

第3章 传感网



本章导读

传感网主要由功能各异的传感器组成，是物联网的基础部分，也是物联网对现实世界感知能力的重要环节。物联网利用传感技术，通过传感器及其组成的传感器网络，将现实事物或现象转换成虚拟信号信息，通过现有的虚拟网路传输信息，实现人与物之间、物与物之间信息交互和链接。GPS 技术是一种常见的定位技术，在物联网领域也应用广泛。本章对 GPS 技术进行相关介绍。

传感器将现实世界的事物或现象转换成为可以被人们或者设备读取的按照一定规律对应可以测量的输出信号，从而实现对现实物理量的精确测量。随着传感器技术的不断发展，传感器朝着高精度、数字化、智能化、微型化集成式的方向不断进步，在精确度、灵敏度、使用便利性、灵活性等方面有了更大提高，随着无线传感网的不断完善和进步，传感网也从最初的点覆盖、线覆盖、面覆盖，发展为区域覆盖，应用范围得到极大扩展。传感网及传感器作为物联网的基础和重要环节，被广泛应用在现实生活中的各个领域和系统中。

本章将学习以下内容：

- 传感器的基础知识
- 传感网的组成结构
- 传感网的关键技术
- 传感网的应用领域
- GPS 技术简介

物联网是通过各种传感设备，如 RFID、全球定位系统（Global Positioning System, GPS）、红外线感应器（Infra Red Sensor）等各种技术与设备，感知、采集和处理各种现实物体的包括声音、热量、电能、速度、位置等各类需要的信息，并将采集到的信息传输到互联网中，利用传感器和传感网络对现实世界进行感知识别，将现实事物或现象转换成虚拟信号信息，通过现有的虚拟网络传输信息，实现人与物之间、物与物之间信息交互和链接的新传播形式逐渐进入日常生活中，不断改变着无数人的生活方式。

物联网网络构架由感知层、网络层和应用层组成。传感器和其所组成的传感网作为物联网的最基础环节，在物联网的搭建和运行中担任着举足轻重的重要角色。通过传感器、传感网

络，实现了感知现实世界的能力，实现了现实世界和网络虚拟世界的融合。

本章将介绍物联网中最基础的传感器以及传感网的基本知识，并介绍传感网的关键技术及相关应用领域。

3.1 传感器概述

传感器作为物联网的基础环节，对精确的感知现实世界的物质和现象起着举足轻重的作用。它能感知外界信号（如光、热、速度、压力、湿度、温度等），并将此信息转换并传递给其他装置，实现现实信号的感知。同时，根据传感器的输入与输出的对应关系从而对输入量进行测量。

3.1.1 传感器的概念

人一般是通过自身的感知器官（眼、耳、鼻、舌、皮肤）来接收和感受包括视觉、听觉、嗅觉、味觉、触觉等方面的外界信息，并将所得到的信息传送到大脑进行判断和处理，然后大脑又把执行指令发送给肌肉以指挥人的行为。

但是人的五官对能感知的外界信息无法给予精确的评判，没有一个评定的标准，比如对温度的感知只能是热冷，无法得知准确的温度值。同时五官可以感知的范围比较窄，比如对光线只能感知可见光的范围，难以感知红外线、紫外线等光源。并且不能感知高温、无色无味气体、剧毒物以及各种微弱信号等。对各种事物信息感知以及精确测量的需求促进了新的感知技术和仪器的出现。

电信号作为具有高精度、高灵敏度、可测量的参数范围宽、便于传递、放大，并可以记录和储存等优点，并广泛应用于感知现实信息的传感器设备中。

广义上讲，传感器是一种能将物理或者化学形式的能量转换为另一种形式能量的转换器。国家标准中，对传感器的定义是：“能感受规定的被测量，并按照一定的规律转换成可用信号的器件或装置，通常由敏感元件和转换元件组成”。日常所说的传感器大部分指的是一种能对待测的各种物理量或化学量（如位移、压力、速度、温度、湿度、热、光、声音等）转换成为可以被人或设备读取的按照一定规律对应的输出可以测量的信号（电压、电流或电阻等电信号）的器件，如图3.1所示。传感器的开发是实现现实世界中各种信息数字化的基本依据和保证，也是实现自动检测和自动控制的首要环节。

如图3.2所示，人是通过自身的感官系统（视、听、嗅、味、触）来接收外界的信息，相对应的，机器感知外界信息的方式是通过传感器。人通过大脑把感官系统发送来的信息进行处理，并将处理结果发送信息给肌肉，从而使肌肉做出相应的动作。而机器是通过电子计算机（处理器）来处理传感器发送来的信息，并经计算的结果发送给机械装置，从而使机械装置做出相应的动作。大多数机器还配有显示装置，可以用来显示采集到的信息，也可以显示最终的经过计算机处理过的信息。如果把电子计算机比喻成大脑的话，那传感器则相当于人的视、听、嗅、

味、触等感知器官。

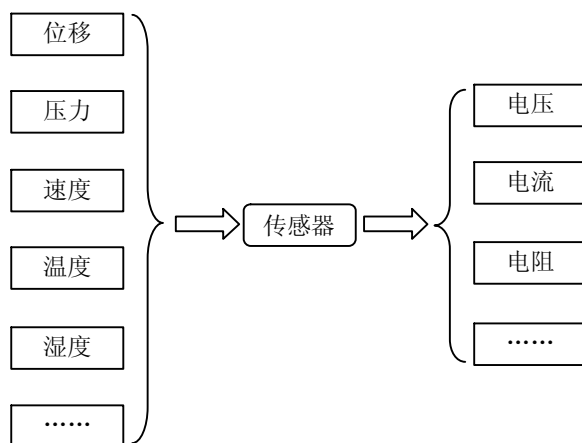


图 3.1 传感器原理示意图

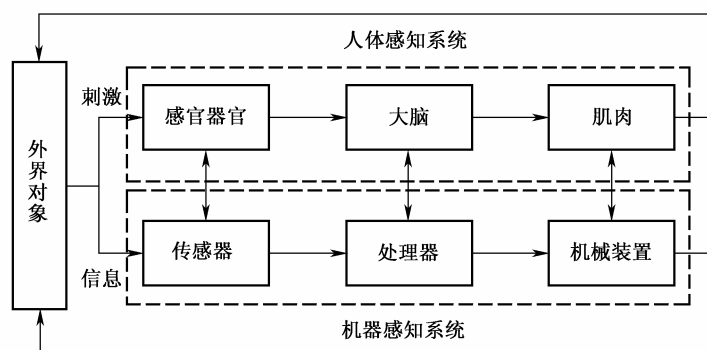


图 3.2 人体感知系统与机器感知系统的对应关系

传感器技术是构成现代信息技术的重要内容之一，所涉及的领域包括现代工业生产、军事国防、航天航空、基础学科研究、海洋探测、环境保护、生物医学、医疗器械、建筑、汽车、家用电器等。随着传感器技术的不断进步，其应用的领域也将不断扩大。在这些领域中，自动检测和自动控制系统是今后发展的重要方向和目标。但是，没有对被控对象的精确检测，就不可能实现精确控制。所以，传感器作为机械感知外界信息的不可或缺的部分，是实现机械自动控制和自动检测的基础和关键。

3.1.2 传感器的组成

传感器一般由敏感元件、转换元件和其他辅助元件组成。有时也将辅助电路以及辅助电源作为传感器的组成部分，如图 3.3 所示。

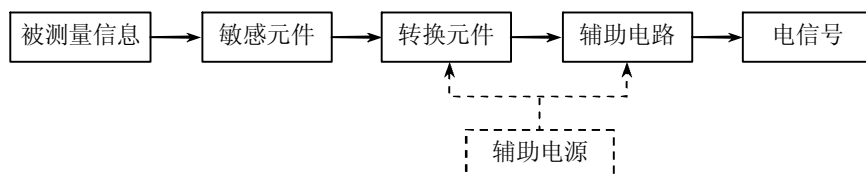


图 3.3 传感器组成示意图

敏感元件：传感器中直接感受被测量信息的部分，是能够感受被测变量，如物理、化学、生物等信息并做出响应的元件。通常这类元件是利用材料的某种敏感效应制成的。可按输入的物理量来命名各类敏感元件，如热敏、光敏、力敏、磁敏、湿敏元件等。

转换元件：传感器中将敏感元件输出的信号转换为电信号的元件。有些传感器的转换元件需要辅助电源。

敏感元件与转换元件并无严格的界限，有许多传感器是将其两部分合为一体，比如光电传感器、湿度传感器等。

辅助电路：经过敏感元件和转换元件输出的电信号一般幅度比较小，而且混杂有干扰信号和噪声，所以在许多元器件中还包括辅助电路，对信号进行放大、滤波以及其他整形处理。

3.1.3 传感器的分类

由于被测量信号的种类繁多，针对同一种信号，也可以选用不同工作原理的传感器来测量，一种传感器也可以用于测量多种信号。所以目前对传感器的分类方法有很多种。

根据被测量物理量分类，有位移传感器、压力传感器、速度传感器、加速度传感器、角位移传感器、角速度传感器、真空度传感器、电流、温度传感器及气敏传感器等。

根据工作原理分类，有电容式传感器、电势式传感器、电阻式传感器、电感式传感器、应变式传感器、压电式传感器、差动变压器式传感器、光敏传感器、光电式传感器等。例如，电容式传感器是依靠极板间距或介质变化引起电容量变化；电感式传感器依靠铁芯位移引起电感的变化等。

根据输出信号分类，有模拟式传感器、数字式传感器和开关传感器等。即模拟式传感器的输出量为模拟信号；数字式传感器的输出量为数字信号；而开关传感器在检测到某一特定阈值时，传感器相应输出值为一个设定的低电平或高电平信号。

