

《物联网技术》课件

物联网 通信与网络技术

第4章 物联网通信与网络技术

4.1 无线通信与网络概述

4.1.1 无线通信技术

4.1.2 无线通信网络

4.1.3 无线通信网络技术发展

4.2 无线个域网

4.2.1 IEEE 802.15.4标准

4.2.2 ZigBee协议体系结构

4.2.3 ZigBee网络系统

4.2.4 蓝牙技术

4.2.5 超宽带技术

4.3 无线局域网

4.3.1 IEEE 802.11标准系列

4.3.2 IEEE 802.11 WLAN组成结构

4.3.3 IEEE 802.11帧结构

4.3.4 IEEE 802.11 MAC协议

4.3.5 Ad Hoc网络

4.3.6 无线局域网的构建

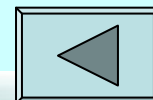
4.4 无线城域网

4.4.1 无线城域网标准系列

4.4.2 IEEE 802.16协议体系结构

4.4.3 WiMAX网络构建

4.5 无线广域网



4.1 无线通信与网络概述

通信是现代信息社会中包括能源、交通、通信在内的三大基础结构之一，是现代信息社会运行机体的神经系统。在通信领域，发展最快、应用最广的是无线通信及通信网络技术，其中宽带卫星通信、蜂窝式无线网络、移动IP、WLAN（WiFi）、ZigBee、UWB、蓝牙、WiMAX等都是21世纪热门的无线通信技术应用。无线通信技术给人们带来的影响是无可争议的，它作为物联网的核心技术之一，必将更加深入到人们生活和工作的各个方面。

4.1.1 无线通信技术

无线通信(Wireless communication)是利用电磁波信号在自由空间中传播的特性进行信息交换的一种通信方式。

采用通信技术来传输信息在现代社会是十分流行和重要的，它已经成为人们生活和工作的必须，社会发展的重要工具。特别是数字通信，推动了数字化社会的形成，使人们进入信息化社会。现代无线通信基本上是分区通信或蜂窝通信，它的实现基于数字化、移动性和个人通信、分区制和频率复用、点对多点通信等基本技术。在物联网中，可以根据不同的需要来选择使用不同的无线通信技术。

1. 数字化技术

通信数字化现已居于绝对的优势地位。数字化技术指的是运用0和1两位数字编码，通过电子计算机、光缆、通信卫星等设备，来表达、传输和处理所有信息的技术。数字化技术是信息技术的核心，信息的载体有多种，如字符、声音、语言和图像等。这些信息载体存在着共同的问题：一是信息量小，二是难以交换、交流。显然，数字化带来的问题是信号的模数变换、信源编码、数字调制、信道编码、低电压低功率集成电路等研究与开发。因此，数字化技术一般包括数字编码、数字压缩、数字传输、数字调制与解调等技术。

2. 移动性和个人化

现代无线通信的重要成果之一是通信的移动性。早在19世纪末期，赫兹发明无线电后，马可尼演示海上航行船舶间的通信，这可以说是开创了无线移动通信先河。进入20世纪20年代，有些国家的海军舰船和陆地公安部门开始正式使用移动无线电调度系统。在第二次世界大战中，有些国家军队中的通信部队利用数字编码的话音通信实现了保密通信，这包括了话音编码和脉码调制（PCM）技术。事实上，1946年开始建立了第一批商用移动电话系统，但需由话务员负责接通。其后不久，蜂窝网方式发明问世，一个适当大的地区设置多个半径约1km的蜂窝小区，互相紧密邻近排列，其中心基站可使用较低的射频发射功率，每隔几个蜂窝就可使用相同的频率，节约了无线电频谱资源的利用。

3. 分区制、越区切换和频率复用技术

通信系统的容量问题是移动通信所要解决的基本问题，即大量用户与有限频带之间的矛盾。由于分配给移动通信的带宽有限，提供的信道满足不了用户的需要，必须用空间的分区制来加以补偿，也就是将通信空间划分成许多通信小区，常用六边形表示，形象地称为蜂窝。这种移动通信称作蜂窝移动通信，是移动通信的主流。

频率复用也称频率再用，就是重复使用频率，在GSM网络中频率复用就是使同一频率覆盖不同的区域（一个基站或该基站的一部分(扇形天线)所覆盖的区域），这些使用同一频率的区域彼此需要相隔一定的距离（称为同频复用距离），以满足将[同频干扰](#)抑制到允许的指标之内。

