

第 1 章 典型实例认识无线传感网

本章主要介绍智能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，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，无线传感网运行流程。本章的目标是熟悉无线传感网组成，学会使用替代法维修无线传感网。

1.1 智能系统中的无线传感网

无线传感网是什么，它在生活中充当什么样的角色？当今社会，新科技、新工业、智能产品充斥着我们的生活，比如智能机器人、工业机器人、比尔盖茨的智能科技智能豪宅、智能交通、智能农业，小到智能耳机，运动手环等等。那么这些智能的系统是如何工作的呢？智能系统都会这经历 4 步：第 1 步：传感器节点采集数据，2. 经过无线传感网将采集的数据信息传输到中心节点，3. 节点再讲数据信息上传到服务器，服务器保存信息到数据库，4. 应用软件调用数据库中数据进行分析、统计、研究和预警等。

例如如下图 1-1 所示智能农业系统结构所示，通过实时采集温室内温度、土壤温度、CO₂ 浓度、湿度信号以及光照、水中氧气浓度等环境参数，自动开启或者关闭指定设备。根据用户需求，随时进行处理，为实施农业综合生态信息自动监测、对环境进行自动控制和智能化提供科学依据。

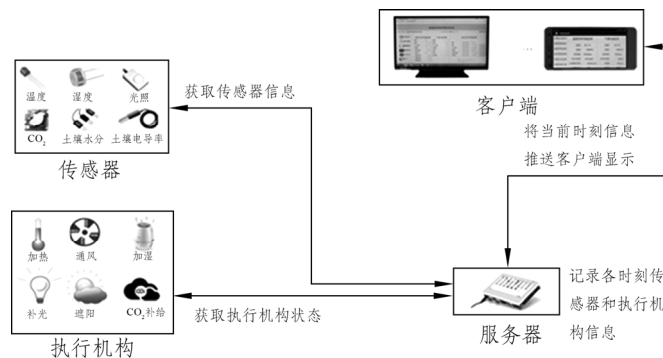


图 1-1 智能农业系统结构

传感器（获取传感器信息，如温度、光照、二氧化碳），获取的信息传输到服务器，服务器记录各时刻传感器和执行机构信息，根据控制方案和温室状态，确定执行机构如何运行，即发送执行机构控制指令，控制执行机构加热、通风、加湿等。服务器与客户端的交互包括

客户端选定所需的控制方案，服务器将当前时刻信息推送客户端显示。

系统基于农业物联网的三层式结构构建，如图 1-2 所示，温室现场控制层、服务器层、用户应用层。温室现场控制层负责环境监测与调控，服务器层使用 web 服务器等连接 Internet 网络，用户进行应用。

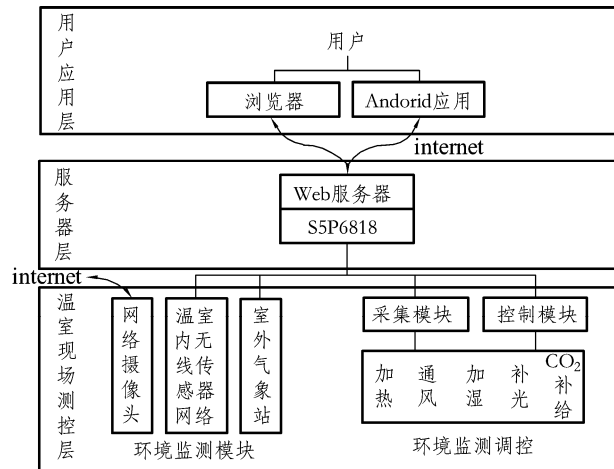


图 1-2 系统基于农业物联网的三层式结构构建

各独立的部分通过网络将彼此连接上，进行交流，网络拓扑图如图 1.3 所示，温室内部通过无线传感网连接各传感器节点，并将信息汇聚在传感器网关节点，通过网关节点连接到外部设备，外部设备通过 Internet 网络实现远程控制。

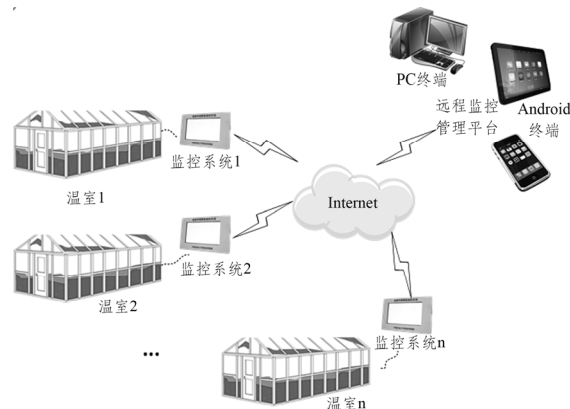


图 1-3 农业网络结构

又如下图 1-4 所示智能灯光控制系统：使用 ZigBee 自动组网技术实现网络中所有灯控设备的连接、数据共享及网内统一控制。ZigBee 节点采集环境中的红外、光照数据，实现灯控节点的数据采集，再通过 ZigBee 网络，将采集数据传送到 ZigBee 协调器，然后协调器通过串口连接服务器和 Wi-Fi 芯片，Wi-Fi 芯片通过 Wi-Fi 无线通信连接到服务器、手机等移动终端，实现远程控制和监控。该系统中使用了基于 ZigBee 技术和基于 Wi-Fi 的无线传感网。