根据能量的传递方式分类，有有源传感器和无源传感器。

根据传感器的其制造工艺分类，有集成传感器、薄膜传感器、陶瓷传感器等。

随着科学技术和传感器技术的不断发展，新材料、新工业技术以及新的物理、化学和生物效应的不断进步，新型传感器已经朝着高精度、数字化、智能化、微型化集成式的方向不断进步。在精确度、灵敏度等技术性能上有了更大提高的同时，在使用便利性和灵活性方面具有更大的优势。

3.1.4 传感器的特性

传感器的特性是指传感器的输入量和输出量之间的对应关系，这样的特性是传感器的基本特性。传感器的各种性能指标都是依据传感器的这种输入和输出信号的对应关系进行描述的。

理想状态下，传感器的输入与输出应该是一一对应的关系，而且呈线性关系。但在实际情况下，由于物理条件的限定（测量误差的现实存在）、受到外界条件的各种影响以及传感器本身存在的迟滞、蠕变、摩擦等各方面因素，输入输出不会完全符合所要求的线性关系。

通常输入量分为两种形式。一种是稳态形式，即待测量为不随时间变化或者变化缓慢的准静态信号。另一种是动态形式，即待测量为随时间变化的信号。相对应的，对传感器的特性也是从静态特性和动态特性两个方面进行评价。

1. 传感器的静态特性

传感器的静态特性描述的是传感器在被测量各种参数处于稳定状态下的输入—输出的关系。评价传感器的静态特性的重要指标是测量范围、线性度、灵敏度、迟滞和重复性等，如图 3.4 所示。

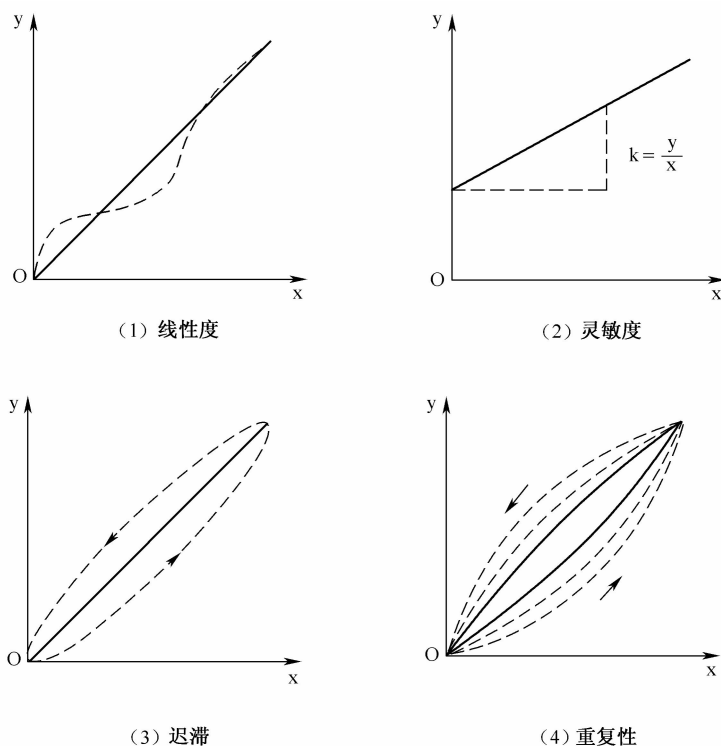


图 3.4 传感器的几种静态性能指标示意图

测量范围：指的是每一个传感器都有一定的测量范围，如果超出此范围进行测量，会有很大的测量误差。在实际应用中，超出传感器规定的测量范围除了造成测量的准确性下降的问题以外，还会造成传感器的损坏。

线性度：由于测量误差的客观存在（线性误差或非线性误差），实际测量到的线性度通常为曲线。通常从标定和数据处理的方便性方面考虑，用一条拟合直线近似代表实际的特性曲线。

灵敏度：指的是传感器在静态时输出变化量与引起此变化的输入变化量之比，用于描述传感器对输入量变化的反应能力。

迟滞性：指的是在相同的工作条件下，传感器在正行程（输入量增大）和逆行程（输入量减小）期间，其输出一输入特性曲线不重合的程度。产生这种现象的原因主要是传感器的物理性质或机械零部件的物理缺陷，如弹性滞后、摩擦、机构间隙、紧固件松动等。

重复性：指的是在相同的工作条件下，输入按同一方向连续多次变动时传感器所得特性曲线不一致的程度。

此外，还有精确度、分辨率、零点漂移、灵敏度漂移、误差等特性，在传感器的选择和应用时也需要引起关注和重视。

2. 传感器的动态特性

传感器的动态特性指的是传感器的输出量与随时间变化的被测量之间的动态关系。一般利用微分方程来描述传感器的输入和输出关系。理论上，将传感器的静态特性当作其动态特性的一个特例，即将微分方程中的一阶及以上的微分项取为0时，即可得到静态特性。在被检测量信号为时间的函数时（即输入信号随时间变化），其输出量也将是时间的函数（即输出信号也随时间变化）。这两者的关系要用动态特性来说明。

在实际情况下，当输入量变化较快的时候，由于传感器的机械惯性、热惯性、电磁储能元件及电路充放电等多种原因，输出信号相对于输入信号在波形上出现失真，从而造成两者的差异，这样的差异被称之为动态误差。

对传感器的动态特性的评定通常只能使用试验的方法进行。从原理上讲，研究传感器的动态特性可以从时域和频域两个方面，采用瞬态响应法（时域响应）和频率响应法进行分析。而输入信号源一般选用正弦输入、阶跃输入和线性输入。

传感器除了描述输入与输出量之间的关系特性外，还有其他很多特性在使用时需要关注和了解，比如与使用条件、使用环境、使用要求等有关的特性等。

在使用传感器时要了解传感器的静态特性和动态特性，这些特性能展现出该传感器的各项指标，根据这些特性确定适当的使用方法，同时要对传感器可能产生的误差做出估计。

3.2 传感网概述

传感网随着传感、通信等技术的不断发展，从最初的传感器之间简单的点对点连接发展到应用串行、并行接口提高信息综合处理能力，再到智能化、无线化，使得传感网从最初的点

覆盖、线覆盖、面覆盖，发展为区域覆盖，应用领域和应用范围得到很大的扩展。

3.2.1 传感网的概念

传感网是在一定范围内，许多集成有传感器、数据处理单位和通信单元的微小节点通过一定的组织方式构成的网络。通过大量的多种类别的传感器不断测量周围环境的物质现象信息，如光、热、位置等信息，并将信息发送至互联网、移动通信网等网络中，让事物与网络连接在一起，实现了物与人、物与物之间的信息交换。

现有的传统网络是以传输数据为目的，而传感器网络的设计有所不同，它需要将数据采集、数据处理、数据管理、网络传输等多种技术紧密结合起来，实现一个以数据为中心的高性能的网络体系。

传感网的发展经历了 4 个过程：

20 世纪 70 年代，出现了利用点对点传输技术以及专门的连接控制器将传统的传感器连接起来。这类简单的传感网具有一定的信息获取能力。

20 世纪 80 年代，随着科学技术和传感器技术的不断发展和进步，串行、并行接口被应用在传感网中，使得传感网具有获取多种信息信号的能力，并且信息综合和信息处理能力得到提高。

20 世纪 90 年代后期至 21 世纪初期，现场总线，即连接智能现场设备和自动化系统的数字式、双向传输、多分支的通信网络，以及多功能传感器的应用，使得传感网逐渐实现智能化。

无线传感通信技术应用用于连接大量具有多功能、多信号采集能力的传感器，从而形成的无线传感网络，使传感网从最初的点覆盖、线覆盖、面覆盖，发展为区域覆盖，应用范围得到极大扩展。

传感网以采集和处理现实世界信息为目的，集中了传感器、通信等多方面技术，对各种环境下的感知对象进行检测。如图 3.5 所示，传感网包含有在感知区域内的传感器节点、通信网络以及远程管理（用户）等部分。

传感网所感知的信息既包括采用自动生成方式的 RFID、传感器、定位系统（GPS）等，也包括采用人工生成方式的各种智能设备，如智能手机、个人数字助理、多媒体播放器、上网本、笔记本电脑等。这些由传感网采集到的信息是物联网信息的主要来源之一，也是把物理世界和虚拟网络世界相融合的关键环节。

传感网借助于大量的传感器节点检测周边环境中的各种信息，从而得到被测量或现实世界的各种参数，比如：温度、湿度、声音、光强度、压力、振动、风向等信息。这些传感器节点监测到的信息通过各种现有的网络（3G 通信网络、互联网络、电视网络等）连接起来，再由处理器进行分析和处理，最终传送给应用域的用户，实现对被监测量和现实世界的感知。同时，应用域的用户也可以通过网络对传感器节点进行远程控制和管理。