4. 点对点通信及点对多点通信技术

点对点通信实现网内任意两个用户之间的信息交换。电台收到带有点对点通信标识信息的数据后，比较系统号和地址码，系统号和地址码都与本地相符时，将数据传送到用户终端，否则将数据丢弃，不传送到用户终端。点对点通信时，只有1个用户可收到信息。

点对点连接是两个系统或进程之间的专用通信链路，可想象成是直接连接两个系统的一条线路。两个系统独占此线路进行通信。点对点通信的对立面是广播，在广播通信中一个系统可以向多个系统传输。

4.1.2 无线通信网络

现代通信技术的一个重要标志是网络化。有线与无线通信系统的结合构成了现代通信网。目前，在各类通信网络中最具增长潜力的是无线通信网。

1. 现代无线通信网络的概念

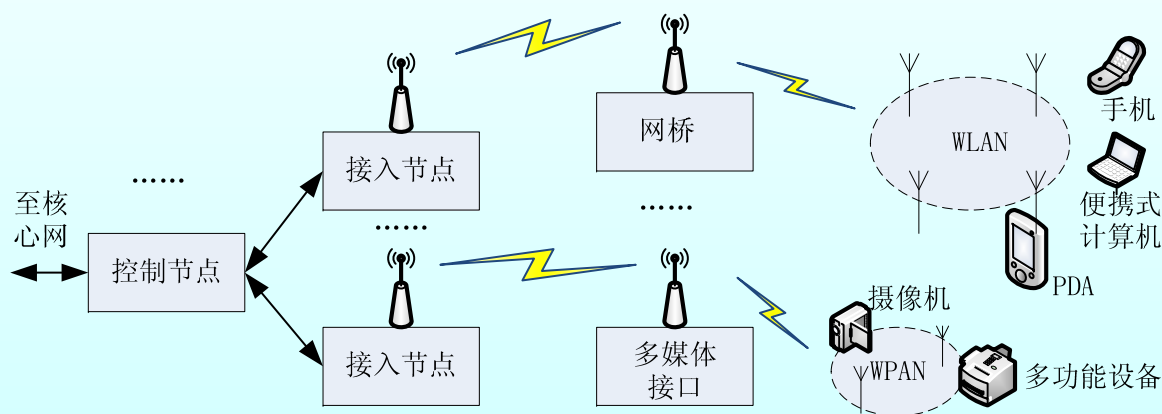


图4-1 无线通信网的组织结构示意图

2. 无线通信网络模型

(1) 移动自组织网络

移动自组织网络是对等网络，它通常包含成千上万个可以完全移动的通信节点，每个节点可视为一种个人信息设备（如配备有无线收发机的个人数字助理），能覆盖几百米的范围。MANET的目的是形成并维持一个有联系关系的多跳网络，这种网络能在节点之间传输多媒体业务。

在移动自组织网络中，为了使服务质量最优，需要做好网络的组织结构、路由寻址算法和移动性管理等工作。也就是说，当节点在高速移动情形下，网络仍能提供好的吞吐 / 时延特性。

(2) 蜂窝网络

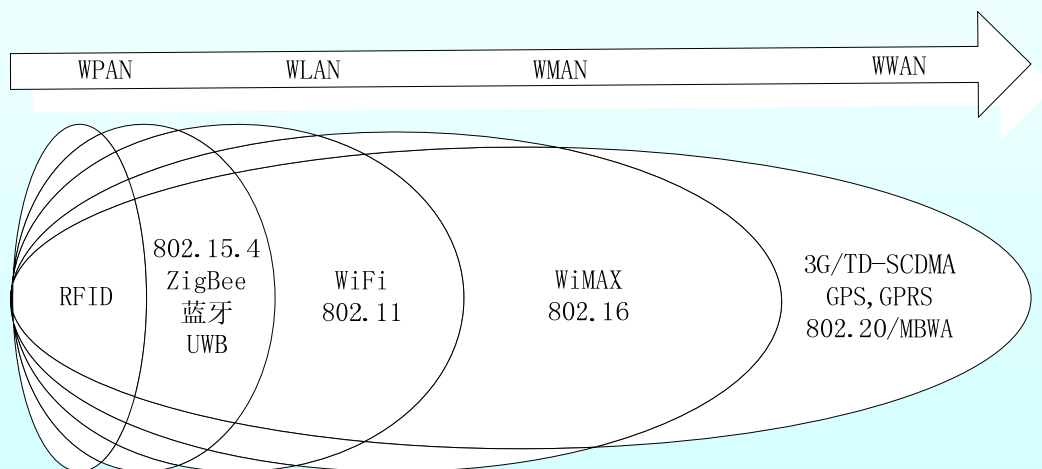
蜂窝网络是由静止节点和移动节点组成的较大网络。位于通信子网中的静止节点（基站）和构成固定基础设施结构的有线中枢网络相连。移动节点的数量大大超过静止节点，每个基站中有成百上千个移动节点，这些移动节点通常分布得很分散。每个基站都覆盖一个很大的区域，且区域之间很少重叠。只有当移动节点移动并发生越区切换时，才会出现区域间的重叠覆盖情况（每个移动节点可能移动到远离基站的位置）。这种蜂窝网络的主要目标就是提供高服务质量和高带宽效率。

