

第1章 无线传感网技术概述

无线传感器网络（wireless sensor network, WSN）简称无线传感网，是当前在国际上备受关注、涉及多学科且高度交叉、知识高度集成的前沿热点研究领域。它综合了传感器技术、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，能够通过各类集成化的微型传感器协作地实时监测、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，并以自组多跳网络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。无线传感网实现了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。

本章对无线传感网技术进行概述，包括无线传感网的体系结构、主要特征、关键技术，以及应用领域、发展现状与发展趋势。

1.1 无线传感网体系结构

1.1.1 无线传感网网络结构

无线传感网是由一组无线传感器节点以 ad hoc（自组织）方式组成的无线网络，其目的是协作地感知、收集和处理无线传感网所覆盖的地理区域中感知对象的信息，并传递给观察者。无线传感网集中了传感器技术、嵌入式计算技术和无线通信技术，能协作地感知、监测和收集各种环境下所感知对象的信息，通过对这些信息的协作式信息处理，获得感知对象的准确信息，然后通过 ad hoc 方式传送到需要这些信息的用户。传感器、感知对象和观察者构成了无线传感网的三个要素。

无线传感网具有众多类型的传感器节点，可以用来探测地震、电磁、温度、湿度、噪声、光强度、压力、土壤成分等周边环境中的多种多样的现象，具有广阔的应用前景，因而受到越来越多研究人员的重视。但由于无线传感网的硬件资源十分有限，且其工作环境通常是一些资源受限的地方，这给理论研究人员和工程技术人员提出了大量具有挑战性的研究课题。

图 1-1 所示为典型的无线传感网结构，它由分布式传感器节点群组成。传感器节点可以通过飞机布撒或人工布置等方式，大量部署在被感知对象内部或者附近。这些节点通过自组织方式构成无线网络，以协作的方式实时感知、采集和处理网络覆盖区域中的信息，并通过多跳方式将整个区域内的信息传送给基站（base station, BS）或汇聚节点，BS 再通过通信网络（由互联网、卫星网或移动通信网构成）将数据传到数据中心或发送给远处的用户。反之，用户可以通过传输通信网发送命令给 BS，而 BS 再将命令转发给各个传感器节点。

无线传感网是以数据为中心的网络，其关键技术与具体应用紧密相关：不同的应用场景，其技术相差很大。目前，分布式的无线传感网多为分簇形式，将传感器节点分成多个簇，每个

簇存在一个簇头节点，负责簇内节点的管理和数据融合。基于分簇的无线传感网结构如图 1-2 所示。分簇方式的特点是簇群内的节点只能与本簇的簇头通信，簇头和簇头之间可以相互传递数据，可以通过多跳方式传送数据到数据中心。

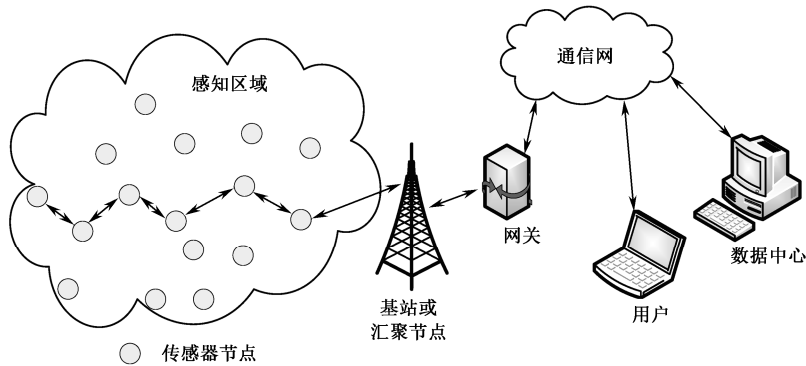


图 1-1 典型无线传感网结构

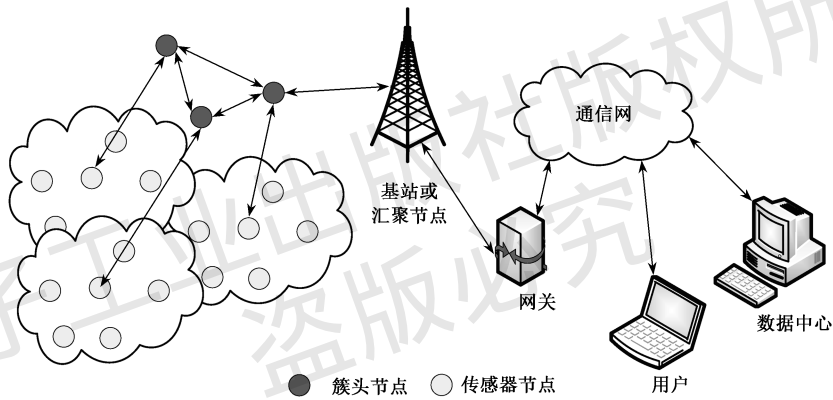


图 1-2 基于分簇的无线传感网结构

1.1.2 无线传感器节点结构

无线传感器节点是一个微型化的嵌入式系统，它构成了无线传感网的基础层支持平台。典型的传感器节点由数据采集的感知单元、数据处理和存储的处理单元、通信收发的传输单元和节点供电的能源供给单元四部分组成。图 1-3 所示是其硬件结构示意图。其中，感知单元由传感器、A/D 转换器组成，负责感知监控对象的信息；能源供给单元负责供给节点工作所消耗的能量，一般为小体积的电池；传输单元完成节点间的信息交互和通信工作，一般为无线电收发装置，由物理层收发器、MAC 协议、网络层路由协议组成；处理单元包括存储器、处理器和应用部分，负责控制整个传感器节点的操作，存储和处理所采集的数据以及其他节点发来的数据。同时，有些节点上还装配有能源再生装置、运动或执行机构、定位系统等扩展设备，以获得更完善的功能。

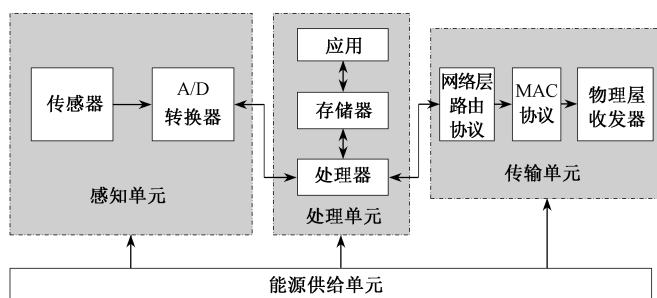


图 1-3 传感器节点硬件结构示意图

典型的传感器节点体积较小，甚至小于 1 cm^3 ，往往被部署在无人照看或恶劣的环境中，无法更换电池，节点能量受限。由于具体的应用背景不同，目前国内外出现了多种无线传感网节点的硬件平台。典型的节点包括美国的 CrossBow 公司开发的 Mote 系列节点 Mica2、MicaZ 和 Mica2Dot，以及 Infineon 公司开发的 EYES 传感器节点，等等。实际上，各平台最主要的区别是采用了不同的处理器、无线通信协议以及与应用相关的不同的传感器。常用的处理器有 Intel StrongARM、Texas Instrument MSP430 和 Atmel Atmega，常用的无线通信协议有 IEEE 802.11b、IEEE 802.15.4 (ZigBee) 和蓝牙 (Bluetooth) 等。与应用相关的传感器有光传感器、热传感器、压力传感器以及湿度传感器等。虽然具体应用不同，传感器节点的设计也不尽相同，但是其基本结构都类似于图 1-3。