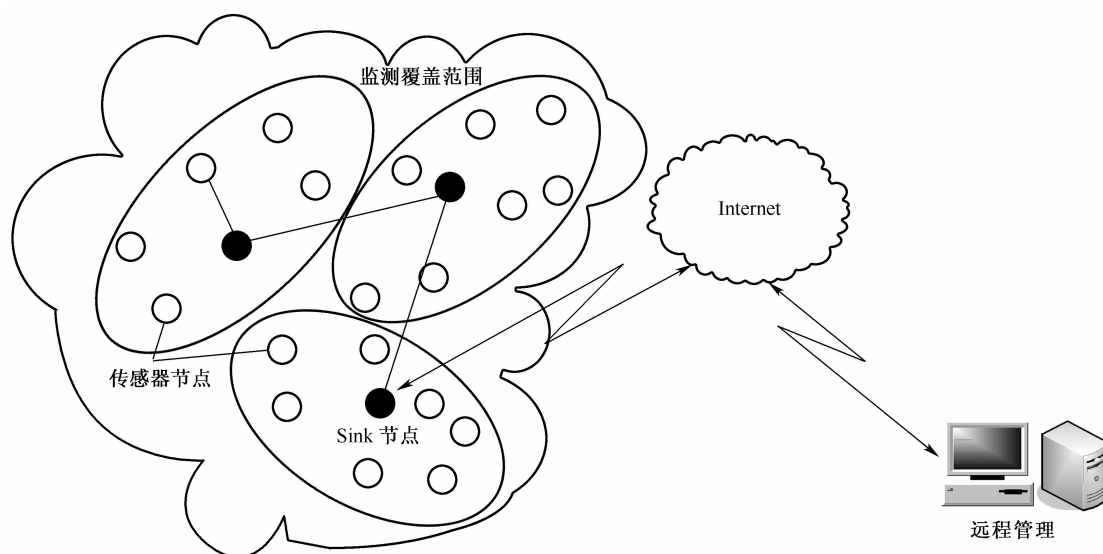


图 3.5 传感网络结构

3.2.2 传感网协议体系结构

网络协议（Protocol）为不同的工作站、服务器和系统之间提供了共同的用于通信的环节，是为网络数据交换而制定的规则和标准。其中语法、语义与时序为网络协议的三大要素。

语法：用于规定数据与控制信息的结构和格式，以及数据出现顺序的意义。

语义：用于解释数据信息中每一部分的意义。

时序：用于说明事件的先后顺序。

网络协议体系结构是网络的协议分层以及网络协议的集合，是对网络及其组成部分功能的描述。传统通信网络和互联网络技术中已成熟的协议可以借鉴到传感网技术中来，但是由于传感网是能量受限的自组织网络，此外其工作环境、工作条件和设计目的与传统的互联网和通信网等网络存在差异，其体系结构也不同于传统的网络。

图 3.6 所示为传感器网络体系结构框架，该网络体系结构由分布式网络通信协议、传感网络管理以及应用支持技术 3 个部分组成：分层的网络通信协议模块、传感器网络管理模块和应用支持服务模块。

1. 分层的网络通信协议模块

分层的网络通信协议模块（Layered Network Protocols）是一种类似于互联网的 TCP/IP 协议体系结构。传感器协议体系将数据与网络协议综合在一起，支持各传感器节点相互协作。传感器的协议由物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用层组成。

物理层（Physical Layer）：传感器网络主要采用射频（RF）、红外线（IR）、光介质（Optical）等传输媒体，解决信号的调制、发送、接收等问题。物理层包括信道区分和选择、无线信号的

检测、调制和解调、信号的发送与接收等技术。

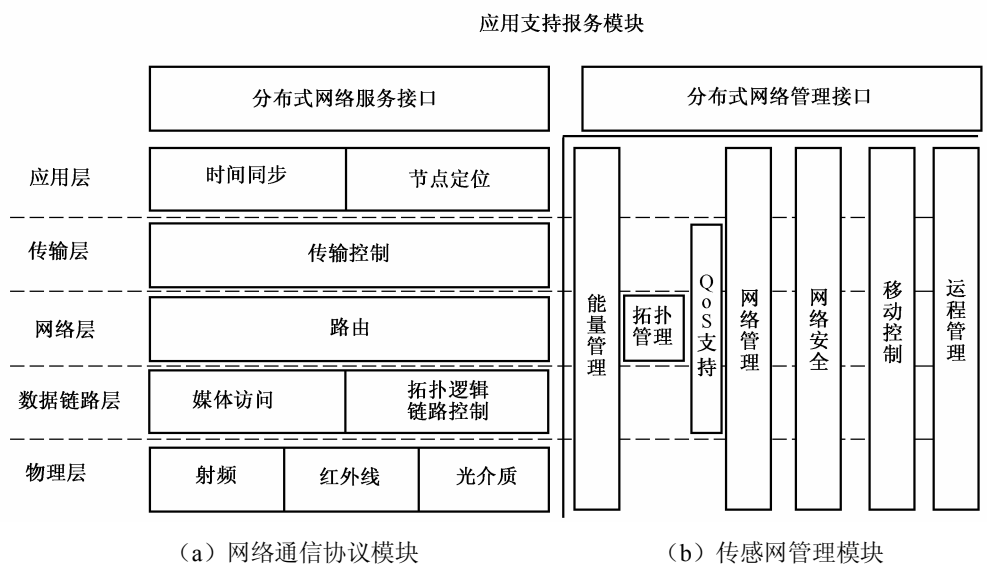


图 3.6 无线传感器网络系统结构

数据链路层 (Data Link Layer): 主要任务是为了加强物理层传输原始比特的功能, 使之对网络呈现为一条无差错链路。可分为媒体访问控制 (Medium Access Control, MAC) 和逻辑链路控制 (Logical Link Control) 等。

网络层 (Network Layer): 主要负责路由 (Routing) 生成与选择, 包括分组路由、网络互联、拥塞控制等。路由协议的任务是在传感器的源节点和汇聚节点之间建立路由, 实现可靠的数据传递方式。

传输层 (Transport Layer): 负责数据流的传输控制, 提供可靠的数据传输服务。

应用层 (Application Layer): 获取数据并进行处理, 主要任务有节点部署、动态管理、信息处理等。

2. 传感器网络管理模块

能量管理 (Energy Management): 主要任务是控制节点对能量的使用。传感器网络中电源能量是最宝贵的资源, 为了使传感器网络的使用时间尽可能长, 必须合理、有效地利用能量。目前主要考虑的功耗主要有节点工作模式、操作模式转换时间及功耗、无线调制解调器的接收灵敏度和最大输出功率等。

拓扑管理 (Topology Management): 为了节约能量, 在传感网络中某些节点在某些时刻会进入休眠状态, 从而导致网络的拓扑结构处于不断变化中。为了使网络能够正常运行, 必须进行拓扑管理。主要是在节约能量的基础上, 控制各节点状态的转换, 使网络保持畅通, 保证数据能够有效传输。

QoS 支持 (Quality of Service): 是网络与用户之间以及网络上互相通信的用户之间关于信息传输与共享的质量的约定。在解决网络延迟和阻塞等问题的基础上, 传感器网络必须以用户可以接收的性能指标工作。

网络管理 (Network Management): 是对网络上的设备及传输系统进行有效的监视、控制、诊断和测试所采用的技术和方法。主要功能包括故障管理、计费管理、配置管理、性能管理和安全管理。

网络安全 (Security): 安全性是传感网重要的研究内容。由于其网络中存在着传感器节点随机部署、以及网络拓扑动态性和信道不稳定性等多种因素的制约, 传统的安全机制无法应用于传感器网络中。需要新型的网络安全机制。可借鉴数据水印、数据加密等技术。

移动控制 (Mobility Control): 负责检测和控制节点的移动, 维护到汇聚点的路由等任务。

远程管理 (Remote Management): 对于某些应用环境, 由于传感器节点处于人不易访问的位置, 采用远程管理对传感器网络进行控制是十分必要的。

3. 应用支持服务模块 (Application Support Technology)

时间同步 (Time Synchronization): 传感网的通信协议和应用要求各传感器节点的时钟必须保持同步。但由于传感网中的每个节点都有自己的时钟, 由于误差的存在和环境的干扰, 各个传感器节点的时钟存在偏差。所以时间同步机制是传感网的关键机制。

节点定位 (Location Finding): 指的是确定传感网中每个节点的相对位置和绝对位置。分为集中定位方式和分布定位方式。

分布式协同应用服务接口 (Distributed network Service Interface): 传感器网络的应用领域广泛, 为了适用不同的应用环境而提出的各种应用层的协议, 如任务安排和数据分发协议 (Task Assignment and Data Advertisement Protocol, TADAP)、传感器查询和数据分发协议 (Sensor Query and Data Dissemination Protocol, SQDDP) 等。

分布式网络管理接口 (Distributed Network Management Interface): 主要指传感器管理协议 (Sensor Management Protocol, SMP), 由 SMP 把数据传输到应用层。

3.2.3 传感网拓扑结构

在传感器网络中, 大量传感器节点随机部署在检测区域内。传感器节点以自组织形式构成网络, 其组网技术即是传感网的网络拓扑结构。传感器节点将信息多跳转发, 通过各种方式 (基站或汇聚节点或网关) 接入网络, 在网络的任務管理节点再对感应的信息进行分类和处理, 最后把感应信息送给用户。

按照传感网网络的组网形态和方式来分类, 有集中式、分布式和混合式。

传感器网络的集中式结构: 类似移动通信的蜂窝结构, 将节点进行集中管理。

无线传感器网络的分布式结构: 类似 Ad Hoc (多跳的、无中心的、自组织的点对点网络) 网络结构, 可自组织网络接入连接, 分布管理。

无线传感器网络的混合式结构: 是集中式和分布式结构的组合。类似 Mesh (无线多跳网

络)网络结构,网状分布连接和管理。

按照节点功能及结构层次来分,无线传感器网络通常可分为平面网络结构、分级网络结构、混合网络结构及 Mesh 网络结构。在传感网络实际应用中,通常根据应用需求来灵活地选择合适的网络拓扑结构。

