 Flash 和 SRAM 中的所有信息传输到计算机中，通过汇编软件，可很方便地把获取的信息转换成汇编文件格式，从而分析出传感节点所存储的程序代码、路由协议及密钥等机密信息，同时还可以修改程序代码，并加载到传感节点中。

3. 管理节点

管理节点用于动态地管理整个无线传感网络。传感器网络的所有者通过管理节点访问无线传感网络的资源。

如图 1-5，监测区域中随机分布着大量的传感器节点，这些传感器节点以自组织的方式构成网络结构。每个节点既有数据采集功能又有路由功能，采集数据经过多跳传递给汇聚节点，连接到互联网。在网络的任任务管理节点对信息进行管理、分类、处理，最后供用户进行集中处理。

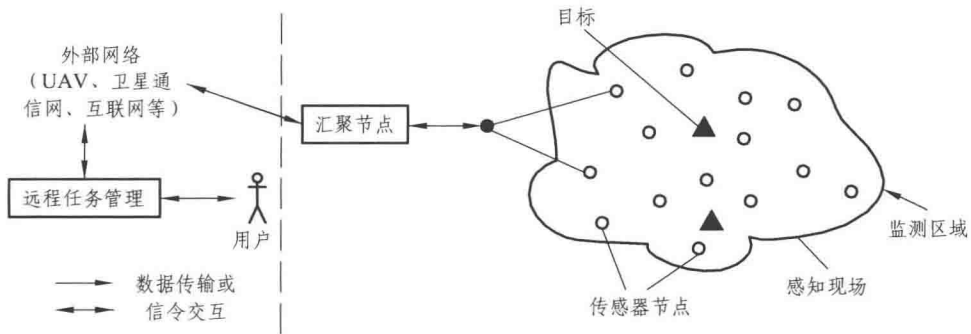


图 1-5 无线传感网的网络结构

1.3.2 无线传感网的节点结构

传感器网络节点一般由数据采集单元、数据处理单元、数据传输单元、能量供应模块组成。无线传感器节点的体系结构如图 1-6 所示。

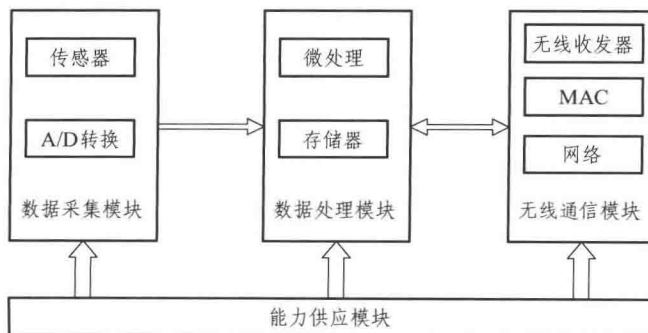


图 1-6 传感器网络节点的结构

① 数据采集模块：数据采集单元包括传感器和 A/D 转换设备，负责目标信息的采集。传感器根据不同的目标特点采用不同的传感形态，如声呐、超声波、红外、温度、烟雾等。在该模块中，主要由传感探头和变送系统共同完成采集信息和转换数据的工作。

② 处理控制模块：数据处理单元一般由单片机或微处理器、嵌入式操作系统、应用软件等组成，负责对采集到的目标信息进行处理。它将节点的位置信息、采集到的目标信息以及目标信息的空间时间变量综合分析，然后将处理结果送到数据传输单元或存储在本地。这里将使用一些算法实现对目标的识别、跟踪、定位等。对于可以移动节点，它还可以根据分析结果对运动机构如机器人进行控制，使之朝着靠近目标的方向前进。该模块主要用来负责控制设备、分配任务、存储和处理监测数据。

③ 无线通信模块：该模块一般是由无线收发模块组成，负责数据的接收和发送。它可以是节点之间的通信，也可以是节点和基站之间的通信。所有传感节点通过无线通信模块来进行彼此间的信息交换和无线通信。节点间数据的采集收发可以通过天线来进行，对于网络中选择波段、调制信号方式、编码方式等也起到了很好的作用。