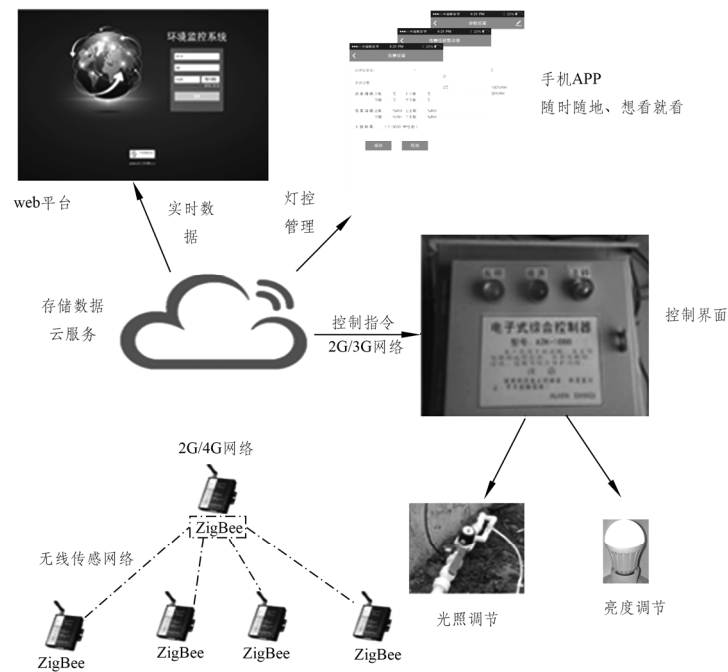


图 1-4 智能灯光系统

由上述可知，无线传感网是实现数据采集到数据应用的桥梁。无线传感网，为特定的智能机器人装上神经系统，使它有了智慧，才能感知信息并且对感知的信息进行自动处理。

了解无线传感网定义之前，回答一个问题：什么是无线网络？

无线网络字面意思即是没有电线的网络，与有线网络的用途类似，最大的不同在于传输媒介的不同，利用无线电技术取代网线。

无线传感网英文名 WSN-Wireless Sensor Networks，是由一组传感器以特定方式构成的无线网络。

无线传感网定义为：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 1-5 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。

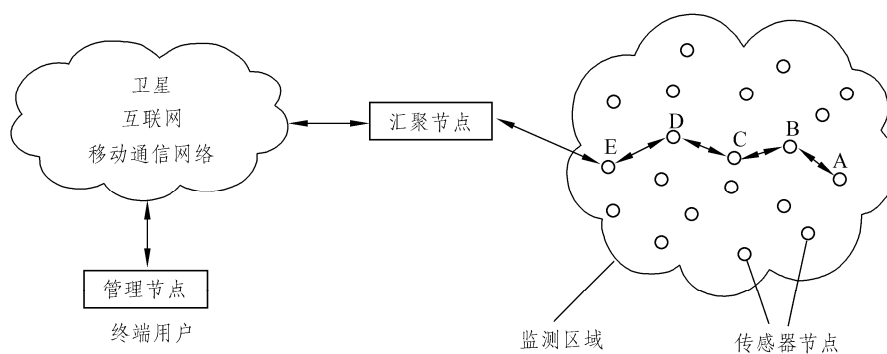


图 1-5 无线传感网

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，协作完成感知、采集、处理、发布信息过程。

无线传感网不仅包含传感器节点间通过无线技术建网，还包括在网内进行信息感知、数据采集、数据处理与数据应用。

下面的章节详细介绍传感器节点在不同无线技术下的建网，并在这些无线传感网中进行数据运用。

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。

无线传感网具有众多类型的传感器节点，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的多种信息。

1.2 无线传感网基础知识

1.2.1 无线传感网的体系结构

传感器网络系统通常包括传感器节点（EndDevice）、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，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。传感器网络的所有者通过管理节点访问无线传感网的资源。

如图 1-6 所示,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。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。