1. 平面网络结构

如图 3.7 所示,所有节点为对等结构,具有完全一致的功能特性(相同的 MAC、路由、管理和安全等协议)。平面网络拓扑类似 Ad Hoc 网络结构形式,结构简单,易维护,具有较好的健壮性。但是由于没有中心管理节点,而采用的是自组织协同算法形成网络,其组网算法比较复杂。

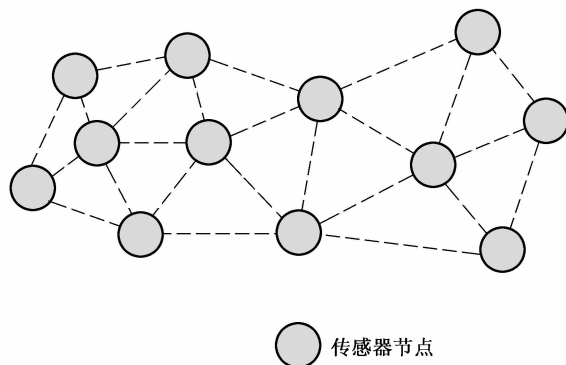


图 3.7 传感网平面网络结构

2. 分级网络结构

分级网络结构是传感网平面网络结构的一种扩展拓扑结构。网络分为上、下两层:网络上层为骨干节点,网络下层为一般传感器节点。在网络中可以存在一个或者多个骨干节点,骨干节点之间以及一般传感器节点之间采用的依然是平面网络结构。而具有汇聚功能的骨干节点和一般传感器节点之间采用的是分级网络结构。所有骨干节点是对等结构,具有完全一致的功能特性(相同的 MAC、路由、管理和安全等协议)。但一般传感器节点可能没有完全一致的功能特性,如没有路由、管理及汇聚处理等功能。具有聚汇功能的骨干节点被称为簇首(Cluster Head),一般传感器节点被称为成员节点(Members),如图 3.8 所示。

这种网络拓扑结构扩展性好,便于集中管理,降低系统建设成本,提高网络覆盖率和可靠性,但集中管理开销大,硬件投入成本高,并且一般传感器节点之间可能存在不能直接通信的问题。

3. 混合网络结构

如图 3.9 所示,混合网络结构是一种由传感器网络平面网络结构和分级网络结构混合的拓扑结构。混合网络结构中骨干节点之间以及一般传感器节点之间都采用平面网络结构,而网络骨干节点和一般传感器节点之间采用分级网络结构。这种网络拓扑结构的一般传感器节点之间

可以直接通信。此类结构同分级网络结构相比较，支持的功能更加强大，但所需硬件投入成本更高。

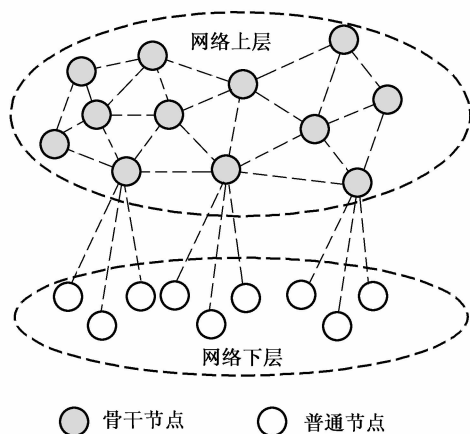


图 3.8 传感网分级网络结构

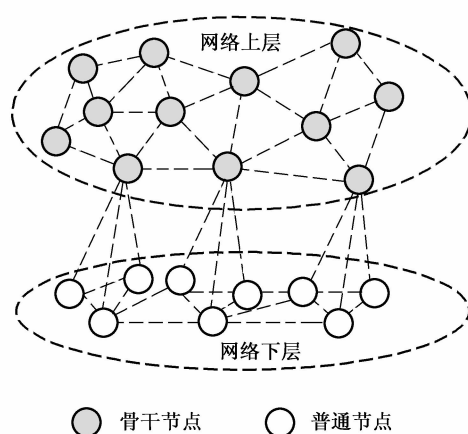


图 3.9 传感网混合网络结构

4. Mesh 网络结构

Mesh 网络结构也被称为对等网，网络内部的节点一般是相同的，而且是规则分布的网络，通常指允许和节点最近的邻居通信，如图 3.10 和图 3.11 所示。由于通常 Mesh 网络结构节点之间存在多条路由路径，传感网络对于单个节点或单个链路故障具有较强的容错能力。其网络结构最大优点就是尽管所有节点都是对等的地位，且具有相同的功能，但某个节点可被指定为簇首节点，而且可执行额外的功能。一旦簇首节点失效，另一个节点可以立刻补充并继续实行原簇首节点额外执行的功能。

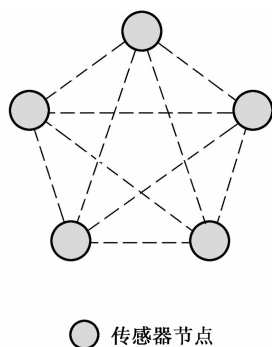


图 3.10 完全连通的 Mesh 网络结构

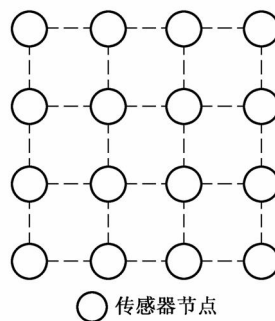


图 3.11 传感网 Mesh 网络结构

3.3 传感网的关键技术与节点部署

3.3.1 传感网的关键技术

传感网技术涉及传感器、嵌入式系统、通信、组网、管理、信息处理等多个研究领域、多个学科的交叉。许多关键技术需要有更深入的研究。

1. 网络拓扑控制技术

通过拓扑控制技术,可以使得传感网在满足网络覆盖度和连通度前提下,通过功率控制和骨干网节点的选择,剔除节点之间不必要的无线通信链路,生成一个高效的拓扑结构。在节能技术、保证覆盖质量和连通质量、降低通信干扰、提高 MAC 协议和路由协议的效率以及提高网络可靠性、可扩展性等方面起到十分重要的作用,也可以为数据融合、时间同步和节点定位等奠定基础。

拓扑控制可以分为功率控制和层次性拓扑控制两个方面。

功率控制机制调节网络中每一个节点的发射功率,尽可能在满足网络连通度的条件下减少节点的发射功率,均衡节点单跳可达的邻居数目。

层次性拓扑控制利用分簇节点,由簇头节点形成一个处理并转发数据的骨干网,其他非骨干网节点暂时关闭通信功能,并可以进入休眠状态,以节省能量。

2. 网络协议

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均十分有限,每个节点只能获取局部网络的拓扑信息,所以其运行的网络协议不能过于复杂。同时,由于网路资源在不断变化以及传感器拓扑结构的动态变化,对网络协议提出了更高的要求。

网络协议重点研究路由协议和 MAC 协议。路由传感器设计的主要目标是降低能量消耗,提高网络的生命周期。同时,传感网的 MAC 协议首先考虑的是节能和可扩展性,其次是公平性、利用率和实时性等。

由于传感网针对不同的应用领域,其网络协议往往需要根据实际应用类型或者应用目标环境特征制定不同的网络协议,所以没有任何一个协议能过高效适应所有不同的应用。

3. 网络安全技术

传感网在数据采集、数据传输、任务协同控制等任务的执行中,为了保证其网络的机密性、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,传感网需要实现一些基本的安全机制,即机密性、点到点消息认证、完全性鉴别、认证广播和安全管理等。此外,由于传感网的信息来自各传感器节点的融合,为了确保数据源信息的保留,水印技术也成为传感网的研究内容。

4. 数据融合技术

传感网非常强调能量,为了降低数据冗余性、提高信息准确度、减少传输的数据量以便

于更有效地节省能量,提高网络的生存期,在各个传感器节点数据收集过程中,可以利用节点自身的计算和存储能力、数据处理融合能力对数据进行分析和管理,去除冗余信息,达到节能的目的。

数据融合技术在目标跟踪、目标识别等领域得到广泛应用。在应用层,可以利用分布式数据管理技术对采集到的数据进行逐步筛选,从而达到融合的效果。在网络层,在路由协议中结合数据融合技术以减少数据传输量。但也在一定程度上增加了网络的平均延时,降低了网络的鲁棒性。所以在传感网的设计中需要结合具体的实际需要,设计有针对性的数据融合算法。

5. 数据管理技术

传感器网络数据管理包括对感知数据的获取、存储、查询等任务中。由于传感器节点受到能量制约并且容易失效,所以数据管理系统一般尽可能地在传感器网络内部进行数据的分析和处理,以较少能量消耗,延长传感网的生命周期。

对于用户来说,所关心的是传感器产生的数据,而并非传感器和传感网络硬件。所以传感器网络数据管理的目的是把传感网络上数据的逻辑视图和网络的物理实现分离开,使得传感器网络的应用层(用户和应用程序)只需要关心所提出的查询的逻辑结构,而不需要关心传感器网络的细节。数据管理研究内容主要包括数据获取技术、存储技术、查询处理技术、分析挖掘技术以及数据管理系统的研究。

6. 定位技术

传感器节点的精确定位是传感器网络的基本功能之一,其网络中的传感器节点通常随机部署在区域中,要详细说明事件发生的位置以及数据采集节点的位置,各个节点必须首先明确自身位置才能实现对外部目标的定位和跟踪。传感器网络由于其节点存在资源有限、可靠性差、随机部署、通信易受干扰等特性,定位机制必须满足自组织性、能量高效、分布式计算等要求。在传感网定位过程中,通常会使用三边测量法、三角测量法或极大似然估计法等技术确定节点位置。