(3) 短距离无线通信网

短距离无线通信 (Short Range Wireless, SRW) 是指可以在室内、办公室或封闭的公共场提供近距离通信的技术。一般, SRW可以在100m以内实现传输速度为10~100Mb/s的低功率近距离通信。SRW可分为两种: 一种是传输范围在10m内, 低成本、低功耗的短距离无线连接 (Connectivity) 的无线个人局域网 (WPAN); 另一种是以更快传输速度和更大覆盖范围目标的无线局域网 (WLAN)。总而言之, 通过SRW技术、手机、Headset、PDA、Notebook、数码相机、摄像机、健身器材管理设备等在没有电缆连接的情况下可以实现无线通信或操作, 而且用户可以通过SRW直接接入建筑物内的局域网 (LAN) 及语音及数字信息网络。

3. 无线通信网的分类

对无线通信网可以有多种不同的分类方式。为简单明晰起见，通常将无线通信网按照通信距离划分为无线个域网、无线局域网、无线城域网和无线广域网，如图4-2所示。蜂窝移动通信属于无线广域网（WWAN），IEEE 802标准系列涵盖了WPAN、WLAN、WMAN和WWAN几个方面。



4.1.3 无线通信网络技术发展

在数字无线通信时代，电子电路技术和通信技术的发展推动着通信系统的飞速发展。目前，较受关注的是第三代蜂窝移动通信系统(3G)、IEEE 802系列；发展趋势是移动宽带化、综合化、多样化、个人化和IP化。

1. 移动宽带化

蜂窝移动通信系统的发展体现了无线通信发展史，从第一代模拟移动通信系统，到第二代数字移动通信系统，再到第三代以及基于全IP的后三代或四代移动通信系统。

移动宽带化是未来通信发展的一个必然趋势，窄带的、低速的网络会逐渐被宽带网络所取代。

2. 核心网络综合化，接入网络多样化

未来信息网络的结构模式将向核心网/接入网转变，网络的多样化、宽带化，以及带宽的移动化，将使在同一核心网络上综合传送多种业务信息成为可能。网络的综合化将进一步推动传统电信网、广播电视网与计算机互联网的三网融合。网络覆盖的无缝化，将使用户在任何时间、任何地点都能实现网络接入；而且数据速率越来越高，频谱带宽越来越宽，频段越来越高。

所谓“三网融合”即指电信网、广播电视网和互联网的相互渗透、互相兼容、并逐步整合成为统一的信息网络。“三网融合”的目的是为了加强网络互联互通和资源共享，避免低水平重复建设，形成适应性广、容易维护、费用低的高速宽带多媒体基础平台。在概念上从不同角度和层次上分析三网融合，可以涉及到技术融合、业务融合、行业融合、终端融合及网络融合等诸多方面。目前主要是在应用层次上互相使用统一的TCP/IP[通信协议](#)。TCP/IP协议的普遍采用，将使得各种以IP为基础的业务能在不同的网络上实现互联互通。

3. 个人化和IP化

信息个人化是21世纪初信息领域进一步发展的主要方向之一，而移动IP正是实现未来信息个人化的重要技术手段。在手机等智能终端上实现各种IP应用以及移动IP技术正逐步成为人们关注的焦点之一。终端智能化越来越高，移动智能网技术与IP技术的组合将进一步推动全球个人通信的迅速发展。

移动通信网络结构正在经历一场深刻的变革，随着网络中数据业务量主导地位的形成，现有电路交换网络已逐渐被IP网络替代，IP技术将成为未来网络的核心关键技术，TCP/IP协议将成为信息网络的主导通信协议。随着移动通信通用分组无线业务（GPRS）的普及应用，用户将在端到端分组传输模式下发送和接收数据，打破传统的数据接入方式。以IP为基础组网，开始了基于IP核心骨干网的应用实践。

