

## 第 5 章 物联网系统网络层设计

本章主要知识点包括物联网通信网络、网络层的基本拓扑结构、基于网关的网络层设计、基于 IPv6 的网络层设计以及应用案例。

### 5.1 物联网通信网络

物联网与互联网、移动通信网络、无线传感网络以及其他通信手段紧密结合,扩展了通信网络的物理外延。它可应用的通信技术有近距离通信手段、电力载波技术、3G/4G 通信技术,甚至卫星通信技术,这些通信网络已成为物联网信息传输的主要手段,构成了物联网信息传输的基石。可以知道,正是在通信网络的帮助下,物联网触角才得以与物理世界无缝连接。

物联网通信网络按组织的环境可分为内部网络和外部网络。

#### 5.1.1 内部网络

近 20 年来,通信技术快速发展,短距离无线通信技术已经成为通信技术的一大热点。各种网络终端的出现、工业控制的自动化和家庭的智能化等迫切需要一种具备低成本、低距离、低功耗和组网能力强等优点的无线互连标准。随着各种便携式个人通信设备与家用电器设备的增加,人们在享受蜂窝移动通信系统带来便利的同时,对短距离的无线与移动通信又提出了新的需求,使得短距离无线通信异军突起,包括无线局域网(Wireless Local Area Networks, WLAN)、蓝牙(BlueTooth)技术、无线保真(Wi-Fi)、超宽带(UWB)等各种热点技术相继出现,均展现出各自巨大的应用潜力。

##### 1. 无线通信网络技术

6LoWPAN、WirelessHart、ISA100 和 ZigBee 都是以 IEEE 802.15.4 协议为基础的无线通信方法。无线网络协议还没有统一到一个真正意义上大家都普遍接受的国际标准。下面介绍具有代表性的无线通信技术。

##### 1) ZigBee

蜜蜂(Bee)发现花粉后靠飞翔和“嗡嗡”(Zig)地抖动翅膀的“舞蹈”与同伴传递花粉所在方位信息,也就是说,蜜蜂依靠这样的方式构成了群体中的通信网络。借此意义,将 ZigBee 作为新一代无线通信技术来命名。ZigBee 是一种新兴的短距离、低功耗、低速率的无线网络技术,ZigBee 无线传感网络特性见表 5.1。为了推动 ZigBee 技术的发展,2002 年 8 月建立了 ZigBee 联盟,目的是开发全球性的标准,现在全球有 420 个公司成员,这些成员遍布全世界,40%来自于美洲,一半的成员来自于欧洲和亚洲。

表 5.1 ZigBee 无线传感网络特性

| 特    征 | 描    述                  |
|--------|-------------------------|
| 更短的延迟  | 15~30ms                 |
| 低速率    | 1~250kb/s               |
| 大容量    | 支持 255 个装置              |
| 多频段    | 2.4GHz、868MHz、915MHz    |
| 安全     | 提供数据集成检查,AES-128 加密算法   |
| 低功耗    | 两节 5 号电池能够使用半年到两年(待机模式) |

(1) ZigBee 网络体系架构。  
ZigBee 协议自上而下由应用层、网络层、数据链路层和物理层组成,如图 5.1 所示。

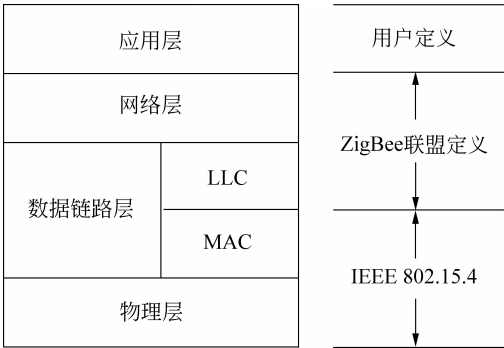


图 5.1 ZigBee 协议栈组成

应用层包含应用运行的子层、ZigBee 设备对象和产品定义的应用对象,定义了各种类型的应用业务,并负责把不同的应用映射到 ZigBee 网络层上。

网络层的类型有星状、网状、树簇状 3 种形式,其主要功能是帮助建立整体的网络模式并对其进行保护,同时还具有存储和发现路由信号的功能,并对节点加入网络和断开网络进行管理。

数据链路层又分为逻辑链路控制子层(LLC)和介质访问控制子层(MAC),LLC 子层的功能包括传输可靠性保障、数据报的分段与重组、数据报的顺序传输;MAC 子层的功能包括设备间无线链路的建立、维护和拆除,确认模式的帧传送与接收,信道接入控制、帧校验、预留时隙管理和广播信息管理。ZigBee 的基础是 IEEE 802.15.4,但 IEEE 802.15.4 仅处理低级 MAC 层和物理层协议,由 ZigBee 联盟对其网络层和 API 进行了标准化。