7. 时间同步

传感网内单个节点的能力有限,而传感器节点之间的协同信号处理、节点间通信等方面都对传感网系统提出了物理时间同步要求。在互联网中广泛使用的 NTP 协议只适用于结构相对稳定、链路较少失败的有限网络系统,而 GPS 系统需要配置固定的高成本接收机,并无法在室内、水下、森林等有掩体的环境中使用。所以它们都不适用于传感网。

目前的时间同步机制主要从单广播域内时间同步和多跳范围内的时间同步两个方面进行研究。时间同步算法主要有 RBS 算法和 TPSN 算法。

RBS 算法(Reference Broadcast Synchronization, RBS)利用信道广播特性来同步接收节点时间。在同一广播域内,一个节点发送广播信息后,其他节点同时接收到广播信息并记录该点的时刻。之后通过不同接收节点的信息交换(对时)抵消发送时间和访问时间,从而达到两个接收节点的时间同步,如图 3.12 所示。RBS 可以用于构造局部时间,从而应用于对于需要时间同步而不需要绝对时间的传感器网络。但在多跳网络中,误差会随着跳数增加而不断增大。

TPSN (Timing-sync Protocol for Sensor Network) 算法采用层次结构, 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, 每个节点能够跟上一级的某个节点进行同步, 从而实现全网范围内节点间的时间同步。如图 3.13 所示为 TPSN 时间同步算法的基本原理。

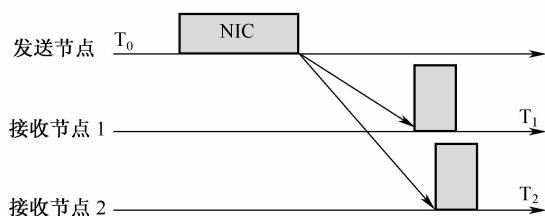


图 3.12 RBS 时间同步算法的基本原理

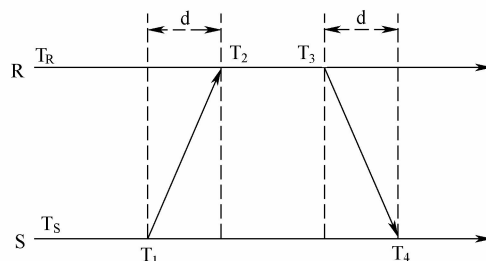


图 3.13 TPSN 算法中相邻级别节点间同步的消息交换

假设双向信息交互的路径是对称的, 并且每个节点和它的上一级节点通过两路消息交换进行时间同步。节点 S 可以根据应答分组中包含的信息计算出时间偏差 Δ , 从而修正自己的时钟, 以达到时间同步, 公式如下:

$$\Delta = \frac{(T_2 - T_1) - (T_4 - T_3)}{2}$$

TPSN 的误差比 RBS 的精度高, 而且能方便地支持与外部时钟源的同步, 但是开销大, 基于层次模型的情况不利于网络的动态变化。

除了 RBS 和 TPSN 算法以外, 还有延时测量时间同步 (Delay Measurement Time Synchronization, DMTS) 以及泛洪时间同步协议 (Flooding Time Synchronization Protocol, FTSP) 等技术都是在 RBS 的演进, 从而应用在不同的环境中。

3.3.2 传感网的节点技术

传感器节点是一个微型化的嵌入型系统, 它构成了传感网的基础层支持平台。其基本组成包括以下 4 个基本单元:

(1) 传感单元 (Sensing Unit): 由传感器 (Sensor) 和模数转换功能模块 (ADC) 组成。负责采集监控对象的信息。

(2) 处理单元 (Processing Unit): 包括处理器 (CPU)、存储器 (Storage)、嵌入式操作系统等。负责控制整个传感器节点的操作, 储存和处理自身采集的数据以及其他节点发送的数据。

(3) 通信单元 (Communication Unit): 由无线通信模块 (Transceiver) 组成。负责节点间的交互通信任务。

(4) 电源部分 (Power Unit): 负责供给传感器节点工作所消耗的能量, 一般为小体积的电池。

此外, 可以选择的其他功能单元包括定位系统 (Location Finding System)、移动系统 (Mobilizer) 以及电源自供电系统 (Power Generator) 等。图 3.14 是传感器节点基本组成示意图。

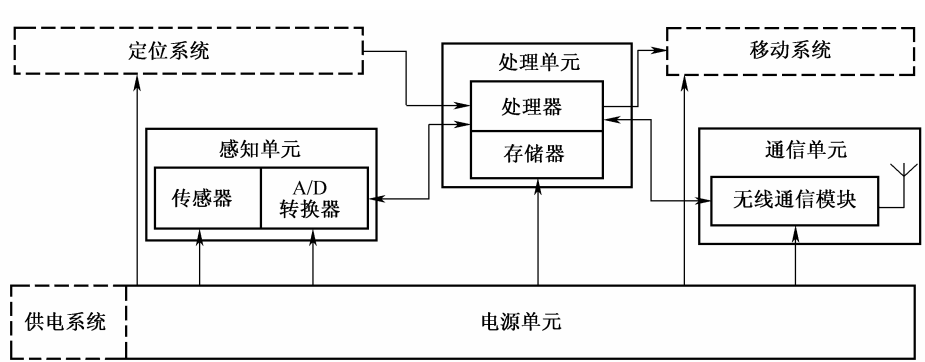


图 3.14 传感器节点基本组成示意图

在传感器网络中, 节点可以通过飞机布撒、火箭弹发射或人工布置等方式, 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的方式构成网络, 每一个节点都可以发送和接收其他节点的信息, 并可以将整个区域内的信息经过信息整合和处理后发送给远程控制管理中心。同时, 远程控制管理中心也可以对传感器节点进行实时控制和管理。

3.3.3 传感网的节点部署

传感网络节点部署是传感网工作的基础, 其直接关系到传感网检测的准确性、完整性和实效性。传感网的节点部署主要涉及覆盖、连接和节能等方面的技术。其网络感知的覆盖率主要依赖于传感器节点的部署。

节点部署就是在指定的检测区域内, 通过适当的方式布置传感网节点以满足设计要求。目前, 节点部署方式主要有确定性布设和随机性布设两种方式。在一般情况下, 不可能人为地在目标区域精心部署节点, 这时传感器节点只能随机分布在所期望的区域。通常采用空中抛洒等随机部署方式, 部署区域广泛, 但节点较分散。在设计传感网的节点部署方案时一般需要考虑: 网络的连通性; 如何尽可能减少系统能量消耗以便最大化延长网络寿命; 如何在网络中部分节点失效时对网络重新部署等方面的问题。根据传感器节点是否可以移动可以把节点部署分为移动节点部署算法、静态节点部署算法和异构/混合节点算法三大类。

3.3.4 传感网覆盖

传感器节点如何分布决定了传感网覆盖区域的覆盖程度。覆盖问题不仅反映网络所能提

供的感知信息量的大小,而且通过合理的覆盖控制还可以降低网络的成本和功耗,延长网络寿命。由于传感网针对不同的应用环境,其网络结构与特性都不尽相同。因此,传感网的覆盖也有多种方式。按照传感器节点不同配置方式,可以将传感网的覆盖分为确定性覆盖、随机覆盖两大类。按照传感网对覆盖区域的不同要求和不同应用,分为区域覆盖(Average Coverage)、点覆盖(Point Coverage)、栅栏覆盖(Barrier Coverage)三种形式。

3.3.5 连接与节能

连接问题(Connectivity Problem)考察的是传感器节点之间的连接状况能否保证采集到的信息能够准确传递给汇聚节点。所以,一般从纯连接(Pure Connectivity)和路由连接(Routing Algorithm Based Connectivity)两个方面来考虑。

纯连接:无论网络是否运行,都需要保证网络任意两个节点是连通的。

路由连接:指的是在网络运行时,按照设计的算法实现任意两节点间的连接,是对纯连接的优化。但不同的路由算法对连接效果有很大的影响。

节能问题(Energy Efficiency Problem)主要考虑的是网络部署时传感器节点的耗能以及传感器网络在使用过程中尽可能降低能量消耗等方面的问题。

在传感网中,由于传感器节点体积限制,每个节点携带的能量十分有限。在许多工作环境中,更换电源并不现实,传感器节点能量消耗殆尽也就意味着该节点失效,所以要求传感器网络尽可能地节省能耗。主要的节能策略有休眠机制、数据融合、冲突避免与纠错以及多跳短距离通信等。

如图 3.15 所示,传感网中事件具有偶发性,节点上所有的工作单元没有必要时刻保持在正常的工作状态。休眠机制使得传感器节点处于沉寂状态,甚至完全关闭,必要时加以唤醒,以达到降低能耗的目的。

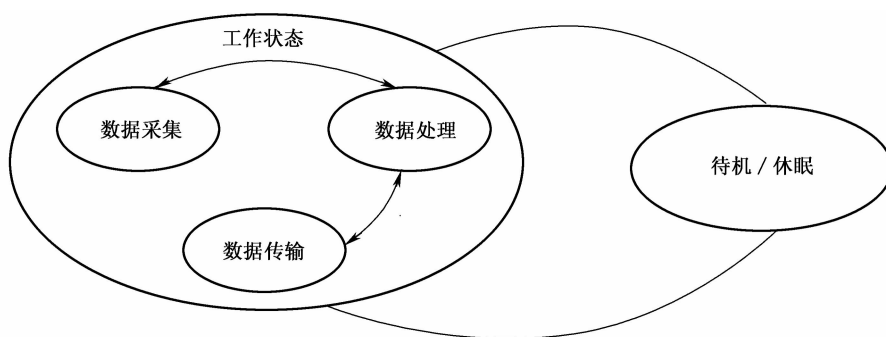


图 3.15 传感器节点状态切换示意图

3.4 无线传感网

3.4.1 无线传感器网络概述

无线传感器网络（Wireless Sensor Network, WSN）是一种随机分布的集成有传感器、数据处理单元和通信模块的微小节点，通过自组织的方式构成网络，借助于节点内置的形式多样的传感器测量所在位置周围环境的热、红外、声纳等信号，其目的是协作地感知、采集和处理网络覆盖区域内对象的信息，并发送给观察者，主要侧重于对目标、环境和物体状态的监测与控制。