4.2 无线个域网

无线个域网（WPAN）是基于计算机通信的专用网，它可以在10m距离范围内实现计算机、周边设备、手机、信息家电产品等设备的无线通信与操作。WPAN技术是随着便携式计算机、PDA等个人便携式电子设备的发展和有关需求应运而生的。为了制订在个人领域（Personal Operating Space, POS）以低功耗并以简单的结构实现无线接入的标准，1998年成立了WPAN SG (Study Group)，并于1999年成立了IEEE 802.15 WG，致力于WPAN网络的物理层（PHY）和介质访问控制层（MAC）的标准化工作，目标是为在个人操作空间内相互通信的无线通信设备提供通信标准。用于无线个域网的通信技术很多，如ZigBee、蓝牙、UWB、红外（IrDA）、HomeRF、射频识别等。目前，为满足低功耗、低成本的传感网要求而专门开发的低速率WPAN标准IEEE 802.15.4成为物联网的重要通信网络技术之一。

4.2.1 IEEE 802.15.4标准

IEEE 802.15.4是IEEE标准委员会TG4任务组发布的一项标准。该任务组于2000年12月成立，ZigBee联盟（ZigBee Alliance）于2001年8月成立，2002年由英国Invensys公司、美国Motorola公司、日本Mitsubishi公司和荷兰Philips公司等厂商联合推出了低成本、低功耗的ZigBee技术。ZigBee是一种新兴的近距离、低速率、低功耗的双向无线通信技术，也是ZigBee联盟所主导的传感网技术标准。

1. IEEE 802.15.4标准协议结构

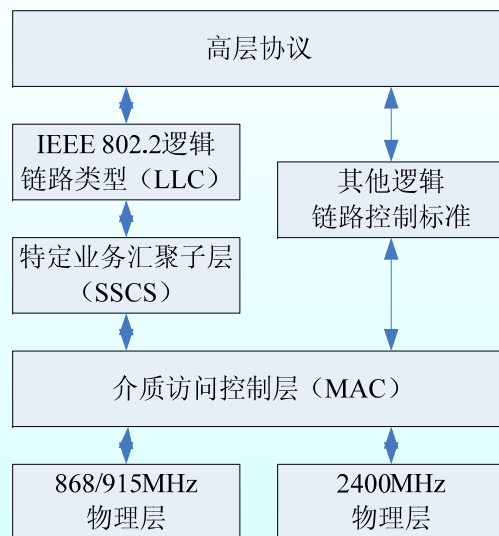


图4-3 IEEE 802.15.4标准协议结构

2. 物理层的主要功能

IEEE 802.15.4标准所定义的物理层具有的功能有：激活和惰性化无线电收发器，当前信道的能量发现、接收包的链路质量指示、信道频率选择和数据的发送与接收。

(1) 工作频率和数据传输速率

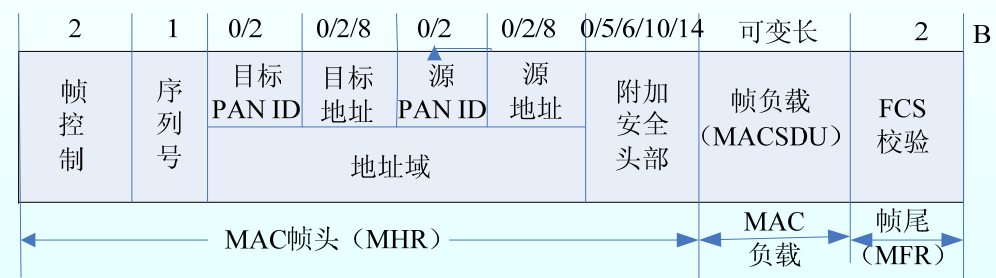
物理层 (MHz)	频带 (MHz)	信道数	码元速率 (kchip/s)	调制方式	比特速率 (kb/s)	符号速率 (ksymbol/s)
868/915	868-868.6	1	300	BPSK	20	20
	902-928	10	600	BPSK	40	40
2400	2400-2483.5	16	2000	O-QPSK	250	62.5