物理层直接利用半双工的无线收发装置和它的接口,能够直接使用无线信道传输数据。它有 2.4GHz 和 868/915MHz 两种标准,定义了 3 种流量等级:当频率采用 2.4GHz 时,使用 16 信道,能够提供 250kb/s 的传输速率;当采用 915MHz 时,使用 10 信道,能够提供 40kb/s 的传输速率;当采用 868MHz 时,使用单信道,能够提供 20kb/s 的传输速率。其中 2.4GHz 频段是全球唯一的无须申请的 ISM 频段,大大降低了 ZigBee 产品的成本。

## (2) ZigBee 网络中的设备。

ZigBee 从功能上可分为两种设备：一种是全功能设备(Full Function Device, FFD)；另一种是精简功能设备(Reduced Function Device, RFD)。FFD 包含 IEEE 802.15.4 标准的所有功能和特性,能够作为网络协调器,用来构建 ZigBee 网络。RFD 只参照 IEEE 802.15.4 模式中部分功能,作为终端设备。

ZigBee 从逻辑上可分为终端设备、路由器和协调器 3 种设备,终端设备由 RFD 组成,功能相对简单,电池供电就可以满足运行,耗能方面相对较低,根据给它们发出信号的父节点来执行任务。FFD 设备构成路由器,主要功能是在无线信号通道中完成数据的传输,因此该设备还需要具有能发现路由信号的能力。协调器只能由 FFD 设备构成,一个 ZigBee 网络就只有一个协调器,其位置处于 ZigBee 网络的最顶层。

## (3) ZigBee 网络拓扑结构。

ZigBee 拓扑结构有 3 种,即星状、网状和树簇状,如图 5.2 所示。

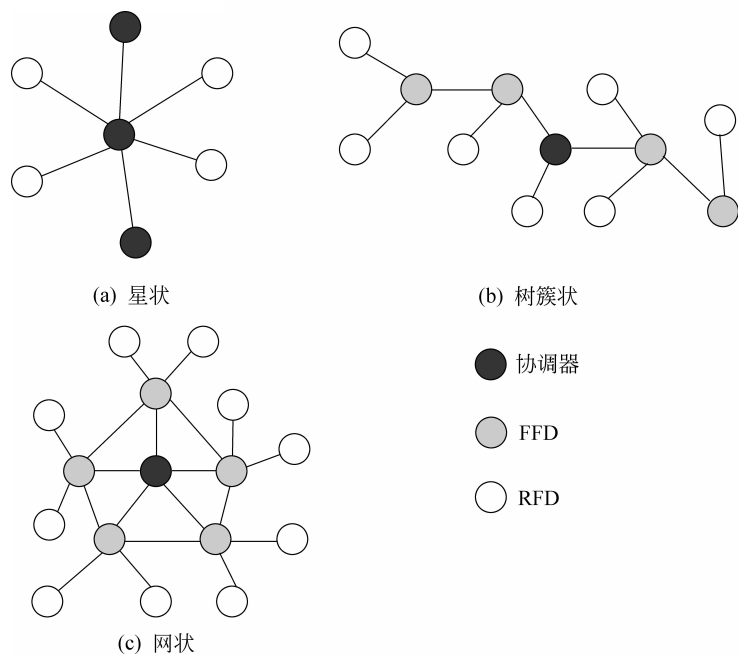


图 5.2 ZigBee 网络拓扑结构

① 星状拓扑结构。星状网络拓扑结构可以看成是发散状的网络结构,由一个叫做 PAN (Personal Area Network)主协调器的中央控制器和多个从设备组成,主协调器必须是一个 FFD,从设备可以是 FFD,也可以是 RFD。在实际应用中,应根据具体情况,采用不同功能的设备,合理地构造通信网络。在网络通信中,通常将这些设备分为起始设备和终端设备, PAN 主协调器既可作为起始设备和终端设备,也可以作为路由器,它是 PAN 网络的主要控制器。

② 树簇状拓扑结构。树簇状网络犹如树中的“叶子”一样展开构建而成,“叶子”节点可以使用 FFD 也可以使用 RFD,一个 FFD 以及其连接的“叶”节点组成一个簇。另一个 FFD