1.1.3 无线传感器协议栈

图 1-4 示出了无线传感网 (WSN) 所使用的协议栈。该协议栈将能量 (功率) 意识和路由意识组合在一起，将数据与网络协议综合在一起，在无线传输媒介上进行能量的高效通信，支持各个传感器节点相互协作。协议栈由应用层、传输层、网络层、数据链路层、物理层，以及功率管理平面、移动管理平面、任务管理平面组成。根据感知任务，可以在应用层上建立和使用不同类型的应用软件。传输层帮助维护 WSN 应用所需的数据流。网络层解决传输层所提供的数据的传输路由问题。由于环境噪声以及传感器节点可能是移动节点，所以 MAC 协议必须具有能量意识能力，能够使与邻近节点广播的碰撞达到最低程度。物理层解决简单而又强壮的调制、发送、接收技术问题。此外，功率管理平面、移动管理平面、任务管理平面分别监视传感器节点之间的移动、任务分配，帮助传感器节点协调感知任务和降低总功耗。

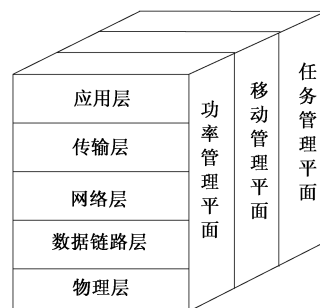


图 1-4 无线传感网协议栈

功率管理平面管理每个传感器节点如何运用其能量。例如，传感器节点接收到其中一个相邻节点的一条消息后，可以关闭接收机，这样可以避免接收重复的消息。当一个传感器节点剩余能量较低时，可以向其相邻节点广播，通知它们自己剩余能量较低，不能参与路由功能，而将剩余能量用于感知任务。移动管理平面用于检测和记录传感器节点的移动状况，因而总是维护返回到用户的路由，传感器节点能够连续不停地跟踪其相邻传感器节点。传感器节点在获知其相邻传感器节点后，就能够平衡其能量和任务处理。任务管理平面平衡和安排特定区域内的

全部传感器节点同时执行感知任务。因此，有些传感器节点根据其能量等级而执行比其他传感器节点较多的感知任务。功率管理平面、移动管理平面、任务管理平面是必需的，这样各个传感器节点才能一起高效地工作，在移动 WSN 中传输数据，共享资源。如果没有功率管理平面、移动管理平面和任务管理平面，那么每个传感器节点只能单独工作。从整个 WSN 来看，若传感器节点能够相互协作，则网络效率更高，因而 WSN 的寿命更长。

1.2 无线传感网的主要特征

1.2.1 不同于移动自组网

移动自组网 (mobile ad hoc network) 或移动 ad hoc 网络是一个由几十到上百个节点组成、采用无线通信方式、动态组网的多跳移动性对等网络。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 (QoS) 要求的多媒体信息流，通常其节点具有持续的能量供给。

无线传感网虽然与无线自组网有相似之处，但同时也存在很大的差别。无线传感网是集成了检测、控制和无线通信的网络系统。与传统 ad hoc 网络相比，无线传感网的业务量较小，而移动 ad hoc 网络业务量较大，主要是 Internet 业务 (包括多媒体业务)。无线传感网节点固定，处理能力、存储能力和通信能力有限，更换电池困难，因而能源问题是无线传感网的主要问题；而移动 ad hoc 网络移动性较强，易于更换电池，故其节点能量不受限制。

无线传感网是移动 ad hoc 网络的一种典型应用，虽然它具有移动自组织特征，但与传统的移动 ad hoc 网络相比，又有一些不同之处，它们之间的主要区别可归纳为以下几点：

- (1) 在网络节点规模方面，无线传感网包含的节点数量比 ad hoc 网络高几个数量级；
- (2) 在网络节点分布密度方面，因节点冗余的要求和部署的原因，无线传感网节点的分布密度很大；
- (3) 在网络节点的处理能力方面，ad hoc 网络的处理能力较强，而无线传感网节点的处理能力、计算能力和存储能力都有限；
- (4) 在网络拓扑结构方面，ad hoc 网络是由于节点的移动而产生的，而无线传感网是由于节点的休眠、环境干扰或节点故障而产生的；
- (5) 在通信方式方面，无线传感网节点主要使用广播通信，而 ad hoc 网络节点采用点对点通信；
- (6) 由于无线传感网节点数量的原因，其节点没有统一的标识；
- (7) 无线传感网以数据为中心。

1.2.2 不同于现场总线网络

在自动化领域，现场总线控制系统 (fieldbus control system, FCS) 正在逐步取代一般的分布式控制系统 (distributed control system, DCS)，各种基于现场总线的智能传感器 / 执行器技术得到了迅速发展。现场总线是应用在生产现场和微机化测量控制设备之间，实现双向串行多节点数字通信的系统，也被称为开放式、数字化、多点通信的底层控制网络。

现场总线作为一种网络形式，是专门为实现在严格的实时约束条件下工作而特别设计的。现场总线技术将专用微处理器植入传统的测量控制仪表，使它们各自具有数字计算和数字通信

的能力，然后采用简单连接的双绞线等作为总线，把多个测量控制仪表连接成网络系统，并按公开、规范的通信协议，在位于现场的多个微机化测量控制设备之间和现场仪表与远程监控计算机之间实现数据传输与信息交换，形成各种适应实际需要的自动控制系统。

现场总线是 20 世纪 80 年代中期在国际上发展起来的。随着微处理器与计算机功能的不断增强和价格的降低，计算机与计算机网络系统得到了迅速发展。现场总线可实现整个企业的信息集成，实现综合自动化，形成工厂底层网络，完成现场自动化设备之间的多点数字通信，实现底层现场设备之间以及生产现场与外界之间的信息交换。

目前市场上较为流行的现场总线有 CAN（控制局域网）、LonWorks（局部操作网络）、Profibus（过程现场总线）、HART（可寻址远程传感器数据通信）和 FF（基金会现场总线）等。

由于严格的实时性要求，这些现场总线的网络通常是由有线构成的。在开放系统互连参考模型中，它利用的只有第一层物理层、第二层链路层和第七层应用层，避开了多跳通信和中间节点的关联队列延迟。然而，尽管固有有限差错率不利于实现，人们仍然致力于在无线通信中实现现场总线的构想。