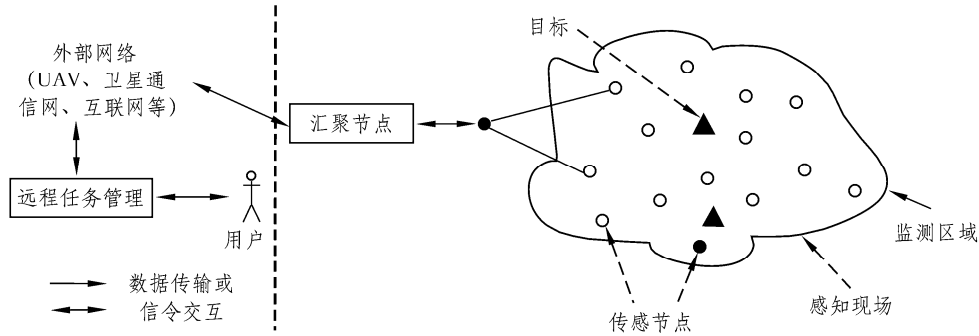


图 1-6 无线传感网的网络结构

1.2.2 无线传感网的节点结构

传感器网络节点一般由数据采集模块、数据处理模块、数据传输模块、能量供应模块组成。无线传感器节点的体系结构如图 1-7 所示。

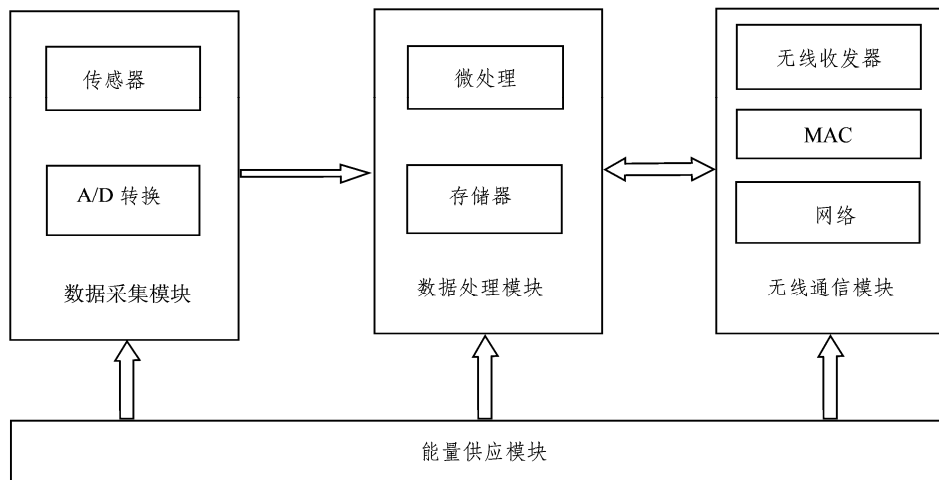


图 1-7 传感器网络节点的结构

① 数据采集模块：数据采集模块包括传感器和 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，如声纳、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 数据处理模块：数据处理模块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，然后将处理结果通过无线通信模块传输出去或存储在本机。这里将使用一些算法实现对目标的识别、跟踪、定位等。对于可以移动的节点，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、风能等）为节点供电也是无线传感网节点设计技术的一个潜在的发展方向。

1.2.3 无线传感网通信体系结构

无线传感网通信协议体系结构如图 1-8 所示，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的最优设计。

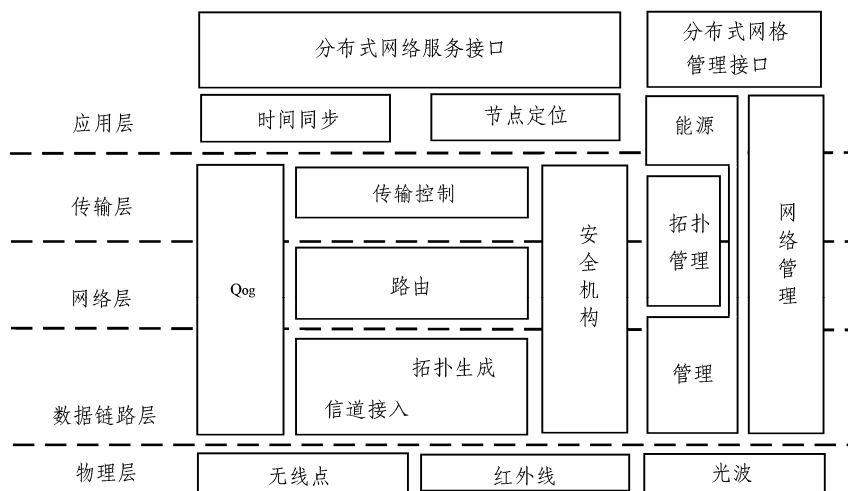


图 1-8 无线传感网通信协议体系结构

1.2.4 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，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。这样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，甚至遭到生物的破坏。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，能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，对目标感兴趣的用户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目标的感知，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