与其连接的簇形成一个树簇,经由这类过程层叠起来的网络就是树簇状网络。树簇状网络被认为是由星状网络发展而来,其逻辑关系简单、清楚,运行不复杂,同时可成倍地加大网络覆盖的面积。

③ 网状拓扑结构。网状拓扑结构可以组成极其复杂的网络以具有更强大的功能,并且有着自组织、自愈的特点。ZigBee 协议并没有明确对具体的网状网络路由协议有相关要求,所以任何两个节点的通信不受限制,用户可以选择不同的路由协议。

#### (4) 拓扑结构的形成。

支持无论是星状,还是网状拓扑结构,每一个 PAN 都有一个唯一的标识符,利用该 PAN 标识符,可采用 16bit 的短地址码进行网络设备间的通信,并且可激活 PAN 网络设备间的通信。

① 星状网络的形成。当一个具有完整的功能设备(FFD)第一次被激活后,它就会建立一个自己的网络,将自身作为一个 PAN 主协调器,所有星状网络的操作独立于当前其他星状网络的操作,这就说明了在星状网络结构中只有一个唯一的 PAN 主协调器,通过选择一个 PAN 标识符确保网络的唯一性。目前,其他无线通信技术的星状网络没有用这种方式,因此,一旦选定了一个 PAN 标识符,PAN 主协调器就会允许其他从设备加入到它的网络中,无论是 FFD 还是 RFD 都可以加入到这个网络中。

② 树簇状网络的形成。在树簇状网络中的大部分设备为 FFD,RFD 只能为树枝末尾的叶节点,这主要是 RFD 一次只能连接一个 FFD。任何一个 FFD 都可以作为主协调器,而且为其他从设备或主设备提供同步服务。在整个 PAN 中,只要该设备相对于 PAN 中其他设备具有更多计算资源,如具有更快的计算能力、巨大的存储空间以及更多的供电能力等,这样的设备都可以成为该 PAN 的主协调器,通常称该设备为 PAN 主协调器。在建立一个 PAN 时,首先,PAN 主协调器将其自身设置成一个簇标识符(CID)为 0 的簇头(CLH),选择一个没有使用的 PAN 标识符,并向邻居的其他设备以广播的形式发送信标帧,从而形成第一个簇网络。接收到信标帧的候选设备可以在簇头中请求加入该网络,如果 PAN 主协调器允许该设备加入,那么主协调器会将该设备作为子节点加到它的邻居表中,同时,请求加入的设备将 PAN 主协调器作为它的父节点加到邻近列表中,成为该网络中的一个从设备;同样,其他的所有候选设备都按照同样的方式,可请求加入到该网络中,作为网络的从设备。如果原始的候选设备不能加入到该网络中,那么它将寻找其他的父节点。

在树簇状网络中,最简单的网络结构是只有一个簇的网络,但是多数网络结构都是由多个相邻的网络组成的。一旦第一簇网络满足预定的应用或网络需求时,PAN 主协调器将会指定一个从设备为另一个簇网络的簇头,使得该从设备成为另一个 PAN 的主协调器,随后其他从设备将逐个加入,并形成一个多簇网络。多簇网络结构的优点在于可以增加网络的覆盖范围,而随之产生的缺点是会增加传输信息的延迟时间。

③ 网状网络的形成。在网状拓扑结构中,每一个设备都可以与在无线通信范围内的其他任何设备进行通信,任何一个 FFD 设备都可以定义为 PAN 主协调器,但是这种网络结构比起其他两种逻辑关系复杂,数据在网络上的传输时间没有办法估计。

#### (5) 显著特点。

ZigBee 有着超低功耗、网络容量大、数据传输可靠、时延短、安全性好和实现成本低等显

著特点。在 ZigBee 技术中,采用对称密钥的安全机制,密钥由网络层和应用层根据实际应用需要生成,并对其进行管理、存储、传送和更新等。因此,在未来的物联网中,ZigBee 技术显得尤为重要,并已在智能家居等物联网系统中得到广泛应用。

## 2) Wi-Fi

Wi-Fi(Wireless Fidelity,无线保真)俗称“无线宽带”,有 4 种协议,分别是 IEEE 802.11(a、b、g、n)。IEEE 802.11a 理论速率为 54Mb/s,IEEE 802.11b 理论速率为 11Mb/s,IEEE 802.11g 理论速率为 54Mb/s,IEEE 802.11n 理论速率为 450Mb/s。由于目前很多设备厂商采用的是 802.11b 协议,因此在业界很多人逐渐产生一种习惯,将 Wi-Fi 称为 802.11b 协议。它是一种短程无线传输技术,能够在数百英尺范围内,支持互联网接入的无线电信号。它帮助用户访问 E-mail、Web 和流式媒体,为用户提供无线的宽带互联网访问。同时,它也是在家里、办公室或在旅途中快速、便捷的上网途径。Wi-Fi 无线网络是由 AP(Access Point)和无线网卡组成的无线网络,方便与现有的有线以太网网络整合,组网的成本较低。