1. 无线传感器网络的节点组成

在不同的应用环境中，传感器网络节点的组成不尽相同，但一般都是由数据采集单元（Data Acquisition Unit）、处理单元（Process Unit）、数据传输单元（Data Transfer Unit）和电源单元（Power Unit）这四个部分组成，如图 3.16 所示。传感器（Sensor）的类型由被检测物理信号决定。传感器检测的模拟信号经过模拟/数字转换器（Analog-to-Digital Converter, ADC）后进入处理器（CPU）处理。处理单元通常选用包含有存储器（Memory）的嵌入式系统。数据传输单元（Data Transfer Unit）主要由低功耗、短距离的无线通信模块（Transceiver）组成。

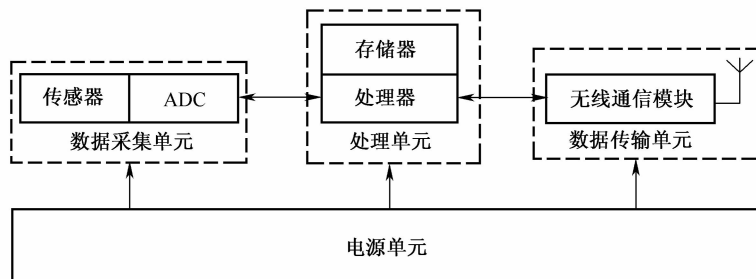


图 3.16 无线传感网络节点示意图

2. 无线传感器网络的网络体系结构

无线传感器网络的节点通过飞机撒播、人工填埋或火箭弹发射等方式投放在被监测区域内。如图 3.17 所示，节点以自组织形式构成网络，通过多跳中继方式将监测数据传送到 Sink 节点，最终借助长距离或临时建立的 Sink 链路将整个区域内的数据传送到远程中心进行集中处理。

3. 无线传感器网络的特性

无线传感器网络有别于传统的网络，其主要特性包括以下几点：

通过无线方式连通，具有很强的灵活性。在网络某一个或几个节点的位置发生变化时，

也不会对网络连通带来太大影响。并且在很多人无法到达的环境，可以通过飞机投放等方式将传感器节点投放到监控区域。

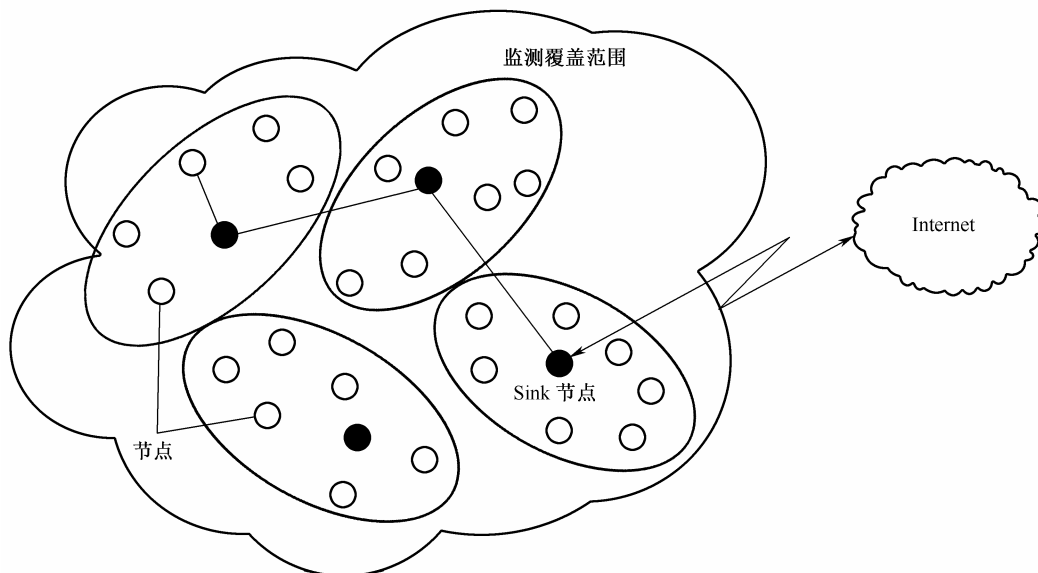


图 3.17 无线传感器网络的体系结构

由于无线传感器网络通过分布式的传感系统，对整个感知区域进行监控。单个节点之间的信息无法代表整个区域的情况，并且相互之间差异性也较明显。但以这种方式获取的信息在经过信息融合和处理后就会更精确地反映整个区域的状况。

无线传感器网络是自组织网络，对其人工干预可能性较小。所以需要网络节点具有自我调节能力、自适应能力和健壮性，能够通过相互协作完成诸如网络初始化、节点状态转换以及故障自我修复等工作，维护网络的正常运行。

由于传感器节点体积小，每个器件携带的能量十分有限。并且由于工作环境条件制约，使得节点在能源消耗后便无法工作，当网络大部分节点能源耗尽后，整个传感器网络也将失去功能。所以需要其网络功耗尽可能的减少，以延长无线传感器网络的寿命。

传感器网络中每个节点都具有一定的数据处理、储存能力，可以根据需要对数据进行处理后再传输，从而减少网络的流量，并达到节能的目的。

3.4.2 无线传感器网络的应用领域

随着微机电系统（Micro-Electro-Mechanism System, MEMS）、传感器技术、嵌入式系统的发展以及无线通信能力的不断提高，为无线传感器网络赋予了广阔的应用前景，使得其网络向着微型化、智能化、信息化、网络化的方向不断发展。

它不仅在军事、环境、医疗、工业、农业等传统领域具有巨大的运用价值，未来还将在许多新兴领域体现其优越性，如家用、保健、交通等涉及人类生活和社会生活的所有领域。

1. 军事应用

在军事领域，传感器网络将会成为 C4ISRT (Command, Control, Communication, Computing, Intelligence, Surveillance, Reconnaissance and Targeting) 系统不可或缺的一部。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、侦察和定位于一体的战场指挥系统。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，使得传感器网络非常适合应用于恶劣的战场环境中。

2. 环境科学

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。传感器网络为野外随机性的研究数据获取提供了方便，比如，跟踪候鸟和昆虫的迁移，研究环境变化对农作物的影响，监测海洋、大气和土壤的成分等。也可以通过传感器检测降雨量、河水水位和土壤水分等信息，预测山洪暴发的可能性。此外，在精细农业中，也可以利用传感网络监测农作物中的灌溉情况、土壤空气情况、害虫、土壤的酸碱度和施肥状况等。

3. 医疗保健

传感器网络可以用于检测病人的生理信号，如血压、脉搏、血氧饱和度、心电图等，并将数据通过网络传给医生，并能在病人处于危险状态时，及时发出预警信号。也可以使用传感器网络进行长时间的人体生理数据的采集，而不会对被检查对象的正常生活带来太多的不便。总之，传感器网络为今后的远程医疗、连续性生理信号检测等方面的发展提供了技术支持。

4. 智能家居

家电和家具中植入传感器节点，通过无线网络与 Internet 连接在一起，实现用户对家中环境的监控，实现人性化的家居环境。

5. 其他商业应用

传感网在民用方面，涉及城市公共安全、安全生产、智能交通、智能汽车等多个领域。此外，在灾难拯救、仓库管理、交互式博物馆、交互式玩具、工厂自动化生产线等众多领域，无线传感器网络都将会孕育出全新的设计和应用模式。

3.5 GPS 技术

3.5.1 GPS 技术概述

GPS 是 Global Positioning System 的简称，即全球定位系统。1973 年，美国陆、海、空三军开始联合研制新一代空间卫星导航定位系统，历时 23 年，耗资 200 多亿美元，先后发射 35 颗卫星，能够为陆、海、空三军提供实时、全球性和全天候的导航定位服务，当然这一系统还

能用于收集情报、地质勘测等活动，这就是 GPS。

GPS 最初的目的是用于军事领域，1996 年 2 月，美国总统宣布 GPS 为军民两用系统，标准定位服务（SPS）对民用开放，2000 年 5 月，美国总统宣布 SA 关闭，价格便宜的民用 GPS 接收机水平定位精度达到了 15~20m，民用 GPS 开始具备了真正的实用价值。目前，GPS 的应用领域正在不断地开拓，已遍及国民经济各个部门，并开始逐步深入人们的日常生活，这是因为全球定位系统的不断改进和硬、软件的不断完善。GPS 拥有全天候、高精度、自动化、高效益等显著特点，赢得了广大测绘工作者的信赖，并在大地测量、航空摄影测量、工程测量、运载工具导航和管制、地壳运动监测、工程变形监测、资源勘察、地球动力学等多种学科也成功地应用，测绘领域因此得到了一场深刻的技术革命。

GPS 导航定位系统之所以在许多领域得到广泛应用，出现与 GPS 系统相关的产业，这都是因为其本身所具有的诸多优点，概括起来主要有以下几个方面：

（1）定位精度高。通过很多应用实践已经证明，GPS 相对定位精度在 50km 以内可达 10^{-6} ，100~500km 可达 10^{-7} ，1000km 以上可达 10^{-9} ，在 300~1500m 工程精密定位中，1 小时以上观测的解算，其平面位置误差小于 1mm。基线边长越长越能突显定位精度高的优势。