由于现场总线是通过报告传感数据而控制物理环境的，所以从某种程度上说它与无线传感网非常相似，甚至可以将无线传感网看作无线现场总线的实例。但是两者的区别是明显的：无线传感网关注的焦点不是数十毫秒范围内的实时性，而是具体的业务应用，这些应用能够容许较长时间的延迟和抖动。另外，基于无线传感网的一些自适应协议在现场总线中并不需要，如多跳、自组织的特点，而且现场总线及其协议也没有考虑节约能源的问题。

1.2.3 无线传感器节点的限制

无线传感器节点在实现各种网络协议和应用系统时，存在以下限制：

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他的方式来补充能源是不现实的。如何高效使用能量来使网络生命周期最大化，是无线传感网面临的首要挑战。

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。因此，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、空闲和休眠四种状态。无线通信模块在空闲状态时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；而在休眠状态时关闭通信模块。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；在休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，在不需要通信时尽快进入休眠状态，是无线传感网协议设计需要重点考虑的问题。

图 1-5 所示是传感器节点各部分能量消耗的分布情况，从中可知：传感器节点的绝大部分能量消耗在无线通信模块；传感器节点传输信息时要比执行计算时更消耗电能，将 1 比特信息传输 100 m 的距离所需的能量大约相当于执行 3 000 条计算指令所消耗的能量。

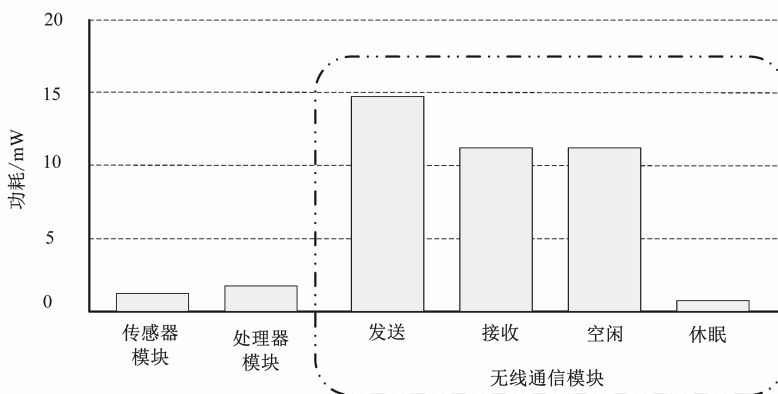


图 1-5 传感器节点各部分能量消耗的分布情况

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 $E = kd^n$ 。其中，参数 $n=2\sim 4$ 为衰落因子，其取值与很多因素有关，例如在传感器节点部署于贴近地面时，因障碍物多、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 取为 3，即通信消耗与距离的 3 次方成正比。随着通信距离 d 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小通信距离。一般而言，传感器节点的无线通信半径在 100 m 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，无线传感网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，受高层建筑、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无线传感网的通信需求是无线传感网面临的挑战之一。

3. 计算和存储能力有限

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的微处理器。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而部分模块处于空闲状态时，把这些组件关掉或调到更低能耗的休眠状态。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。

1.2.4 无线传感网的特点

无线传感网是一种智能网络，它与传统网络相比具有很多独特之处。正是这些独特的优点，使得无线传感网除了自身优势以外还有很多需要解决的问题，这不论对现代研究者来说，还是对无线传感网在实际中的应用来说，都具有很大的挑战性。无线传感网的主要特点如下：

1. 无线传感网规模大，密度高

为了获取尽可能精确、完整的信息，无线传感网通常密集部署在大片的监测区域内，传感器节点数量可能成千上万，甚至更多。大规模网络通过分布式处理大量采集的信息，能够提高监测的精确度，降低对单个传感器节点的精度要求；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。

2. 传感器节点的能量、计算能力和存储容量有限

随着传感器节点的微型化，在设计中大部分节点的能量靠电池提供，其能量有限，而且由于条件限制，难以在使用过程中给节点更换电池，所以传感器节点的能量限制是整个无线传感网设计的瓶颈，它直接决定了网络的工作寿命。另外，传感器节点的计算能力和存储能力都较低，使得它不能进行复杂的计算和数据存储；因而给无线传感网的研究者们提出了挑战，他们必须设计简单有效的路由协议等，以适用于无线传感网。

3. 无线传感网的拓扑结构易变化，具有自组织能力

由于无线传感网中节点节能的需要，传感器节点可以在工作状态和休眠状态之间切换，传感器节点随时可能由于各种原因发生故障而失效，或者添加新的传感器节点到网络中，这些情况的发生都使得无线传感网的拓扑结构在使用中很容易发生变化。此外，如果节点具备移动能力，也必定会带来网络的拓扑变化。基于网络的拓扑结构易变化，无线传感网具有自组织、自配置的能力，能够对由于环境、电能耗尽因素造成的传感器节点改变网络拓扑的情况作出相应的反应，以保证网络的正常工作。

4. 网络的自动管理和高度协作性

在无线传感网中，数据处理由节点自身完成，这样做的目的是减少无线链路中传送的数据量，只有与其他节点相关的信息才在链路中传送。以数据为中心的特性是无线传感网的又一个特点，由于节点不是预先计划的，而且节点位置也不是预先确定的，这样就有一些节点由于发生较多错误或者不能执行指定任务而被终止运行。为了在网络中监视目标对象，配置冗余节点是必要的，节点之间可以通信和协作，共享数据，这样可以保证获得被监视对象比较全面的数据。对用户来说，向所有位于观测区内的传感器发送一个数据请求，然后将所采集的数据送到指定节点处理；可以用一个多播路由协议把消息送到相关节点，这需要一个唯一的地址表。对于用户而言，不需要知道每个传感器的具体身份号，所以可以采用以数据为中心的组网方式。

5. 传感器节点具有数据融合能力

在无线传感网中，由于传感器节点数目大，很多节点会采集到具有相同类型的数据。因而，通常要求其中的一些节点具有数据融合能力，能对来自多个传感器节点采集的数据进行融合，再送给信息处理中心。数据融合可以减少冗余数据，从而减少在传送数据过程中的能量消耗，延长网络的寿命。

6. 以数据为中心的网络

在互联网中，网络设备用网络中唯一的 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，目前的互联网是一个以地址为中心的网络。

在无线传感网中，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。无线传感网是任务型的网络，脱离无线传感网谈论传感器节点没有任何意义。无线传感网的节点采用节点编号标识，需要节点编号与否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，所构成的无线传感网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。用户在使用无线传感网查询事件时，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，通常说无线传感网是一个以数据为中心的网络。