④ 能量供应模块：能量供应模块是无线传感网中的基础模块，它为传感器节点提供运行所需的能量，是节点顺利工作的保证。无线网络不可以使用普通的电能，只能通过自己存储的能源（如电池供电）和从自然界摄取的能量（如太阳能、振动能等）来保证系统的正常工作，一旦电源耗尽，节点就失去了工作能力。目前，电池无线充电技术日益引起人们的关注并成为可能的发展方向。另外，利用周围环境获取能量（如太阳能、振动能、风能、物理能量等）为节点供电相结合也是无线传感网节点设计技术的一个潜在的发展方向。

1.3.3 无线传感网通信体系结构

无线传感网的通信体系结构如图 1-7 所示，即横向的通信协议层和纵向的传感器网络管理面。通信协议层可以划分为物理层、数据链路层、网络层、传输层、应用层。而网络管理面则可以划分为能耗管理面、移动性管理面以及任务管理面。网络管理面主要是用于协调不同层次的功能以求在能耗管理、移动性管理和任务管理方面获得综合考虑的最优设计。



图 1-7 无线传感网通信体系结构

1.3.4 无线传感网络与传统 AdHoc 网络的区别

无线传感网络路由协议的设计与传统的无线 AdHoc 网络有很大不同,无线传感网络路由设计的主要目标是降低节点能源损耗,提高网络的生命周期;然而传统的无线 AdHoc 网络路由协议的设计的首要任务是在移动条件下提供高质量的服务。这些特点导致了传统的无线 AdHoc 网络路由协议不能直接用于无线传感网络中。针对无线传感网络的特点与难题,许多新的路由协议提了出来。通常,无线传感网络中的最基本实体有三类:传感节点、信号源、观测节点。传感器节点主要是用来监测信号源的,其主要特点是数目众多、分布广泛但能量有限,传感器节点间以无线多跳的无中心方式进行互联;观测节点作为接收者与控制者,监听并处理网络事件消息,同时向网络发布查询请求或者派发任务。

无线网络基本可以分为两大类,分别为有基础设施网和无基础设施网。蜂窝网和无线局域网都属于有基础设施网,无线传感网络与移动 AdHoc 网络则属无基础设施网。无线传感网络和移动 AdHoc 网络有很多相似之处,但是又有很多不同点:

① 无线传感网络中节点数目巨大,分布密集,无线信道干扰比较大,容易发生信号冲突。

② 无线传感网络中大部分节点是静止的,只有少数节点会发生移动。因此,其网络拓扑结构变化的要比移动 AdHoc 网络拓扑结构变化的慢得多。

③ 无线传感网络节点自身存在着很多制约因素,包括:电源、存储能量、计算能力等。同时其容易受恶劣环境的影响或者电池能量的耗尽等因素的影响,传感器节点更容易出现故障,并且有时候又不能得到及时的处理。

④ 通信方式是不同的。无线传感网络中节点的通信主要采用广播方式,而 AdHoc 网络中多采用点到点的方式。

⑤ 两者的设计目标不同。人们在设计的时候往往把降低节点的能耗、延长网络的生存时间作为无线传感网络设计的首要目标,达到能源高效利用的目的;AdHoc 网络设计的主要目标是提供较高的服务质量和达到最大的带宽利用率,不把能耗作为主要的设计目标,因为 AdHoc 网络的能源一般比较充足。这一点也是无线传感网络与 AdHoc 网络的最大区别。

通过比较可以得知,适于 AdHoc 网络的路由协议不能直接应用于无线传感网络当中,必须根据无线传感网络的特点开发出适用于无线传感网络的路由协议。

1.4 无线传感网关键技术

1. 核心关键技术

在确定采用无线传感网技术进行应用系统设计后,首先面临的问题是采用何种组网模式,是否有基础设施支持,是否有移动终端参与,汇报频度与延迟等应用需求直接决定了组网模式。