（2）观测时间短。由于 GPS 系统的不断完善，软件不断更新，目前 20km 以内相对静态定位仅需 15~20 分钟，快速静态相对定位测量时，当每个流动站与基准站相距在 15km 以内时，流动站只需观测 1~2 分钟，动态相对定位测量时，流动站出发时观测 1~2 分钟，然后可随时定位，每站观测仅需几秒钟。

（3）测站间无需通视。GPS 测量不要求站点间相互通视，只需测站上空开阔即可。

（4）可提供三维坐标。经典大地测量将平面与高程采用不同方法施测，而 GPS 可同时精确测定测站点的三维坐标，目前 GPS 水准可达到四等水准测量的精度。

（5）操作简便。随着 GPS 机不断改进，自动化程度越来越高，体积也越来越小，重量越来越轻，有的已达“傻瓜化”的程度。

（6）全天候作业。使用 GPS 测量不受时间限制，24 小时都可以工作，也不受起雾、刮风、下雨、下雪等气候的影响。

（7）功能多、应用广。GPS 系统不仅可用于测量，还可用于测速、测时。测速精度可达 0.1m/s，测时精度可达几十毫秒。随着人们对 GPS 系统的不断开发，其应用领域正在不断地扩大。

随着人们对 GPS 认识的加深，GPS 不仅在测量、导航、测速、测时等方面得到更广泛的应用，而且其应用领域将不断扩大。

3.5.2 GPS 技术组成及原理

1. GPS 系统的组成

GPS 由三个独立的部分组成：空间部分、地面监控部分、用户设备部分。其中，空间部分有 21 颗工作卫星，3 颗备用卫星。地面监控部分有 1 个主控站，3 个注入站，5 个监测站。

用户设备部分：接收 GPS 卫星发射信号，以获得必要的导航和定位信息，经数据处理，完成导航和定位工作。GPS 接收机硬件一般由主机、天线和电源组成。

(1) 空间部分。GPS 系统的空间部分是指 GPS 工作卫星星座，其由 24 颗卫星组成，其中 21 颗工作卫星，3 颗备用卫星，均匀分布在 6 个轨道上。卫星轨道平面与地球赤道面倾角为 55° ，各个轨道平面的升交点赤经相差 60° ，轨道平均高度为 20200km。卫星运行周期为 11 小时 58 分（恒星时），同一轨道上的各卫星的升交角距为 90° ，GPS 卫星的上述时空配置，基本保证了地球上任何地点，在任何时刻均至少可以同时观测到 4 颗卫星，以满足地面用户实时全天候精密导航和定位。GPS 卫星的主体呈圆柱形，直径约为 1.5m，重约 774kg，两侧各安装两块双叶太阳能电池板，能自动对日定向，以保证卫星正常工作用电。每颗卫星带有 4 台高精度原子钟，其中 2 台为铷钟，2 台为铯钟。GPS 卫星上设有微处理机，可以进行必要的数据处理工作，它主要的 3 个基本功能：根据地面监控指令接收和储存由地面监控站发来的导航信息，调整卫星姿态、启动备用卫星；向 GPS 用户播送导航电文，提供导航和定位信息；通过高精度卫星钟向用户提供精密的时间标准。

(2) 地面监控部分。它由 5 个地面站组成。1 个主控站，其位于美国本土科罗拉多斯平土（Colorado Spings）的联合空间执行中心 CSOC，3 个注入站，其分别设在印度洋的迭哥加西、南大西洋的阿松森岛和南太平洋的卡瓦加兰。5 个监控站，其中 4 个与主控站、注入站重叠，另外一个设在夏威夷。主控站的主要任务为：根据各监控站提供的观测资料推算编制各颗卫星的星历、卫星钟差和大气层修正参数，并把这些数据传送到注入站；提供 GPS 系统的时间标准；调整偏离轨道的卫星，使之沿预定的轨道运行；启用备用卫星以取代失效的工作卫星。注入站的主要任务为：在主控站的控制下，把主控站传来的各种数据和指令等正确并适时地注入到相应卫星的存储系统。监测站的主要任务为：给主控站编算导航电文提供观测数据，每个监控站均用 GPS 信号接收机，对每颗可见卫星每 6 秒钟进行一次伪距测量和积分多普勒观测，并采集气象要素等数据。

(3) 用户设备部分。用户设备部分包括 GPS 接收机、天线、数据处理软件及计算设备。由 GPS 接收机硬件和相应的数据处理软件以及微处理机及其终端设备组成。其主要功能是接收 GPS 卫星发射的信号，获得必要的导航和定位信息及观测量，并经简单数据处理实现实时导航和定位，用后处理软件包对观测数据进行精加工，以获取精密定位结果。

2. GPS 基本原理及定位方法

GPS 的工作原理实际上就是利用测距后方交会原理确定点位与导航，将无线电信号发射台从地面点搬到卫星上，组成一个卫星导航定位系统，应用无线电测距交会的原理，由 3 个以上地面已知点（控制点）交会出卫星的位置，反之利用 3 个以上卫星的已知空间位置又可以交会出地面未知点（接收机）的位置。

GPS 定位的基本原理是根据高速运动的卫星瞬间位置作为已知的起算数据，采用空间距离后方交会的方法，确定待测点的位置。如图 3.18 所示，假设 t 时刻在地面待测点上安置 GPS 接收机，可以测定 GPS 信号到达接收机的时间 Δt ，再加上接收机所接收到的卫星星历等其他

数据可以确定待测点的位置。其中，卫星星历，又称为两行轨道数据（Two-Line Orbital Element, TLE），由美国 Celestrak 发明创立，是用于描述太空飞行体位置和速度的表达式——两行式轨道数据系统。

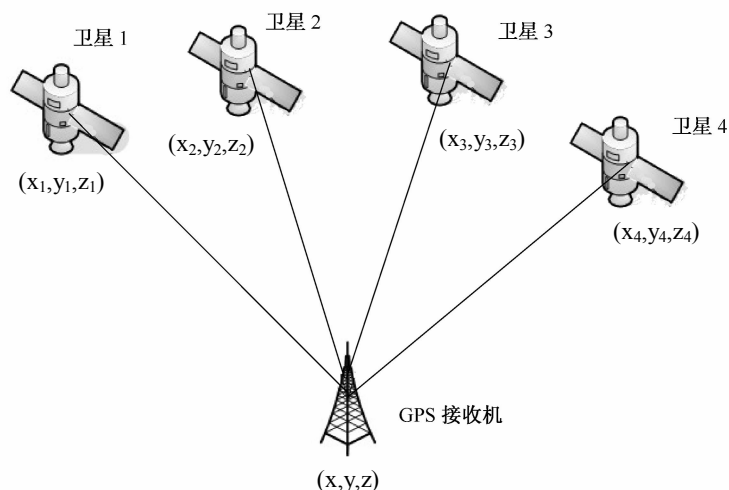


图 3.18 GPS 定位的基本原理

3.5.3 GPS 技术的主要用途

生活中处处可以看到 GPS 的身影，手机 GPS 定位查看城市地图，车辆 GPS 导航仪，在电影中经常看到 FBI 运用 GPS 卫星查看定位某某犯罪分子等，如图 3.19 所示。GPS 已经深入到人们的日常生活中。美国政府最初开发 GPS 导航定位系统主要为用于军队导航、收集情报等军事目的，后来对民用领域开放，由于 GPS 具有全天候、高精度、自动化、高效益的特点，特别是随着 GPS 系统的不断改进，软、硬件的不断完善以及民用 GPS 接收机精度的提高，GPS 的应用领域得到不断开拓，目前已遍及国民经济各个部门，并进入人们的日常生活。

1. GPS 在军事中的应用

美国研制建造庞大的 GPS 系统的根本目的是为了满足不同美国陆、海、空三军的军事需要，掌握能在世界范围内实施精确、快速定位和导航的高端技术，从而控制制空权；而且至今 GPS 系统仍然由美国军方控制。目前采用差分 GPS 技术，一辆时速超过 100km 的军车的运行轨迹的测量准确度可达到厘米级。目前，几乎所有的国家和地区都不同程度地将 GPS 技术用到了军事和防务上，而且 GPS 精码 P 码除美国军方使用外，目前美国授权外国军方使用的有近 30 个，其中主要是北约国家的军方，亚太地区主要有韩国、中国台湾、日本、新加坡、沙特阿拉伯、科威特、泰国等。已在武器试验、战场侦察、搜索救援、空中轰炸、低空突袭等方面研制了一系列的 GPS 军事应用技术和配套设备，更多的军事应用正在探索中，正如海湾战争美军总指挥霍纳将军说的那样：“GPS 的应用只受到人们想象力的限制”。



图 3.19 GPS 卫星

2. GPS 在地球物理和大地测量领域的应用

GPS 定位技术的迅速发展给测绘工作带来了一场深刻的改革,尤其是 3S 技术(RS 遥感、GPS、GIS 地理信息系统)在地球物理及大地测量中的应用已成为非常有吸引力的高新技术领域。在地球物理测量方面,GPS 可用于监测全球板块和区域板块运动,建立陆地海洋大地测量基准,进行高精度的海岛陆地联测、海洋及水下地形测绘;用于地震观测和地壳形变监测,测定全球性的地球动力学参数。在大地测量方面,GPS 已建立高精度全球性大地测量控制网,可以提供高精度的地心坐标,并且能够快速测定各级控制点的坐标,应用 RTK 技术,可以快速高精度地测定大地选点、地形点、地物点的坐标,利用测图软件可以在野外一次测绘成图并形成各种比例的电子图件等。另外,GPS 在水土保持,地形、地籍及房地产测量方面也得到了很好的应用。