(2) 支持简单器件

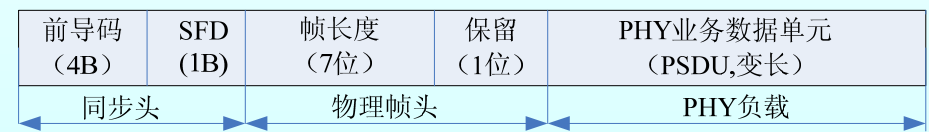
由于**802.15.4**标准具有低速率、低功耗和短距离传输等特点，使得非常适宜支持简单器件。在**802.15.4**标准中定义了**14**个物理层基本参数和**35**个介质接入控制层基本参数，总共为**49**个。这使它非常适用于存储能力和计算能力有限的简单器件。在**802.15.4**中定义了两种器件：全功能器件（**FFD**）和简化功能器件（**RFD**）。对全功能器件，要求它支持所有的**49**个基本参数。而对简化功能器件，在最小配置时只要求它支持**38**个基本参数。

3. 介质访问控制层的主要功能

(1) IEEE 802.15.4帧结构



(b) IEEE802.15.4 MAC层的通用帧结构



(a) IEEE802.15.4 物理层帧结构

图4-4 IEEE 802.15.4帧结构

4.2.2 ZigBee协议体系结构

建立在IEEE 802.15.4标准之上的ZigBee协议体系结构如图4-5所示，由高层应用标准、应用汇聚层、网络层、IEEE 802.15.4协议组成。

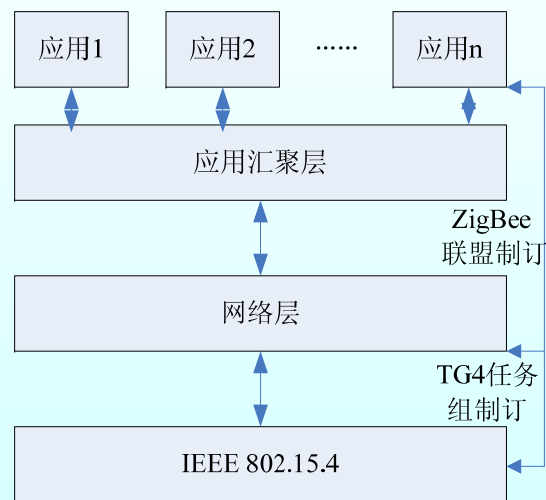


图4-5 ZigBee协议体系结构

1. 网络层主要功能

网络层负责拓扑结构的建立和维护网络连接，它独立处理传入数据请求、关联、解除关联业务，包含寻址、路由和安全等。网络层包括逻辑链路控制子层，逻辑链路控制子层是基于IEEE 802.2标准。

(1) 网络层提供的服务

网络层提供保证**IEEE 802.15.4 MAC**层所定义的功能，同时，能为应用层提供适当的服务接口。

(2) ZigBee网络配置

低数据速率的**WPAN**中包括两种无线设备：全功能设备(**FFD**)和精简功能设备(**RFD**)。其中，**FFD**可以和**FFD**、**RFD**通信，而**RFD**只能与**FFD**通信，**RFD**之间无法进行通信。

(3) ZigBee网络拓扑结构

ZigBee技术具有强大的组网能力，通过无线通信组成星形、网状(Mesh)网和混合网，如图4-6所示，可以根据实际需要来选择合适的网络结构。

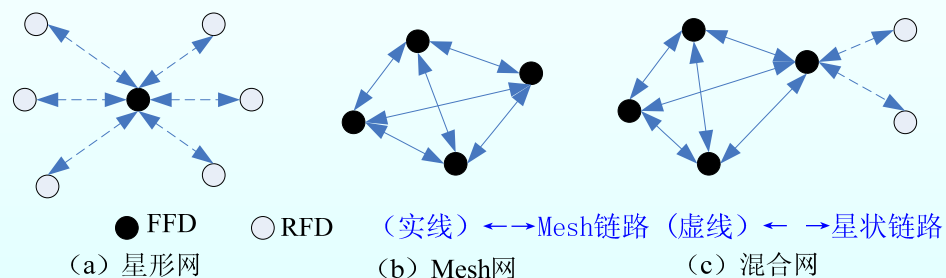


图4-6 ZigBee网络拓扑结构

2. 应用层

在ZigBee协议中应用层包括应用汇聚层、ZigBee设备配置和用户应用程序。应用层提供高级协议管理功能，用户应用程序由各制造商自己来规定，它使用应用层协议来管理协议栈。

无线传感网作为物联网的末梢网络，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络的无线通信标准，低功耗、低成本是其主要目标，它为个人或者家庭范围内不同设备之间低速联网提供了统一标准。