1) 组网模式

① 扁平组网模式,即所有节点的角色相同,通过相互协作完成数据的交流和汇聚。最经典的定向扩散路由(Direct Diffusion)研究的就是这种网络结构。

② 基于分簇的层次型组网模式,节点分为普通传感节点和用于数据汇聚的簇头节点,传

感节点将数据先发送到簇头节点, 然后由簇头节点汇聚到后台。簇头节点需要完成更多的工作, 消耗更多的能量。如果使用相同的节点实现分簇, 则按需更换簇头, 避免簇头节点因为过度消耗能量而死亡。

③ 网状网 (Mesh) 模式, Mesh 模式在传感器节点形成的网络上增加一层固定无线网络, 用来收集传感节点数据, 另一方面实现节点之间的信息通信, 以及网内融合处理。

④ 移动汇聚模式, 移动汇聚模式是指使用移动终端收集目标区域的传感数据, 并转发到后端服务器。移动汇聚可以提高网络的容量, 但数据的传递延迟与移动汇聚节点的轨迹相关。如何控制移动终端轨迹和速率是该模式研究的重要目标。

此外, 还有其他类型的网络。如当传感节点全部为移动节点, 通过与固定的网状网进行数据通信 (移动产生的通信机会), 可形成目前另一个研究热点, 即机会通信模式。

2) 拓扑控制

组网模式决定了网络的总体拓扑结构, 但为了实现无线传感网的低能耗运行, 还需要对节点连接关系的时变规律进行细粒度控制。目前主要的拓扑控制技术分为时间控制、空间控制和逻辑控制 3 种。时间控制通过控制每个节点睡眠、工作的占空比, 节点间睡眠起始时间的调度, 让节点交替工作, 网络拓扑在有限的拓扑结构间切换; 空间控制通过控制节点发送功率改变节点的连通区域, 使网络呈现不同的连通形态, 从而获得控制能耗、提高网络容量的效果; 逻辑控制则是通过邻居表将不“理想的”节点排除在外, 从而形成更稳固、可靠和强健的拓扑。无线传感网技术中, 拓扑控制的目的在于实现网络的连通 (实时连通或者机会连通) 的同时保证信息的能量高效、可靠的传输。

3) 媒体访问控制和链路控制

媒体访问控制 (MAC) 和链路控制解决无线网络中普遍存在的冲突和丢失问题, 根据网络中数据流状态控制临近节点, 乃至网络中所有节点的信道访问方式和顺序, 达到高效利用网络容量, 减低能耗的目的。要实现拓扑控制中的时间和空间控制, 无线传感网的媒体访问控制层需要配合完成睡眠机制、时分信道分配和空分复用等功能。

4) 路由、数据转发及跨层设计

无线传感网网络中的数据流向与因特网相反: 因特网中, 终端设备主要从网络上获取信息; 而在无线传感网中, 终端设备是向网络提供信息。因此, 无线传感网网络层协议设计有自己的独特要求。由于在无线传感网网络中对能量效率的苛刻要求, 研究人员通常利用媒体访问控制层的跨层服务信息来进行转发节点、数据流向的选择。另外, 网络在任务发布过程中一般要将任务信息传送给所有的节点, 因此设计能量高效的数据分发协议也是在网络层研究的重点。网络编码技术也是提高网络数据转发效率的一项技术。在分布式存储网络架构中, 一份数据往往有不同的代理对其感兴趣, 网络编码技术通过有效减少网络中数据包的转发次数, 来提高网络容量和效率。

5) 质量服务保障和可靠性设计

质量服务 (QoS) 保障和可靠性设计技术是传感器网络走向可用的关键技术之一。质量服务保障技术包括通信层控制和服务层控制。传感器网络大量的节点如果没有质量控制, 将很难完成实时监测环境变化的任务。可靠性设计技术目的则是保证节点和网络在恶劣工作条件下长时间工作。节点计算和通信模块的失效直接导致节点脱离网络, 而传感模块的失效则可能导致数据出现畸变, 造成网络的误警。如何通过数据检测失效节点也是关键研究内容之一。