

项目一 认识无线传感器网络

任务 1.1 无线传感器网络概述

物联网是新一代信息技术的重要组成部分，而物联网工程技术主要有三大支撑专业技术，即无线传感器网络（Wireless Sensor Network, WSN）、RFID 和云计算。其中，无线传感器网络作为物联网领域的关键技术之一，担任物联网神经末梢的角色，其重要作用日益凸显，无疑是新兴的下一代网络，被认为是 21 世纪最重要的技术之一。随着无线通信、传感器、嵌入式计算机及微电机技术的飞速发展和相互融合，具有感知能力、计算能力和通信能力的微型传感器开始在各领域得到应用，这些微型传感器所构建的无线传感器网络可以通过各类高度集成化的微型传感器密切协作，实时监测、感知和采集各种环境或检测对象的信息，以无线方式传送，并以自组织多跳的网络方式传送到用户终端，从而实现物理世界、计算机世界及人类社会的连通。

无线传感器网络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。传感器设计、信息技术以及无线网络等领域的快速进步，为无线传感器网络的发展铺平了道路。传感器通过捕获和揭示现实世界的物理现象，将其转换成一种可以处理、存储和执行的形式，从而将物理世界与数字世界连接起来。传感器已经集成到众多设备、机器和环境中，产生了巨大的社会效益。无线传感器网络可以把虚拟（计算）世界与现实世界以前所未有的规模结合起来，并开发大量实用型的应用，包括保护民用基础设施、精准农业、有毒气体检测、供应链管理、医疗保健和智能建筑与家居等诸多方面。

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，其目的是协作地感知、采集和处理网络覆盖区域中被感知对象的信息，并经过无线网络发送给观察者。传感器、感知对象和观察者构成了无线传感器网络的三个要素。无线传感器网络系统如图 1-1 所示。

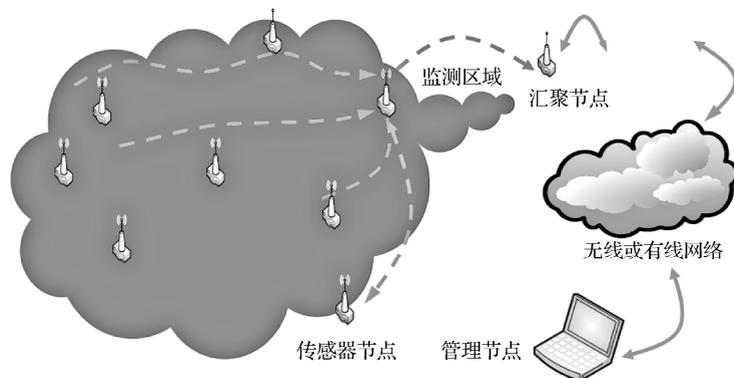


图 1-1 无线传感器网络系统

无线传感器网络系统通常包括传感器节点、汇聚节点和管理节点。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，经过多跳路由到汇聚节点，最后通过 Internet 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。

无线传感器节点的组成和功能包括以下四部分。

(1) 传感模块：由传感器和模/数转换功能模块组成，传感器负责对监测区域内感知对象的信息进行采集和数据转换。

(2) 处理模块：由嵌入式系统构成，包括 CPU、存储器、嵌入式操作系统等。处理模块负责控制整个节点的操作，存储和处理自身采集的数据以及其他传感器节点发来的数据。

(3) 通信模块：无线通信模块负责实现传感器节点之间以及传感器节点与管理节点之间的通信，交互控制消息和收/发业务数据。

(4) 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。

除以上 4 部分外，可以选择的其他功能单元包括定位系统、运动系统以及电源自供电系统装置等。

任务 1.2 无线传感器网络技术发展历程

1.2.1 国外发展历程

无线传感器网络技术的初期应用是在军事领域。1978 年，美国国防部高级研究计划局 (DARPA) 举办了分布式传感器网络研讨会，会议重点关注了传感器网络研究面临的挑战，包括网络技术、信号处理技术以及分布式算法等，对无线传感器网络的基本研究思路进行了探讨。DARPA 开始资助卡耐基梅隆大学进行分布式传感器网络的研究，该分布式传感器网络被看成无线传感器网络的雏形。1980 年，DARPA 启动了分布式传感器网络计划，后来又启动了传感器信息技术 SensIT 项目。20 世纪 80~90 年代，对无线传感器网络的研究主要集中在军事领域，并成为网络战的关键技术。