Wi-Fi 的典型设置是通常包括一个或多个接入点 AP 及一个或多个客户端。每个接入点 AP 每隔 100ms 将服务单元标识(Service Set Identifier,SSID),即网络名称经由 beacons 封包一次。基于 SSID 的设置,客户端可以决定是否连接到某个接入点 AP。若同一个 SSID 的两个接入点 AP 都在客户端的接收范围内,客户端可以根据信号的强度选择与哪个接入点的 SSID 连接。Wi-Fi 的频谱都分布在 2.4GHz 左右,尽管确切的频率分配,如最大允许功率,在各地有着细微差别,但按频率划分的信道数量在全世界做了统一规范,因此所授权的频率段可通过信道数量进行区分。Wi-Fi 除了具有一般无线网络所具有的特点外,其突出特点有以下几个。

### (1) 覆盖范围广。

Wi-Fi 在室外开阔性空间里通信半径可达 300m,在室内有障碍物遮挡信号的情况下,通信半径最大为 100m。

### (2) 传输速度快。

由于 Wi-Fi 协议标准并不单一,Wi-Fi 的传输速度也不同,传输速度最高的为 802.11a 协议与 802.11g 协议都为 54Mb/s,而目前常用的 802.11b 协议的最高传输速度为 11Mb/s。

### (3) 门槛比较低。

由于 Wi-Fi 为无线传输技术,只需要在人群密集的地方设置“热点”,如大型的商场、学校、住宅小区和车站等场所。由于无线传输距离半径最远可达 300m,因此用户可用配置了 Wi-Fi 的笔记本电脑、内置 Wi-Fi 的手机在其能感受到信号的范围内就可接入 Internet。

### (4) 无须布线。

Wi-Fi 是一种无线传输技术,有着不需布线的绝对优势,可节省布线所造成的财力与物力的浪费,因此有着非常广阔的市场空间。

### (5) 健康安全。

Wi-Fi 的实际发射功率很低,只有 60~70mW,因此所造成的电磁辐射很低,应该说是绝对安全的。

## 3) 蓝牙

作为一种无线数据与语音通信的开放性全球规范,蓝牙以低成本的近距离无线连接为

基础,为固定与移动设备通信环境建立一个特别连接,完成数据信息的短程无线传输。其实质内容是建立通用的无线电空中接口(Radio Air Interface)及其控制软件的标准,使通信和计算机进一步结合,使不同厂家生产的便携式设备在没有电线或电缆相互连接的情况下,能够在近距离范围内具有互用、互操作的性能(Interoperability)。

蓝牙典型的通信距离为 10m,它以 IEEE 802. 15 标准技术为基础,应用了“Plug and Play”的概念(有点类似“即插即用”),即任意一个蓝牙设备一旦搜寻到另一个蓝牙设备,马上就可以建立联系,而无须用户进行任何设置,因此可以解释成“即连即用”。蓝牙技术有着低成本、低功耗、小体积、近距离通信、安全性好等特点。在未来的物联网发展中,蓝牙会得到一定的应用,如在办公场所、家庭智能家居等环境。

ZigBee、蓝牙、Wi-Fi 3 种通信方式比较参见表 5. 2。

表 5. 2 ZigBee、Wi-Fi、蓝牙 3 种通信方式比较

| 性 能          | ZigBee                                      | Wi-Fi        | 蓝 牙              |
|--------------|---------------------------------------------|--------------|------------------|
| 标准           | 802. 15. 4                                  | 802. 11      | 802. 15. 1       |
| 数据速率         | 20~250kb/s                                  | 11~54Mb/s    | 721Kb/s~25Mb/s   |
| 距离           | 10~100m                                     | 50~100m      | 10m              |
| 频率范围         | 868MHz(欧洲)<br>900~928MHz(北美)<br>2. 4GHz(世界) | 2. 4GHz、5GHz | 2. 4GHz          |
| 传输功率         | 0. 5mW、1mW、3mW                              | 100mW        | 1mW、2. 5mW、100mW |
| 网络节点         | 256                                         | 无限制          | 8                |
| 拓扑           | Ad Hoc, Peer-to-Peer,<br>Star, Mesh         | Ad Hoc       | Ad Hoc           |
| 复杂度(设备和应用影响) | 低                                           | 高            | 高                |
| 功率消耗         | 低                                           | 中等           | 高                |