4.2.3 ZigBee网络系统

基于IEEE 802.15.4无线标准研制开发的ZigBee技术，主要用于无线个域网(WPAN)。ZigBee技术的出现给人们的工作和生活带来极大的方便和快捷。ZigBee技术的应用领域主要包括无线数据采集、无线工业控制、消费性电子设备、汽车自动化、家庭和楼宇自动化、医用设备控制、远程网络控制等场合。

1. ZigBee网络系统的构建

IEEE 802.15.4网络是指在一个POS内使用相同无线信道并通过IEEE 802.15.4标准相互通信的一组设备的集合，又名LR-WPAN网络，其实也就是ZigBee网络。例如，一个基于ZigBee技术的IEEE 802.15.4网络系统，如图4-7所示。

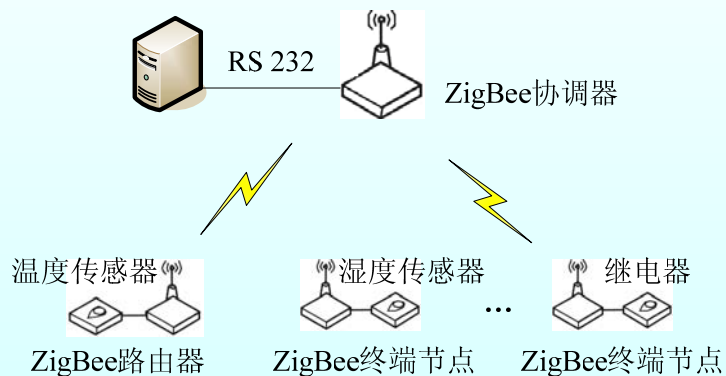


图4-7 基于ZigBee技术的网络系统

2. ZigBee网络系统的特点

ZigBee这个名字来源于蜂群的通信方式，蜜蜂之间通过跳ZigZag形状的舞蹈来交换信息，以便共享食物源的方向、位置和距离等信息。与其它无线通信协议相比，ZigBee无线协议复杂性低、对资源要求少，主要有以下几个特点。

- 1) 低功耗：这是ZigBee的一个显著特点。
- 2) 低成本：协议简单且所需的存储空间小，降低了ZigBee的成本，而且ZigBee协议是免专利费的。
- 3) 时延短：ZigBee通信时延和从休眠状态激活的时延都非常短。设备搜索时延为30ms，休眠激活时延为15ms，活动设备信道接入时延为15ms。
- 4) 传输范围小：在不使用功率放大器的前提下，ZigBee节点的有效传输范围一般为10~75m，能覆盖普通的家庭和办公场所。
- 5) 数据传输速率低：2.4GHz频段为250kb/s，915MHz频段为40kb/s，868MHz频段只有20kb/s。
- 6) 数据传输可靠

4.2.4 蓝牙技术

蓝牙技术是一种无线数据与数字通信的开放式标准。它以低成本、近距离无线通信为基础，为固定与移动设备提供了一种完整的通信方式。利用“蓝牙”技术，能够有效地简化个人数字助理(PDA)、便携式计算机和移动电话手机等移动通信终端设备之间的通信，也能够成功地简化以上这些设备与互联网之间的通信，从而使这些现代通信设备与互联网之间的数据传输变得更加迅速高效。其实际应用范围还可以拓展到各种家电产品、消费电子产品和汽车等信息家电，组成一个巨大的无线通信网络。

4.2.5 超宽带技术

超宽带 (Ultra Wide Band, UWB) 技术定位于短距离无线通信这一广阔的应用领域, 特别是物联网应用的兴起, 它可以作为物联网的基础通信技术之一, 实现不同设备之间的互联互通。

UWB是一种无载波扩谱通信技术, 又被称为脉冲无线电 (Impulse Radio), 具体定义为相对带宽(信号带宽与中心频率的比)大于25%的信号或者是带宽超过1.5GHz的信号。实际上UWB信号是一种持续时间极短、带宽很宽的短时脉冲。它的主要形式是超短基带脉冲, 宽度一般在0.1ns~20ns, 脉冲间隔为2ns~5000ns, 精度可控, 频谱为50MHz~10GHz, 频带大于100%中心频率, 典型点空比为0.1%。传统的UWB系统使用一种被称为“单周期(monocycle)波形”的脉冲。