7. 安全性问题严重

由于无线传感器节点本身的资源（如计算能力、存储能力、通信能力和电量供应能力）十分有限，并且节点通常部署在无人值守的野外区域，使用不安全的无线链路进行数据传输，因此无线传感网很容易受到多种类型的攻击，如选择性转发攻击、采集点漏洞攻击、伪造身份攻击、虫洞攻击、Hello 消息广播攻击、黑洞攻击、伪造确认消息攻击以及伪造、篡改和重放路由攻击等。

1.3 无线传感网关键技术

无线传感网作为当今信息领域新的研究热点，涉及多学科交叉的研究领域，需要研究的内容包括通信、组网、管理、分布式信息处理等许多方面，主要分为四部分：网络通信协议；核心支撑技术；自组织管理；开发与应用。其中每部分又有许多需要研究解决的关键技术，下面仅简要介绍部分关键技术。

1. 网络拓扑控制技术

对于无线传感网而言，网络拓扑控制具有特别重要的意义。通过拓扑控制自动生成良好的网络拓扑结构，能够提高路由协议和 MAC 协议的效率，可为数据融合、时间同步和目标定位等方面奠定基础，有利于节省节点的能量来延长网络的生存期。所以，拓扑控制是无线传感网研究的核心技术之一。

目前，无线传感网拓扑控制的主要研究问题，是在满足网络覆盖度和连通度的前提下，通过功率控制和骨干网节点选择，剔除节点之间不必要的无线通信链路，生成一个高效的数据转发的网络拓扑结构。拓扑控制可以分为节点功率控制和层次型拓扑控制两个方面。功率控制机制用来调节网络中每个节点的发射功率，在满足网络连通度的前提下，减小节点的发送功率，均衡节点单跳可达的邻居数目；层次型拓扑控制则利用分簇机制，让一些节点作为簇头节点，由簇头节点形成一个处理并转发数据的骨干网，其他非骨干网节点可以暂时关闭通信模块，进入休眠状态，以节省能量。除了传统的功率控制和层次型拓扑控制，人们也提出了启发式的节点唤醒和休眠机制。该机制能够使节点在没有事件发生时将通信模块设置为休眠状态，而在有事件发生时及时自动醒来并唤醒邻居节点，形成数据转发的拓扑结构。这种机制重点在于解决节点在休眠状态和活动状态之间的转换问题，不能够独立作为一种拓扑控制机制，因此需要与其他拓扑控制算法结合使用。

2. 网络通信协议

由于传感器节点的计算能力、存储能力、通信能力以及携带的能量都十分有限，每个节点只能获取局部网络的拓扑信息，其上运行的网络协议也不能太复杂。同时，传感器拓扑结构动态变化，网络资源也在不断变化，这些都对网络协议提出了更高的要求。无线传感网协议负责使各个独立的节点形成一个多跳的数据传输网络，目前其研究的重点是网络层协议和数据链路层协议。网络层的路由协议决定监测信息的传输路径；数据链路层的介质访问控制用来构建底层的基础结构，控制传感器节点的通信过程和工作模式。

在无线传感网中，路由协议不仅关心单个节点的能量消耗，更关心整个网络能量的均衡消耗，这样才能延长整个网络的生存期。同时，无线传感网是以数据为中心的，这在路由协议中表现得最为突出，每个节点没有必要采用全网统一的编址，选择路径可以不用根据节点的编址，更多的是根据感兴趣的数据建立数据源到汇聚节点之间的转发路径。

无线传感网的 MAC 协议首先要考虑节省能源和可扩展性，其次才考虑公平性、利用率和实时性等。在 MAC 层的能量浪费主要表现在空闲侦听、接收不必要数据和碰撞重传等。为了减少能量的消耗，MAC 协议通常采用“侦听/休眠”交替的无线信道侦听机制，传感器节点在需要收发数据时才侦听无线信道，没有数据需要收发时就尽量进入休眠状态。由于无线传感网是应用相关的网络，当应用需求不同时，网络协议往往需要根据应用类型或应用目标环境特征定制，没有任何一个协议能够高效适应所有不同的应用。

3. 网络安全技术

无线传感网作为任务型的网络，不仅要进行数据的传输，而且要进行数据采集和融合以及任务的协同控制等。如何保证任务执行的机密性、数据产生的可靠性、数据融合的高效性以及数据传输的安全性，就成为无线传感网安全问题需要全面考虑的内容。

为了保证任务的机密布置以及任务执行结果的安全传递和融合，无线传感网需要实现一些最基本的安全机制：机密性、点到点的消息认证、完整性鉴别、新鲜性、认证广播和安全管理。除此之外，为了确保数据融合后数据源信息的保留，水印技术也成为无线传感网安全的研究内容。虽然在安全研究方面，无线传感网没有引入太多的内容，但无线传感网的特点决定了它的安全与传统网络的安全在研究方法和计算手段上有很大的不同。首先，无线传感网的单元节点的各方面能力都不能与目前 Internet 的任何一种网络终端相比，所以必然存在算法计算强度和安全强度之间的权衡问题，如何通过更简单的算法实现尽量坚固的安全外壳是无线传感网安全的主要挑战；其次，有限的计算资源和能量资源往往需要对系统的各种技术（如安全路由技术等）综合考虑，以减少系统代码的数量；再次，无线传感网任务的协作特性和路由的局部特性使节点之间存在安全耦合，单个节点的安全泄漏必然威胁网络的安全，所以在考虑安全算法时要尽量减小这种耦合性。

4. 时间同步技术

时间同步是需要协同工作的无线传感网系统的一个关键机制。例如，测量移动车辆速度需要计算不同传感器检测事件的时间差，通过波束阵列确定声源位置节点间的时间同步。NTP 协议是 Internet 上广泛使用的网络时间协议，但只适用于结构相对稳定、链路很少失败的有线

网络系统；GPS 系统能够以纳秒级精度与世界标准时间 UTC 保持同步，但需要配置固定的高成本接收机，同时在室内、森林或水下等有掩体的环境中无法使用 GPS 系统。因此，它们都不适合应用在无线传感网中。

目前已提出了多个时间同步机制，其中 RBS、Tiny-sync/Mini-sync 和 TPSN 被认为是三个基本的同步机制。RBS 机制是基于接收者-接收者的时钟同步机制：一个节点广播时钟参考分组，广播域内的两个节点分别采用本地时钟记录参考分组的到达时间，通过交换记录时间来实现在它们之间的时钟同步。Tiny-sync/Mini-sync 是简单的轻量级同步机制：假设节点的时钟漂移遵循线性变化，那么两个节点之间的时间偏移也是线性的，可通过交换时标分组来估计两个节点间的最优匹配偏移量。TPSN 采用层次结构实现整个网络节点的时间同步：所有节点按照层次结构进行逻辑分级，通过基于发送者-接收者的节点对方式，每个节点能够与上一级的某个节点进行同步，从而实现所有节点都与根节点的时间同步。