从 20 世纪 90 年代中期开始，美国和欧洲等国家和地区先后开始了大量的关于无线传感器网络的研究工作。1993 年，美国加州大学洛杉矶分校与洛克韦尔科学中心 (Rockwell Science Center) 合作开始了无线集成网络传感器 (Wireless Integrated Network Sensors, WINS) 项目，其目的是将嵌入在设备、设施和环境中的传感器、控制器和处理器建成分布式网络，并能够通过 Internet 进行访问，这种传感器网络已多次在美军的实战环境中进行了试验。1996 年发明的低功率无线集成微型传感器 (LWIM) 是 WINS 项目的成果之一。

2001 年，美军提出了“灵巧传感器网络通信”计划，其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敌方的数据，然后将数据汇集到数据控制中心融合成一张立体的战场图片。当作战组织需要时，就可以及时地发送给他们，使其及时了解战场上的动态，并据此及时调整作战计划。稍后美军又提出了“无人值守地面传感器群”项目，其主要目标是使基层部队人员具备在他们希望部署传感器的任何地方进行部署的灵活性。部署的方式依赖于需要执行的任务，指挥员可以将多种传感器进行最适宜的组合来满足任务需求。该计划的一部分就是研究哪种组合最优，可以最有效地部署，并满足任务需求。

在信息领域，1995 年美国交通部提出了“国家智能交通系统项目规划”，该规划试图有效地集成先进的信息技术、数据通信技术、传感器技术、控制技术、计算机处理技术，并应



用于地面交通管理，建立一个大范围、全方位、实时高效的综合交通运输管理系统。该系统使用传感器网络进行有效的交通管理，对车道车距进行控制，还能提供道路通行状况信息、最佳行驶路线，发生交通事故可以自动联系事故抢救中心。

随着对无线传感器网络研究的不断深入，其应用领域也越来越广泛。2002年5月美国能源部与美国 Sandia 国家实验室合作，共同研究用于地铁、车站等场所的防范恐怖袭击的对策系统。该系统融检测有毒的、奇特的化学传感器和网络技术于一体，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，并自动采取急救措施。2002年10月，美国英特尔公司公布了“基于微型传感器网络的新型计算发展规划”。该规划显示英特尔公司将致力于微型传感器网络在预防医学、环境监测、森林防火乃至海底板块调查、行星探查等领域的广泛研究。美国国家自然科学基金委员会（ANSFC）于2003年制订了传感器网络研究计划，投资3400万美元，在加州大学成立了传感器网络研究中心，并联合加州大学伯克利分校和南加州大学等科研机构进行相关基础理论的研究。

总的来说，对传感器的应用程度能够大体反映出一个国家的科技、经济实力。目前，从全球总体情况来看，美国、日本等少数经济发达国家占据了传感器市场70%以上份额，发展中国家所占份额相对较少。其中，市场规模最大的3个国家分别是美国、日本、德国，分别占据了传感器市场整体份额的29.0%、19.50%、11.3%。未来，随着发展中国家经济的持续增长，对传感器的研究与应用的需求也将大幅增加。

1.2.2 国内发展现状

中国物联网校企联盟认为，传感器网络的发展历程分为以下三个阶段：传感器→无线传感器→无线传感器网络（由大量微型、低成本、低功耗的传感器节点组成的多跳无线网络）。

无线传感器网络在国际上被认为是继互联网之后的第二大网络，2003年美国《技术评论》杂志评出对人类未来生活产生深远影响的十大新兴技术，传感器网络被列为第一名。

在现代意义上的无线传感器网络研究及其应用方面，我国与发达国家几乎同步启动，已经成为我国在信息领域位居世界前列的方向之一。在2006年我国发布的《国家中长期科学与技术发展规划纲要（2006—2020）》中，为信息技术确定了三个前沿方向，其中有两项就与传感器网络直接相关，这就是智能感知和自组网技术。

近年来，中国科学院、清华大学、南京大学、北京邮电大学等一批高校和科研院所对无线传感器网络展开了相关的研究，并且取得了一定的研究成果。无线传感器技术智能化研究与应用水平不断提升，逐步接近世界水平。