UWB具有对信道衰落不敏感、发射信号功率谱密度低、截获能力低、系统复杂度低、能提供数厘米的定位精度等优点, 非常适于无线传感网。

4.3无线局域网

无线局域网（WLAN）是指以无线电波、红外线等无线传输介质来代替目前有线局域网中的传输介质（比如电缆）而构成的网络。WLAN覆盖半径一般在100m左右，可实现十几兆至几十兆的无线接入。在宽带无线接入网络中，常把WLAN称为“WMAN（无线城域网）的毛细血管”，用于点对多点无线连接，解决用户群内部信息交流和网际接入，如企业专用网等。

4.3.1 IEEE 802.11标准系列

IEEE 802.11标准系列主要从WLAN的物理层和MAC层两个层面制订了系列规范，物理层标准规定了无线传输信号等基础标准，如802.11a、802.11b、802.11d、802.11g、802.11h，而介质访问控制子层标准是在物理层上的一些应用要求标准，如802.11e、802.11f、802.11i。IEEE 802.11标准涵盖了许多子集，包括：

- 1) 802.11a: 将传输频段放置在5GHz频率空间；
- 2) 802.11b: 将传输频段放置在2.4GHz频率空间；
- 3) 802.11d: Regulatory Domains, 定义域管理；
- 4) 802.11e: QoS(Quality of service), 定义服务质量；
- 5) 802.11f: IAPP(Inter-Access Point Protocol), 接入点内部协议；
- 6) 802.11g: 在2.4GHz频率空间取得更高的速率；
- 7) 802.11h: 5GHz频率空间的功耗管理；
- 8) 802.11i: Security, 定义网络安全性。

4.3.2 IEEE 802.11 WLAN组成结构

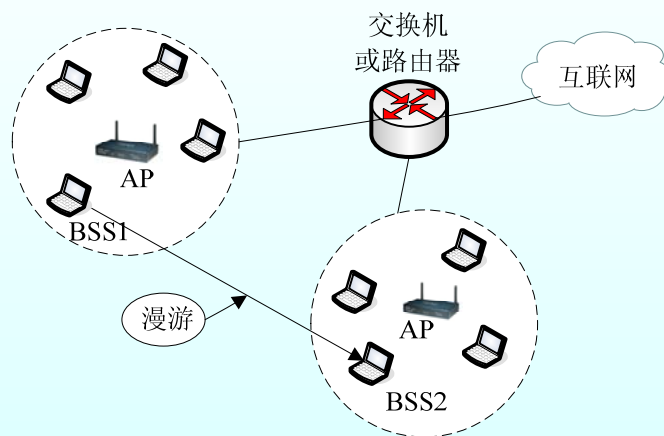


图 4-8 IEEE 802.11 WLAN组成结构

4.3.3 IEEE 802.11帧结构

IEEE 802.11定义了3种不同类型的帧：管理帧、控制帧和数据帧。管理帧用于站点与AP发生关联或解关联、定时和同步、身份认证以及解除认证，控制帧用于在数据交换时的握手和确认操作；数据帧用来传送数据。MAC头部提供了关于帧控制、持续时间、寻址和顺序控制的信息。每种帧包含用于MAC子层的一些字段的头。