5. 节点定位技术

位置信息是传感器节点采集数据中不可缺少的部分，没有位置信息的监测消息通常毫无意义。确定事件发生的位置或采集数据的节点位置是无线传感网最基本的功能之一。为了提供有效的位置信息，随机部署的传感器节点必须能够在布置后确定自身位置。

由于传感器节点存在资源有限、随机部署、通信易受环境干扰甚至节点失效等特点，定位机制必须满足自组织性、稳健性（又称鲁棒性）、能量高效、分布式计算等要求。根据节点位置是否确定，传感器节点分为信标节点和位置未知节点。信标节点的位置是已知的；位置未知节点需要根据少数信标节点，按照某种定位机制确定自身的位置。

在无线传感网定位过程中，通常会使用三边测量法、三角测量法或极大似然估计法确定节点位置。根据定位过程中是否实际测量节点间的距离或角度，把无线传感网中的定位分为基于测距的定位和无须测距的定位。

6. 数据融合技术

无线传感网是能量约束的网络，减少传输的数据量能够有效地节省能量，提高网络的生存期。因此，在各个传感器节点数据收集过程中，可利用节点的本地计算和存储能力、数据处理融合能力，去除冗余信息，从而达到节省能量的目的。由于传感器节点的易失效性，无线传感网也需要利用数据融合技术对多份数据进行综合，提高信息的准确度。

数据融合技术可以与无线传感网的多个协议层次进行结合。在应用层设计中，可以利用分布式数据库技术，对采集到的数据进行逐步筛选，达到融合的效果；在网络层中，很多路由协议均结合了数据融合机制，以期减少数据传输量。数据融合技术已经在目标跟踪、目标自动识别等领域得到了广泛的应用。

数据融合技术在节省能量、提高信息准确度的同时，要以牺牲其他方面的性能为代价。首先是延迟的代价，在数据传输过程中寻找易于进行数据融合的路由，进行数据融合操作，或者为融合而等待其他数据的到来，这三个方面都可能增加网络的平均延迟。其次是稳健性的代价，无线传感网相对于传统网络有更高的节点失效率以及数据丢失率，数据融合可以大幅度降低数据的冗余性，但丢失相同的数据量可能损失更多的信息，因此相对而言也降低了网络的稳健性。

7. 数据管理技术

从数据存储的角度来看,无线传感网可视为一种分布式数据库。以数据库的方法在无线传感网中进行数据管理,可以将存储在网络中的数据逻辑视图与网络中的实现进行分离,使得无线传感网的用户只需关心数据查询的逻辑结构,而无须关心实现细节。虽然对网络所存储的数据进行抽象会在一定程度上影响执行效率,但可以显著增强无线传感网的易用性。美国加州大学伯克利分校的 TinyDB 系统和 Cornell 大学的 Cougar 系统是目前具有代表性的无线传感网数据管理系统。

无线传感网的数据管理与传统的分布式数据库有很大的差别。由于传感器节点能量受限且容易失效,数据管理系统必须在尽量减小能量消耗的同时提供有效的数据服务。同时,无线传感网中节点数量庞大,且传感器节点产生的是无限的数据流,无法通过传统的分布式数据库的数据管理技术进行分析处理。此外,对无线传感网数据的查询经常是连续的查询或随机抽样的查询,这也使得传统分布式数据库的数据管理技术不适用于无线传感网。

无线传感网数据管理系统的结构主要有集中式、半分布式、分布式以及层次式,目前大多数研究工作均集中在半分布式结构方面。无线传感网中数据的存储采用网络外部存储、本地存储和以数据为中心的存储三种方式。相对于其他两种方式,以数据为中心的存储方式可以在通信效率和能量消耗两方面获得很好的折中。基于地理散列表的方法便是一种常用的以数据为中心的数据存储方式。在无线传感网中,既可以为数据建立一维索引,也可以建立多维索引。DIFS 系统中采用的是一维索引的方法,而 DIM 是一种适用于无线传感网的多维索引方法。无线传感网的数据查询语言目前多采用类 SQL 的语言。查询操作可以按照集中式、分布式或流水线式查询进行设计。集中式查询由于传送了冗余数据而消耗额外的能量,分布式查询利用聚集技术可以显著降低通信开销,而流水线式聚集技术可以提高分布式查询的聚集正确性。在无线传感网中,对连续查询的处理也是需要考虑的一个方面,CACQ 技术可以处理无线传感网节点上的单连续查询请求和多连续查询请求。

8. 无线通信技术

无线传感网需要低功耗、短距离的无线通信技术。IEEE 802.15.4 标准是针对低速无线个人域网的无线通信标准,把低功耗、低成本作为设计的主要目标,旨在为个人或者家庭范围内不同设备之间低速联网提供统一标准。由于 IEEE 802.15.4 标准的网络特征与无线传感网存在很多相似之处,故很多研究机构把它作为无线传感网的无线通信平台。

超宽带(UWB)技术是一种极具潜力的无线通信技术。超宽带技术具有对信道衰落不敏感、发射信号功率谱密度低、低截获能力、系统复杂度低、能提供厘米级的定位精度等优点,非常适合应用在无线传感网中。迄今为止,关于 UWB 有两种技术方案,一种是以 Freescale 公司为代表的 DS-CDMA 单频带方式,另一种是由英特尔、德州仪器等公司共同提出的多频带 OFDM 方案,但还没有一种方案成为正式的国际标准。

9. 嵌入式操作系统

传感器节点是一个微型的嵌入式系统,携带非常有限的硬件资源,要求操作系统能够节能、高效地使用其有限的内存、处理器和通信模块,且能够对各种特定应用提供最大的支持。

在面向无线传感网的操作系统的支持下，多个应用可以并发地使用系统的有限资源。

传感器节点有两个突出的特点。一个特点是并发性密集，即可能存在多个需要同时执行的逻辑控制，这需要操作系统能够有效地满足这种发生频繁、并发程度高、执行过程比较短的逻辑控制流程；另一个特点是传感器节点模块化程度很高，要求操作系统能够让应用程序方便地对硬件进行控制，且保证在不影响整体开销的情况下，应用程序中的各个部分能够比较方便地进行重新组合。这些特点对设计面向无线传感网的操作系统提出了新的挑战。美国加州大学伯克利分校针对无线传感网研发了 TinyOS 操作系统，在科研机构的研究中得到比较广泛的使用，但仍然存在不足之处。

10. 应用层技术

无线传感网应用层由各种面向应用的软件系统构成，而部署的无线传感网往往要执行多种任务。因此，应用层的研究主要是各种无线传感网应用系统的开发和多任务之间的协调，如作战环境侦察与监控系统、军事侦察系统、情报获取系统、战场监测与指挥系统、环境监测系统、交通管理系统、灾难预防系统、危险区域监测系统、有灭绝危险的动物或珍贵动物的跟踪监护系统、民用和工程设施的安全性监测系统，以及生物医学监测、治疗系统和智能维护等。