任务 1.3 无线传感器网络的特点

从系统的角度讲，无线传感器网络是由大量无处不在、具有无线通信和计算能力的微小传感器节点构成的自组织分布式网络系统，是能根据环境自主完成指定任务的“智能”系统，具有群体智能自主自治系统的行为实现和控制能力，能协作地感知、采集和处理网络覆盖的地理区域中感知对象的信息，并发送给观测者。因此无线传感器网络设置灵活，设备位置可以随时更改，还可以与 Internet 进行有线或无线方式的连接。

从网络技术角度讲，无线传感器网络系统通常包括传感器节点、汇聚节点和管理节点。大量的传感器节点随机部署在检测区域或附近，这些传感器节点无须人员值守。节点之间通过自组织方式构成无线网络，以协作的方式感知、采集和处理网络覆盖区域中特定的信息，



可以实现对任意地点的信息在任意时间进行采集、处理和分析。监测的数据沿着其他传感器节点通过多跳中继方式传回汇聚节点，最后借助汇聚链路将整个区域内的数据传送到远程控制中心进行集中处理。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。

无线传感器网络与其他传统的网络相比，有以下一些独有的特点：

(1) 网络规模大。为获取精确信息，在监测区域通常部署大量传感器节点，传感器节点数量可以成千上万，甚至更多。传感器网络的大规模性主要是指传感器节点分布在很大的地理区域内且传感器节点部署很密集。

(2) 无中心和自组织网络。在无线传感器网络中，所有节点的地位都是平等的，没有预先指定的中心，各节点通过分布式算法来相互协调，可以在无须人工干预和任何其他预置的网络设施的情况下，节点自动组织成网络。由于无线传感器网络没有中心，所以网络不会因为单个节点的损坏而损毁，这使得网络具有较好的健壮性和抗毁性。

(3) 网络动态性强。传感器网络的拓扑结构可能因为电能耗尽、环境条件变化等因素而改变，网络具有可重构和自调整性。

(4) 以数据为中心的网络。对于观察者来说，传感器网络的核心是感知数据而不是网络硬件。用户在使用传感器网络询问事件时，直接将所关心的事件“告知”网络，网络在获得指定事件的信息后汇报给用户。

(5) 通信半径小，带宽低。无线传感器网络利用“多跳”来实现低功耗的数据传输，因此其设计的通信覆盖范围只有几十米。和传统的无线网络不同，传感器网络中传输的数据大部分是经过节点处理的数据，因此流量较小，传感数据所需的带宽很低，一般为 1~100kb/s。

(6) 传感器节点体积小，电源能量有限，传感器节点各部分集成度很高。由于传感器节点数量多、分布范围广、环境复杂，有些节点位置甚至人员都不能到达，传感器节点能量补充有困难，所以在考虑传感器网络体系结构及各层协议设计时，节能是设计要考虑的重要内容之一。

(7) 应用相关的网络。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异。在开发传感器网络应用的过程中，更需要关心的是传感器网络的差异。

任务 1.4 无线传感器网络关键技术与应用

1.4.1 几种典型的短距离无线通信技术

(1) 蓝牙技术

蓝牙是一种支持设备短距离通信的低功耗、低成本的无线电技术，工作在 2.4GHz 的频段，其通信距离一般在 10m 内。作为一种新型数据和语音通信标准，蓝牙技术在当今人们的生活、工作中可谓无处不在，移动电话、无线耳机、笔记本电脑等众多设备都可以用作蓝牙系统的通信终端，利用蓝牙技术进行无线信息交换。蓝牙技术利用无线链路取代传统有线电缆，不但可以免去设备之间相互物理连接的麻烦，而且便于人们进行移动操作，因此具有广泛的应用前景，已受到全球各界的广泛关注。可以说蓝牙技术已从萌芽期进入了壮大发展期，但由于蓝牙最多只能配置 7 个节点，从而制约了其在大型传感器网络中的应用，而在无线通信、消费类电子和汽车电子以及工业控制领域有着广泛的应用。



(2) GPRS 技术

GPRS (General Packet Radio Service) 是通用分组无线服务技术的简称。它是 GSM 移动电话用户可用的一种移动数据业务,属于第二代移动通信中的数据运输技术。通俗说 GPRS 就是上网功能,用于手机上网。GPRS 通信模块采用高性能工业级无线模块及嵌入式处理器,以实时操作系统作为软件支撑平台,内嵌 TCP/IP 协议,为用户提供高速、稳定可靠、永远在线的透明数据传输通道。