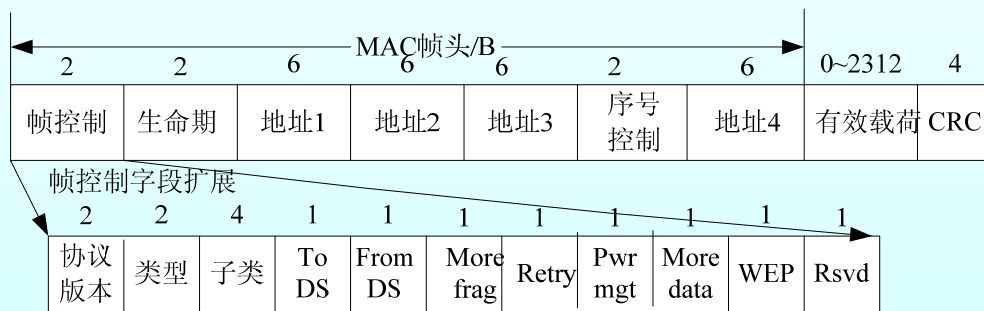


图4-9 IEEE 802.11帧格式

4.3.4 IEEE 802.11 MAC协议

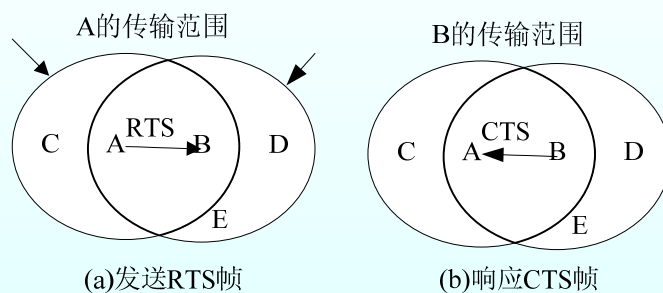


图 4-10 CSMA/CA协议中的RTS帧和CTS帧

4.3.5 Ad Hoc网络

Ad Hoc网络是由许多带有无线收发装置的通信终端(也称为节点、站点)构成的一种自组织的自治系统。互联网工程任务组(IETF)对Ad Hoc网络的定义是：一个移动Ad Hoc网络可以看作是一个独立的自治系统或者是一个对互联网的多跳无线扩展。作为一个自治系统，它有自己的路由协议和网络管理机制；作为多跳无线扩展，它对互联网提供一种灵活、无缝的接入。

4.3.6 无线局域网的构建

1. WLAN的组网模式

一般来说，WLAN有两种组网模式：一种是无固定基站的，另一种是有固定基站的。这两种模式各有特点。无固定基站组成的网络称为自组网络，主要用于便携式计算机之间组成平等结构网络。有固定基站的网络类似于移动通信，网络用户的便携式计算机通过基站（又称为访问点AP）连入网络。这种网络是应用比较广泛的网络，一般用于有线局域网覆盖范围的延伸或作为宽带无线互联网的接入方式。

2. WLAN采用的传输介质

无线局域网采用的传输介质是红外线IR（Infrared）或无线电波（RF）。红外线的波长是750 nm~1 mm，是频率高于微波而低于可见光的电磁波，是人的肉眼看不见的光线。利用红外线进行数据传输就是视距传输，对临近的类似系统不会产生干扰，也很难窃听。红外数据协会（IRDA）为了使不同厂商的产品之间获得最佳的传输效果，规定了红外线波长范围为850 nm~900 nm。无线电波一般使用3个频段：L频段（902~928 MHz）、S频段（2.4~2.4835 GHz）和C频段（5.725~5.85 GHz）。S频段也称为工业科学医疗频段，大多数无线产品使用该频段。

3. WLAN的应用范畴

WLAN是计算机网络与无线通信技术相结合的产物，提供有线局域网的功能，能够使用户真正实现随时、随地、随意的宽带网络接入。WLAN的最高数据传输速率目前已经达到54 Mb/s（802.11g），传输距离可远至20 km以上。它不仅可以作为有线数据通信的补充和延伸，而且还可以与有线网络环境互为备份。WLAN的应用较为广泛，其应用场合主要包括以下几个方面：

- 1) 多个普通局域网及计算机的互联。
- 2) 多个控制模块（Control Module, CM）通过有线局域网的互联，每个控制模块又可支持一定数量的无线终端系统。
- 3) 具有多个局域网的大楼之间的无线连接。
- 4) 为具有无线网卡的便携式计算机、掌上电脑、手机等提供移动、无线接入。
- 5) 无中心服务器的某些便携式计算机之间的无线通信。

小结与进一步学习建议

无线通信是利用电磁波信号在自由空间中传播的特性进行信息交换的一种通信方式。采用无线通信传输方式取代有线传输方式，是区别于传统传感网（有线传感器网络）的重要特征，也是传感网优势（如造价低、部署灵活等）的重要来源。本章介绍了当前可应用于物联网的无线通信与网络技术，主要包括无线通信与网络的基本概念、无线个域网、无线局域网、无线城域网、无线广域网等通信网络技术。

讨论与思考

1. 从技术特点和适用场合，对常用的几种无线通信技术例如IEEE 802.11、IEEE 802.15.4、ZigBee技术进行比较，它们之间有什么区别？
2. 简述IEEE 802.11、IEEE 802.15.4、ZigBee协议标准的基本内容。
3. ZigBee网络有哪几种拓扑结构？
4. 无线局域网的物理层有哪几个标准？
5. 为什么无线局域网采用CSMA/CA协议而不是CSMA/CD？
6. 无线局域网的MAC协议中的SIFS、PIFS和DIFS的作用是什么？
7. 常用的无线局域网设备有哪些？它们各自的功能又是什么？
8. 无线局域网的网络结构有哪几种？
9. IEEE 802.16协议标准的基本内容，它主要适宜构建那类无线网络？

Thank you