无线传感网应用开发环境的研究，旨在为应用系统的开发提供有效的软件开发环境和软件工具，需要解决的问题包括无线传感网程序设计语言，无线传感网程序设计方法学，无线传感网软件开发环境和工具，无线传感网软件测试工具的研究，面向应用的系统服务（如位置管理和发现等），以及基于感知数据的理解、决策和举动的理论与技术（如感知数据的决策理论、反馈理论、新的统计算法、模式识别和状态估计技术等）。

1.4 无线传感网的应用

无线传感网具有无须预先铺设网络设施，快速自动组网，传感器节点体积小等特点，使得无线传感网在军事、环境、工业、医疗等方面有着广阔的应用前景。

1. 军事应用

无线传感网可用来建立一个集命令、控制、通信、计算、智能、监视、侦察和定位于一体的战场指挥系统。因为无线传感网是由密集型、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损坏而导致整个系统的崩溃，这一点是传统传感技术所无法比拟的；也正是这一点，使无线传感网非常适合应用于恶劣的战场环境中，使用声音、压力等传感器可以侦察敌方阵地动静以及人员、车辆行动情况，实现战场实时监督、战场损失评估等。

2. 环境监测

无线传感网可以布置在野外环境中获取环境信息。例如，可以应用于森林火险监测，传感器节点被随机密布在森林之中，当发生火灾时，这些传感器会通过协同合作在很短的时间内将火源的具体地点、火势的大小等信息传给终端用户。另外，无线传感网在监视农作物灌溉情况，土壤空气情况，牲畜、家禽的环境状况，大面积的地表监测，气象和地理研究，洪水监测，以

及跟踪鸟类、小型动物和昆虫对种群复杂度的研究等方面都有较大的应用空间。

3. 工业应用

在工业安全方面，无线传感网可以应用于有毒、放射性的场合，其自组织算法和多跳路由传输可以保证数据有更高的可靠性。在设备管理方面，它可用于监测材料的疲劳状况、机械的故障诊断，实现设备的智能维护等。它采用的分布式算法和引入的近距离定位技术，对于机器人的控制和引导将发挥重要的作用。无线传感网可实现家居环境、工作环境智能化。例如，由嵌入家电和家具中的传感器与执行机构组成的无线网络与 Internet 连接在一起，将会为人们提供更加舒适、方便和具有人性化的智能家居和办公环境。

4. 智能医疗

通过在病人身上安装特殊用途的传感器节点，医生可以利用无线传感网随时了解被监护病人的病情，及时发现病人的异常情况并进行处理，如实时掌握血压、血糖、脉搏等情况；一旦发生危急情况，可在第一时间实施救助。医学研究者亦可以在不妨碍被监测对象正常生活的基础上，利用无线传感网长时间地收集人的生理数据。这些数据对于研制新药品和进行人体活动机理的研究都是非常有用的。总之，无线传感网为未来的远程医疗提供了更加方便、快捷的技术实现手段。

5. 智能家居

在家具和家电中嵌入传感器节点，通过无线传感网与 Internet 连接在一起，将会为人们提供更加舒适、方便和人性化的智能家居环境，包括家庭自动化（即嵌入到智能吸尘器、智能微波炉、电冰箱等，实现遥控、自动操作和基于 Internet 与手机网络等的远程监控）以及智能家居环境（如根据亮度需求自动调节灯光，根据家具脏的程度自动进行除尘等）。

6. 建筑物和大型设备安全状态的监控

通过对建筑物安全状态的监控，可以检查出建筑物（如房屋、桥梁等）中存在的安全隐患或建筑缺陷，从而避免建筑物的倒塌等事故的发生。通过对一些大型设备（如工厂自动化生产线、货物列车等）运行状态的监控，可以及时监控设备的运行情况，从而避免设备故障导致的意外。

7. 应急救援

在发生了地震、水灾、火灾、爆炸或恐怖袭击后，固定的通信网络设施（如有线通信网络，蜂窝移动通信网络的基站，卫星通信地球站以及微波接力站等）可能被全部摧毁或无法正常工作。无线传感网这种不依赖任何固定网络设施就能快速布设的自组织网络技术，是在这些场合进行通信的最佳选择。

8. 其他方面的应用

无线传感网在商业、交通等其他方面也具有广泛的应用。在商业应用方面，无线传感网可用在货物的供应链管理中，它可以用于定位货物的存放位置，有助于了解货品的状态、销售状

况等。每个集装箱内的大量传感器节点可以自组织成一个无线网络，集装箱内的每个节点都可以和集装箱上的节点相联系。通过装载在节点上的温湿度传感器、加速度传感器等记录集装箱是否被打开过，是否过热、受潮或者受到撞击。

在交通运输应用中，可以对车辆、集装箱等多个运动的个体进行有效的状态监控和位置定位。传感器节点还可以用于车辆的跟踪，将各节点收集到的有关车辆的信息传给基站；这些信息经过基站处理，使人们获得车辆的具体位置。

综上所述，无线传感网的研究和最终成果必将对我国的国防、工业、社会生活及其他领域产生非常重要的影响，具有广泛的应用前景和巨大的应用价值。

1.5 无线传感网发展与现状

1.5.1 无线传感网发展的三个阶段

无线传感网的发展也是符合计算设备的演化规律的。根据研究和分析，无线传感网的发展历史分为三个阶段。

第一阶段：传统的传感器系统

无线传感网的历史最早可以追溯到 20 世纪 70 年代越战时期使用的传统的传感器系统。当时美越双方在密林覆盖的“胡志明小道”进行了一场血腥的较量。这条道路是北越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。

所谓“热带树”，实际上是由震动和声响传感器组成的系统。它由飞机投放，落地后插入泥土中，只露出伪装成树枝的无线电天线，因而被称为“热带树”。只要对方车队经过，传感器就能探测出目标所产生的震动和声响信息，自动发送到指挥中心，美国立即展开追杀，总共炸毁或炸坏 4.6 万辆卡车。

这种早期使用的传感器系统，其特征在于：传感器节点只产生探测数据流，没有计算能力，并且相互之间不能通信。

传统的原始传感器系统通常只能捕获单一信号，传感器节点之间只能进行简单的点对点通信，网络一般采用分级处理结构。

第二阶段：无线传感网节点集成化

第二阶段是 20 世纪 80 年代至 90 年代之间。1980 年美国国防高级研究计划局（Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA）的分布式无线传感网（distributed sensor network, DSN）项目，开启了现代无线传感网研究的先河。该项目由 TCP/IP 协议的发明人之一、时任 DARPA 信息处理技术办公室主任的 Robert Kahn 主持，他起初设想建立由低功耗传感器节点所构成的网络。这些节点之间相互协作，但自主运行，将信息发送到需要它们的处理节点。就当时的技术水平来说，这绝对是一个雄心勃勃的计划。通过多所大学研究人员的努力，该项目还在操作系统、信号处理、目标跟踪、节点实验平台等方面取得了较好的基础性成果。