(3) WiFi 技术

WiFi (Wireless Fidelity) 是一种可以将个人计算机、手持设备(如掌上电脑、手机)等终端以无线方式互相连接的技术,它改善了基于 IEEE 802.11 标准的无线网络产品之间的互通性,因此很多人把使用 IEEE 802.11 系列协议的局域网称为“WiFi”。作为目前无线局域网(Wireless Local Area Networks, WLAN)的主要技术标准,WiFi 的目的是提供无线局域网的接入,可实现几兆位每秒到几十兆位每秒的无线接入。IEEE 802.11 流行的几个版本包括:802.11a,在 5.8GHz 频段最高速率为 54Mbit/s;802.11b,在 2.4GHz 频段速率为 1~11Mbit/s;802.11g,在 2.4GHz 频段与 802.11b 兼容,最高速率亦可达到 54Mbit/s。由于 WiFi 优异的带宽能力是以较高的功耗为代价的,因此大多数便携 WiFi 装置都需要较高的电能储备,这限制了它在工业场合的推广和应用。

(4) ZigBee 技术

ZigBee 译为“紫蜂”,它与蓝牙相类似,是一种新兴的短距离无线通信技术,用于传感控制应用(Sensor and Control)。由 IEEE 802.15 工作组提出。ZigBee 主要用于近距离无线连接,它有自己的无线电标准,在数千个微小的传感器之间相互协调实现通信。这些传感器只需要很少的能量,以接力的方式通过无线电波将数据从一个传感器传到另一个传感器,所以它们之间的通信效率非常高。这些数据最后可以进入计算机用于分析或被另一种无线技术收集。

ZigBee 是一组基于 IEEE 802.15.4 无线标准研制开发的有关组网、安全和应用软件方面的通信技术,主要用于短距离、低功耗且传输速率不高的各种电子设备之间,可进行数据及典型的周期性数据、间歇性数据和低反应时间数据传输方面的应用。ZigBee 技术可工作在 2.4GHz (全球通用)、915MHz (美国流行)和 868MHz (欧洲流行)三个频段,分别具有最高 250kbit/s、40kbit/s、20kbit/s 的传输速率,其传输距离为 10~75m,但可以继续增加。ZigBee 被业界认为是最有可能应用在工业监控、传感器网络、家庭监控、安全系统等领域的无线技术。

1.4.2 无线传感器网络的应用领域

近年来,世界各国对无线传感器网络的研究不断深入,无线传感器网络得到了很大的发展,也产生了越来越多的实际应用。随着人们对信息获取需求的不断增加,由传统传感器网络所获取的简单数据越来越无法满足人们对信息获取的全面需求,使得人们已经开始研究功能更强的无线多媒体传感器节点。使用无线多媒体传感器节点能够获取图像、音频、视频等多媒体信息,从而使人们能获取监测区域更加详细的信息。可以大胆预见,将来无线传感器网络将无处不在,完全融入人们的生活。例如,微型无线传感器网络最终可能将家用电器、个人计算机和其他日常用品同 Internet 相连,实现远距离跟踪;家庭使用无线传感器网络进行安全调控、节电等。但是,我们还应该清楚地认识到,无线传感器网络才刚刚开始发展,它的技术、应用还远远谈不上成熟,面临机遇与挑战,社会各界应加大投入力度,推动整个行



业的发展。

就目前而言，无线传感器网络有着极其广阔的应用领域，大到卫星定位，小到购物防盗码。

(1) 农业

无线传感器网络的一个重要应用领域是农业。农业生产的特点是面积大，植物生长环境因素多变，情况复杂。无线传感器网络可以监控农业生产中的土壤、农作物、气候的变化，提供一个配套的管理支持系统，精确监测一块土地并提供重要的农业资源，使农业生产过程更加精细化和自动化。

大量的传感器节点散布到要监测的区域并构成监控网络，通过各种传感器采集信息，以帮助农民及时发现问题，并且准确地确定发生问题的位置。这样，农业将有可能逐渐从以人力为中心、依赖于孤立机械的生产模式转向以信息和软件为中心的生产模式，从而大量使用各种自动化、智能化、远程控制的生产设备。