3. 在航空航天及空间技术领域的应用

在当代,航空航天技术领域已经取得了迅速的发展,在推动其发展的方面 GPS 有着不可替代的作用。GPS 系统在飞行器空间姿态和空间轨道的确定中具有无与伦比的技术优势,可为航天器制导及运行控制提供位置、速度、姿态和时间等多个状态参数。这种毋需地面观测值和数据处理的技术,必将取代导航、测姿和空间轨道确定的传统设备,实现航天器自主轨道和姿态确定。在飞行器上安装 GPS 天线则可测姿,GPS 用于航天器的交会对接过程就是飞行器测姿的具体应用。在飞机上安装 GPS 接收机,运用 GPS 技术,可以精确确定接收机天线相位中心任意时刻的动态位置、速度、加速度等动态参量,以此作为标准对测量设备进行校准,可以获得很高的精度。此外,GPS 技术在电离层监测和对流层的检测以及对地球重力的测量上也有众多应用。

4. 在工程测试中的应用

由于 GPS 高精度、全天候、自动化等特点,尤其是高精度,使得其在工程测试中得到广泛的应用。GPS 在地质灾害的监测、预报及防治方面已应用广泛,尤其在滑坡监测中具有明

显的优势,如观测站之间无需通视,不要求控制网保障良好的几何结构,点位选择灵活,定位精度高,可全天候作业。在李家峡水电站滑坡、四川雅安北陇西乡的峡口滑坡、黄腊石滑坡,龙羊峡水电站近坝库岸滑坡、三峡库区等滑坡监测中均采用了 GPS 技术。

在道路工程中, GPS 可应用于数据采集、控制点的加密、中线放样、纵断面测量等从而建立数字地面模型, GPS 技术可以达到很高的精度,大大提高了施工效率。在机场、桥梁及高层大楼等大型建筑工程施工中,利用 GPS 进行工程控制网布设、基线和距离(长度)测定,辅助控制精确地将各种大型预制件安装到设计位置上等。GPS 已成为建立各种工程控制网的主要手段,如在特大桥梁建设的控制测量中利用 GPS 建网,不但能提高点位精度,而且能对常规测量进行有效检验,如在江阴长江大桥建设中,首先用常规方法建立高精度边角网,然后利用 GPS 对该网进行检测,检测结果已达到毫米级精度。此外, GPS 在防浪堤坝施工、航道疏浚、矿山和铁路施工、隧道开挖等方面也有广泛的应用。

5. GPS 在交通运输中的应用

在交通运输中 GPS 有着很广泛的应用,如用于车辆调度、车辆导航、车辆运行状态测试,这很好地推动了交通运输产业的迅速发展。在车辆调度方面以车辆 GPS 调度指挥管理系统为例,该系统是以 GPS 定位为核心技术,可实现对车辆跟踪、监控、调度指挥和管理。利用 GPS 和电子地图可以跟踪显示出行车辆的实时位置,可以随目标移动,可实现多窗口、多车辆、多屏幕同时监控与跟踪,尤其能对重要车辆和货物进行监控和跟踪运输。指挥中心可对车辆进行指挥和管理。在车辆导航方面,全世界用于车辆导航的总投资额已达到 1000 亿美元,卫星导航设备成为汽车的标准配置。在海湾战争中,几乎盟军的所有车辆都配备了车载 GPS 导航系统。在车辆运行状态测试方面,利用 GPS 技术可对汽车的行驶轨迹、速度等表征汽车行驶状态的运动参量进行实时、动态测试,实现对汽车运动稳定性能的定量测试和客观评价,为汽车运行监控和交通安全管理提供技术支持。

6. GPS 在人们生产、生活中的应用

GPS 不仅在以上领域有广泛应用,而且在人们的生产生活中,处处可见 GPS 的身影,如 GPS 手机, GPS 已经在人们的生产和生活中有广泛的应用。在农业中,可利用 GPS 进行农作物产量、土壤成分分析,引导飞机进行施肥、喷洒农药,实现自动化。在林业方面,可利用 GPS 对森林进行测量,从而计算可采伐木材面积、确定原始森林区域、森林火灾周边勘测、寻找水源、绘制精确的森林分布图等,这一切只需在森林中安装 GPS 接收机和相应设备就可以实现。当出去旅游时或者去大沙漠地区进行野外考察, GPS 接收机是最忠实的向导。可以随时提供出行者所在位置及行走速度和方向,使你不会迷路。它不仅便于出行者的携带,而且已用于大象、老虎、熊猫等动物的野外生存跟踪、牛羊牧群的监控和相关信息采集。在 3G 时代,智能手机技术得到不断发展, GPS 已成功应用于手机上。只要手机有 GPS 功能,就可以很方便地查看电子地图,还可以进行语音导航等多种功能。

参考文献

- [1] 工业和信息化部电信研究院. 物联网白皮书 [M], 2011.
- [2] 王雪文. 传感器原理及应用 [M]. 北京: 航天航空大学出版社, 2004.
- [3] 杨宝清. 现代传感器技术基础 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001.
- [4] Cullar D, Estrin D, Strvstave M. Overview of sensor network [J], Computer, 2004, 37(8), 41-49.
- [5] Wong K D. Physical layer considerations for wireless sensor networks networking [C], IEEE International Conference on Sensing and Control, 2004, 2, 1201-1206.
- [6] Zhong L C, Rabaey, I, Guo C L et al., Data link layer design for wireless sensor networks [C], IEEE MILCOM, 2011.
- [7] Rahimi M, Shah H Sukhatme G S, Heideman J, Estrin D. Studying the feasibility of energy harvesting in a mobile sensor network [C], IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2003, 19-24.
- [8] Sinha A, Chandrakasan A. Dynamic power management in wireless sensor networks [J], Design & Test of Computer, 2001, 18(2): 62-74.
- [9] Slijepcevic S. On communication security in wireless ad-hoc sensor networks [C], The 11th IEEE International Workshops on Enabling Technologies: infrastructure for Collaborative Enterprises, 2002, 139-144.
- [10] Shang Y, Rumi W, Zhang Y, et al. Location from connectivity in sensor networks [J], IEEE Trans. on Parallel and Distributed System, 2004, 15(11): 961-974.
- [11] 刘化君, 刘传清. 物联网技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [12] 蒋铮铮. 无线传感器网络若干关键技术及其应用研究[D]. 南京邮电大学硕士论文, 2008.
- [13] 张学, 陆桑璐, 陈贵海等. 无线传感器网络的拓扑控制[J]. 软件学报, 2007, 18 (4): 943-954.
- [14] 纪德文, 王晓东. 传感器网络中的数据管理[J]. 中国教育网络, 2007, 2: 54-57.
- [15] 李建中, 李金宝, 石胜飞. 传感器网络及其数据管理的概念、问题与进展[J]. 软件学报, 2003, 14 (10): 1717~1727.
- [16] Elson J, Gried L, Esrein D. Fine-grained network time synchronization using reference broadcasts [C]. In: Proc 5th Symp Operating Systems Design and Implementation (OSDI 2002), Boston, MA. December, 2002.
- [17] Elson J, Romer K. Wireless sensor networks, A new regime for time synchronization [C]. In: Proc 1st Workshop on Hot Topics in networks (HotNets-I), Princeton, NJ. October, 2002.
- [18] Ganeriwal S, Kumar R, Srivastava M B. Timing-sync protocol for sensor networks [C]. In: Proc 1st Int'l Conf on Embedded Networked Sensor System (SenSys 2003), 2003, 138-149.
- [19] 王瑜, 张继荣. 无线传感器网络的时间同步[J]. 西安邮电学院学报, 2010, 15 (1): 143-147.
- [20] 周书民, 周建勇, 潘仕彬等. 无线传感网络中时钟同步的研究[J]. 电子技术应, 2006, 09: 24-26.
- [21] 谢洁锐, 胡月明, 刘才兴等. 无线传感器网络的时间同步技术[J]. 计算机工程与设计, 2007, 01: 76-77.
- [22] 崔莉, 鞠海玲, 苗勇等. 无线传感器网络研究进展[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42 (1): 163-174.

- [23] 李猛, 丁代荣, 郭廷立. 一种无线传感器网络节点随机部署策略[J]. 计算机工程, 2012, 38 (5): 99-101.
- [24] 任丰原, 黄海宁, 林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003, 14 (7): 1282-1291.
- [25] 刘拥军. 基于 ZigBee 的无线传感网络体系结构与分群算法的研究 [D]. 东南大学硕士论文, 2006.
- [26] Shih E, Cho S, Ickes N, Min R, Sinha A, Wang A, Chandarkasan A. Physical layer driven protocol and algorithm design for energy-efficient wireless networks [C]. In: Proceedings of the ACM MobiCom, 2001:272~286.
- [27] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramania M Y, Cayirci E. Wireless sensor network: A survey [J]. Computer Networks, 2002, 38(4): 393-422.
- [28] 张勤, 李家权. 全球定位系统 (GPS) 测量原理及其数据处理基础, 西安地图出版社, 2001.
- [29] 冯旭哲, 杨俊, 陈建云. 浅析GPS导航解算原理. 计算机与信息技术, 2008.
- [30] 胡友健, 罗昀, 曾云. 全球定位系统 (GPS) 原理及应用. 北京: 中国地质大学出版社, 2003.
- [31] 刘美生. 全球定位系统及其应用综述 (三) ——GPS的应用. 中国测试技术, 第33卷第1期, 2007.1, 5-11.