在这个阶段，无线传感网的研究仍然主要在军事领域展开，并成为网络中心战体系中的关

键技术。比较著名的系统包括美国海军研制的协同交战能力系统（Cooperative Engagement Capability, CEC）、用于反潜作战的固定式分布系统（Fixed Distributed System, FDS）、高级配置系统（Advanced Deployment System, ADS）、远程战场传感器网络系统（Remote Battlefield Sensor System, REMBASS）、战术远程传感器系统（Tactical Remote Sensor System, TRSS）等无人值守的地面传感器网络系统。这个阶段的技术特征是采用了现代微型化的传感器节点，这些节点可以同时具备感知能力、计算能力和通信能力。因此在 1999 年，《商业周刊》将无线传感网列为 21 世纪最具影响力的 21 项技术之一。

第三阶段：多跳自组网

第三阶段是从 21 世纪初至今。美国在 2001 年发生了震惊世界的“911”事件，如何找到恐怖分子头目本·拉登成了和平世界的一道难题。因为本·拉登深藏在阿富汗山区，神出鬼没，极难发现他的踪迹。人们设想可以在本·拉登经常活动的地区大量投放各种微型探测传感器，采用无线多跳自组网的方式，将发现的信息以类似于接力赛的方式，传送给远在波斯湾的美国军舰。但是这种低功率的无线多跳自组网技术，在当时是不成熟的，因而向科技界提出了应用需求，由此引发了无线自组织无线传感网的研究热潮。

这个阶段的无线传感网，其技术特点是网络传输自组织、节点设计低功耗，除了应用于情报部门进行反恐活动以外，在其他领域更是获得了很好的应用。所以，2002 年美国国家重点实验室——橡树岭实验室提出了“网络就是传感器”的论断。

由于无线传感网在国际上被认为是继互联网之后的第二大网络，因此 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，无线传感网被列为第一。

在现代意义上的无线传感网研究和应用方面，我国与发达国家几乎同步启动，无线传感网已经成为我国信息领域位居世界前列的少数方向之一。在 2006 年我国发布的《国家中长期科学与技术发展规划纲要》中，为信息技术确定了三个前沿方向，其中就有两项与传感网直接相关，分别是智能感知和自组网技术。

纵观计算机网络技术的发展史，应用需求始终是推动和左右全球网络技术进步的动力。无线传感网可以为人类增加“耳”“鼻”“眼”“舌”等的感知能力，这是扩展人类感知能力的一场革命。无线传感网是近几年来国内外在研究和应用上都非常热门的领域，在国民经济建设和国防军事上具有十分重要的应用价值。目前，无线传感网的发展几乎呈爆炸式的趋势。

1.5.2 无线传感网发展现状

由于其巨大的科学意义和商业、军事应用价值，无线传感网已经引起了许多国家学术界、军事部门和工业界的极大关注。无线传感网的研究发展起源可以追溯到 1978 年由美国国防高级研究计划局（DARPA）资助的在卡耐基-梅隆大学（Carnegie-Mellon University）举行的“分布式无线传感网论坛”，但对其研究还是在 20 世纪 90 年代才真正进入热潮。

无线传感网（WSN）的研究起源于 20 世纪 70 年代，最早应用于军事领域，1994 年美国加州大学洛杉矶分校（UCLA）的 William J. Kaiser 教授向 DARPA 提交了“Low-power Wireless Integrated Micro-sensors (LWIM)”研究计划书。该计划书不但给出了基于微机电系统（MEM）的微小节点的概念设计模型，还描绘出了无线传感网的广泛诱人 and 极具想象力的应用背景，因

此无线传感网在美国的军事项目中得到了大量的应用。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。美国国家科学基金会也开始支持该领域的相关技术研究。美国国防部以及各军事部门都高度重视 WSN 研究,把 WSN 作为一个重要研究领域,并设立了一系列的用于军事用途的 WSN 研究项目。2002年,英特尔公司发布了“基于微型传感器网络的新型计算发展规划”,该规划主要致力于微型传感器网络在环境监测、医学、海地板块、森林灭火和行星探测等领域的应用。同年,欧盟提出了 EYES(自组织和协作有效能量的传感器网络)计划,该项目的研究期限为3年,主要致力于无线传感网的构架、网络协议、节点的协作以及整个网络安全等方面的研究。2003年美国 MIT《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。之后,美国交通部、能源部、国家航空航天局等都纷纷支持开展无线传感网的相关研究,自此相关研究在各大高校迅速展开。比较著名的实验室和研究项目包括:加州大学洛杉矶分校(UCLA)的 CENS(Center for Embedded Network Sensors)实验室,UCLA 电子工程系的 WINS(Wireless Integrated Network Sensors)项目,加州大学伯克利(Berkeley)分校的 BWRC(Berkeley Wireless Research Center)和 WEBS(Wireless Embedded System)等研究项目,俄亥俄州立大学(The Ohio State University)的 ESWSN(Extreme Scale Wireless Sensor Networking)项目,Stony Brook 大学的 WNS 实验室(Wireless Networking and Simulation Laboratory),哈佛大学(Harvard University)的 Code Blue 项目,耶鲁大学(Yale University)的 ENALAB 实验室(Embedded Networks and Allocations Lab),麻省理工学院(MIT)的 NMS(Network and Mobile Systems)项目等。此外,欧洲和亚洲的很多大学研究所也开始了这方面的研究。例如,新加坡国立大学的无线传感网实验室等也有关于无线传感网方面的研究,并且在无线传感网的相关领域有突出的科研成果。迄今为止,人们已经开发出一些实际可用的传感器节点平台和面向无线传感网的操作系统。比较具有代表性的传感器节点包括 UeB 大学和 Crossbow 公司联合开发的 Mica 系列节点,UeB 大学 BWRC(Berkeley Wireless Research Center)开发的 Pico Radio 传感器节点,加州大学开发的 MecaMK-2 节点,Intel 公司开发的 Intel Mote 节点等。而无线传感网操作系统中比较著名的有 UeB 大学开发的 TinyOS 系统、Colorado 大学开发的 MANTIS 系统以及 UCLA 大学开发的系统等。

相比于国外,我国对无线传感网相关领域的研究起步要晚一些。1999年,无线传感网方面的研究首次出现在中国科学院《知识创新工程试点领域方向研究》的“信息与自动化领域研究报告”中。中国科学院的计算所、自动化所、软件所等科研机构以及清华大学、北京邮电大学、上海交通大学等高校都是国内较早进行无线传感网研究的单位,中国移动、华为、中兴等大型企业也加入了研究行列。无线传感网的研究得到了国家的重视和支持,2002年国家自然科学基金委开始支持无线传感网相关的课题。在2006年我国发布的《国家中长期科学与技术发展规划纲要》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。在2011年发布的“十二五”规划纲要中,传感器网络再次被列为国家重点发展产业。中国下一代互联网项目、国家自然科学基金、国家“863”计划基金、国家重点基础研究发展计划(973计划)都大力支持传感器网络相关研究,相关项目的设立,推进了我国传感器网络技术的快速发展。