在加拿大布奥克那根谷的一个葡萄园里，某个管理区域部署了一个无线传感器网络，采用 65 个节点，布置成网格状，用来监控和获取温度的重大变化（热量总和与冻结温度周期）。部署该网络主要是为了获取在生长季节里当地温度超过 10℃ 的时间，即使管理者外出也能随时收到相关信息，加强和方便田间管理，提高了作物的质量和产量。

(2) 医疗

无线传感器网络在医疗卫生和健康护理等方面具有广阔的应用前景，包括对人体生理数据的无线检测、对医院医护人员和患者进行追踪和监控、医院的药品管理和贵重医疗设备放置场所的监测等，被看护对象也可以通过随身装置向医护人员发出求救信号。无线传感器网络的远程医疗管理使得医生可以对在家养病的病人或在病房外活动的病人进行定位、跟踪，及时获取其生理参数，减少了病人就医带来的奔波劳累，也提高了医院病房的利用率。无线传感器网络为未来更发达的远程医疗提供了更加方便、快捷的技术手段。

(3) 建筑工程与建筑物

目前，建筑结构往往呈现复杂化和大型化的特点，因此大型建筑结构的安全问题引起了人们的高度重视，科研人员考虑利用无线传感器网络进行大型建筑物的结构安全监测。美国纽约新建的世贸中心（World Trade Center）充分运用了无线传感器网络技术对建筑物进行全方位监测，有综合布线部分，也有一个看不见的无线传感器网络保护着这座大厦的安全运行。

我国正处在基础设施建设期，各类大型工程的安全施工及监控是建筑设计单位长期关注的问题。采用无线传感器网络，可以让高楼、桥梁和其他建筑物能够“有自身感觉”，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，从而可以让管理部门按照优先级进行定期的维修工作。例如，压电传感器、加速度传感器、超声传感器、湿度传感器等可以有效地构建一个三维立体的防护检测网络，该网络可用于监测桥梁、高架桥、高速公路等道路环境。

又如，利用多种智能传感器（如光纤光栅传感器、纤维增强聚合物、光纤光栅筋及其应变传感器、压电薄膜传感器、形状记忆合金传感器、疲劳寿命丝传感器、加速度传感器等）进行建筑结构的监测。许多老旧的桥梁、桥墩长期受到水流的冲刷，传感器可以放置在桥墩底部，用来感测桥墩结构；也可放置在桥梁两侧或底部，搜集桥梁的温度、湿度、振动幅度、桥墩腐蚀程度等信息，能减少断桥所造成的生命财产损失。

(4) 智能建筑与市政建设管理

由于无线传感器网络具有灵活性、移动性和可扩展性且数据采集面广、无须布线等优点，



因此可以在建筑物内灵活、方便地布置各种无线传感器，依靠分布式传感器组成的无线网络，获取室内诸多的环境参数，以实施控制，来协调并优化各建筑子系统。

在消防联动与安保控制系统中，无线传感器网络也有广泛的应用前景。采用无线传感器网络技术，将消防与安保控制系统中各种报警与探测传感器组合，构建一个具有无线传感器网络功能的新型安保系统，将大大促进智能建筑的消防联动控制子系统与安保自动化子系统的网络化、数字化、智能化进程。

无线传感器网络也可用于公共照明控制子系统、给水排水设备控制子系统等各种参数的测量与控制。另外，无线传感器网络在智能家居中有着广阔的应用前景。智能家居系统的设计目标是将住宅中各种家居设备联系起来，使它们能够自动运行、相互协作，为居住者提供尽可能多的便利和舒适，而无线传感器网络技术可以提供一个完美的解决方案。

【知识点小结】

1. 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，其目的是协作地感知、采集和处理网络覆盖区域中被感知对象的信息，并经过无线网络发送给观察者。

2. 典型的短距离无线通信技术主要包括 ZigBee 技术、蓝牙技术、WiFi 技术、GPRS 技术等。

【拓展与思考】

1. 简述无线传感器网络的概念。
2. 无线传感器网络的特点有哪些？
3. 典型的短距离无线通信网络有哪几种？并分别简述各自优缺点。
4. 试想象无线传感器网络可以在我们实际生活中得到哪些应用。