1.5.3 无线传感网的发展趋势

1. 无线多媒体传感网

无线传感网通过由传感器节点感知、收集和处理物理世界的信息来完成人类对物理世界的理解和监控，为人类与物理世界实现“无处不在”的通信和沟通搭建起一座桥梁。然而，目前无线传感网的大部分应用集中在简单、低复杂度的信息获取和通信上面，只能获取和处理物理世界的标量信息，如温度、湿度等。这些标量信息无法刻画丰富多彩的物理世界，难以实现真正意义上的人与物理世界的沟通。为了克服这一缺陷，一种既能获取标量信息，又能获取视频、音频和图像等矢量信息的无线多媒体传感网（wireless multimedia sensor network, WMSN）应运而生。这种特殊的无线传感网有望实现真正意义上的人与物理世界的完全沟通。相对于传统无线传感网仅对低比特流、较小信息量的数据进行简单处理而言，无线多媒体传感网作为一种全新的信息获取和处理的技术，更多地关注各种各样的信息，包括音频、视频和图像等大数据量、大信息量的信息，以及它们的采集和处理，它利用压缩、识别、融合和重建等多种方法来处理所收集到的各种信息，以满足多样化应用的需求。

2. 泛在传感网

随着信息技术的日新月异，无线通信技术发生了重大变化并取得了迅猛的发展。未来无线通信技术将朝着宽带化、移动化、异构化和个性化等方面发展，以达到通信的“无所不在”，即“泛在化”。

由于其在硬件上（如大小、功耗、通信能力等方面）的特点，传感器节点能够在任何时候放置于任何地方，因而传感网是实现未来“泛在化”通信的一种有效手段或者补充。泛在传感网（ubiquitous sensor network）指的是能够在任何时间、地点收集和处理实时信息的传感器网络。泛在传感网改变了人类信息收集和处理的历史，使得原来只能由人来完成的信息收集和处理任务，现在也能由传感器节点完成。泛在传感网与传统意义上的无线传感网的区别在于：泛在传感网将会是有线和无线通信技术的综合体，而传统的无线传感网主要是基于无线通信技术的。

3. 基于认知功能的传感网

认知无线电（cognitive radio, CR）被认为是一种提高无线电频谱利用率的新方法，同时也是一种智能的无线通信技术。它建立在软件无线电（software defined radio, SDR）的基础上，能感知周围环境，并使用已建立的理解方法从外部环境学习，通过对特定的系统参数（如功率、载波和调制方案等）的实时改变来调整它的内部状态，以适应系统环境的变化。认知无线电技术的核心是采用软件无线电技术，最大限度地利用时域、频域、空域等的信息，动态调节和适应无线通信频谱的分配和使用。

目前，无线传感网节点所感知的主要是物理世界的环境信息，没有涉及对节点本身通信资源的感知。具有认知功能的传感网不仅能感知和处理物理世界的环境信息，还能利用认知无线电技术对通信环境进行认知。此时的传感器节点变成了一个智能体，因此它实现了智能化的传感器网络，可望大大改善传感网的资源利用率和服务质量。

4. 基于超宽带技术的无线传感网

前面提到,无线传感网由于其广泛的应用前景而受到了工业界和学术界的关注。无线传感网要真正付诸应用,离不开传感器节点的设计实现。无线传感器节点的特征是体积小、功耗低和成本低,传统的正弦载波无线传输技术由于存在中频、射频等电路和一些固有组件的限制而难以达到这些要求。超宽带通信技术是一种非传统的、新颖的无线传输技术,它通常采用极窄脉冲或极宽的频谱来传输信息。相对于传统的正弦载波通信系统而言,超宽带(ultra wideband, UWB)无线通信系统具有高传输速率、高频谱效率、高测距精度、抗多径干扰、低功耗、低成本等诸多优点。这些优点使超宽带无线传输技术和无线传感网自然而然地联系在了一起,使对基于超宽带技术的无线传感网的研究和开发得到越来越多的关注。

基于超宽带技术的无线传感网具备一些传统无线传感网无法比拟的优势,将成为无线传感网极其重要的一个发展方向,并具备广阔的应用前景。

5. 基于协作通信技术的无线传感网

无线传感网依靠节点间的相互协作完成信息的感知、收集和处理任务,它与协作通信技术有着天然的联系。从另一个角度来看,传感器节点的大小有限,能量受限于供电电池,且处理能力和工作带宽都有限,这些限制为无线传感网带来了一系列问题。仅仅依靠单个传感器节点解决这些问题是不现实的,需借助于节点之间的协作来解决。协作通信技术为有效解决这些问题提供了很好的解决思路。通过共享节点间的资源,有望大大提高整个网络的资源利用率和性能。

近年来,研究人员已将协作通信的思想应用于无线传感网的研究中,并取得了初步研究成果。

本章小结

无线传感网作为一种新兴的信息技术,是能够自主实现数据采集、融合和传输的智能网络,它使得逻辑上的信息世界和真实的物理世界紧密结合,将改变人类和物理世界的交互方式。无线传感网具有广阔的应用前景和巨大的研究价值,成为IT领域的研究热点。

无线传感网由大量的微型传感器节点构成,其中包括普通节点和汇聚节点(或簇头节点),每个节点一般由传感单元、处理和存储单元、无线通信单元以及能源供给四部分组成。传感网体系结构由传感网、传输网、监控管理中心构成。

无线传感网不同于传统网络,主要受到能源受限、计算处理能力受限、通信能力受限的约束。所以,它面临很多挑战性的问题,研究中必须考虑能源问题、价格问题、体积问题等。

无线传感网是一种智能网络,其应用非常广泛,涉及工业、农业、军事等领域以及我们的日常生活。无线传感网正逐步融入人们生活的各个角落,成为我们生活的一部分;研究传感网的应用具有非常重要的价值和意义。

思考题

1. 什么是无线传感网，其主要特点是什么？举例说明无线传感网在实际生活中有哪些应用。
2. 无线传感网与现代信息技术之间的关系如何？
3. 无线传感网与自组织网络的主要异同点有哪些？
4. 用图示说明无线传感网的系统架构。
5. 无线传感网节点使用的限制因素有哪些？
6. 分析无线传感网节点消耗电源能量的特征。
7. 简述无线传感网发展历史的阶段划分和各阶段的技术特点。
8. 无线传感网有哪些关键技术，需要解决的关键问题是什么？

电子工业出版社版权所有
盗版必究