4) 紫外光通信

紫外光通信是无线光通信的一种。它基于两个相互关联的物理现象：一个现象是大气层中的臭氧对波长在 200~300nm 之间的紫外光有强烈的吸收作用,这个区域称为日盲区,到达地面的日盲区紫外光辐射在海平面附近几乎衰减至零;另一现象是地球表面的日盲区紫外光被大气强烈散射。日盲区的存在,为工作在该波段的紫外光通信系统提供了一个良好的通信背景。紫外光在大气中的散射作用使紫外光的能量传输方向发生改变,这为紫外光奠定了通信基础,但吸收作用带来的衰减使紫外光的传输限定在一定的距离内。

因此,紫外光通信是基于大气散射和吸收的无线光通信技术,是以日盲区的光谱为载波,在发射端将信息电信号调制加载到该紫外光载波上,已调制的紫外光载波信号利用大气散射作用进行传播,在接收端通过对紫外光束的捕获和跟踪建立起光通信链路,经光电转换和解调处理提取出信息信号。紫外光通信特别适用于复杂环境下近距离抗干扰保密通信。

2005 年,国防科技大学利用低压碘灯作为发射光源,研制出一套高速紫外光通信系统

实验样机,该样机在有障碍物的情况下,通信距离在 8m 左右,通信速率达到 48kb/s。中国科学院半导体研究所 2010 年实现了利用 LED 紫外光对于通过 LED 发出的光线连接宽带网络。紫外光通信通过驱动紫外 LED 来调制信号并加载到光载波中向自由空间发射出去,载有信息的光在自由空间中传输,由探测器接收、解调并还原出初始信号,来达到信息传输的目的。这一突破表明,利用 LED 作为光源可以实现对家用电器的信号传输。这项技术的突出优点就是能够避免无线电传输引起的电磁干扰现象,并且具有节能、低碳的特点,这完全迎合了智能家居物联网家电系统的要求。因此,在物联网家电系统开发中,以 LED 光通信实现对家用电器的信息交换和控制的技术可重点考虑。

## 2. 电力载波通信

电力线通信技术(Power Line Communication)出现于 20 世纪 20 年代初期,它利用已有的低压配电网作为传输介质,实现数据传递和信息交换。应用电力线通信方式发送数据时,发送器先将数据调制到一个高频载波上,再经过功率放大后通过耦合电路耦合到电力线上。信号频带峰值电压一般不超过 10V,因此不会对电力线路造成不良影响。电力载波模块结构如图 5.3 所示。

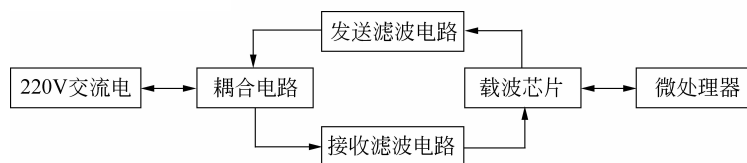


图 5.3 电力载波模块结构

此高频信号经线路传输到接收方,接收机通过耦合电路将高频信号分离出来,滤去干扰信号后放大,再经过解调电路还原成二进制数字信号完成通信过程。

## 3. G.hn 标准

G.hn 是将电源线、双绞线和同轴电缆都纳入到家庭网络有线传输介质中,最大程度地利用已布设的各种线缆,在网络覆盖及终端接入层面上为物联网的普及提供了现实的实体支撑。起初由 Intel 发起,此后 ITU 负责定制,目前则由 Home Grid Forum 推广。G.hn 标准于 2010 年 6 月获得了 ITU 的 191 个成员国的支持,该标准将把现有的双绞线、同轴电缆以及电源线进行资源整合,实现统一传输,从而显著降低安装和运营成本,也解决了运营商现有楼宇及家庭内网络布线的困难,实现了基于现有管线资源提供高带宽、多业务的联网技术,其数据传输速率最高可达 1Gb/s。服务提供商能够利用 G.hn 即插即用的网络运行模式和更强大的 G.hn 设备连接能力,显著降低安装和运营成本。

楼宇内部布放 G.hn 的设备后,可以把楼宇内原本分离的使用电源线串接的电器网络、使用同轴电缆串接的 AV 网络以及计算机、数据等通信设备串接的通信网络通过统一的组网方式实现互联。

G.hn 标准及其产品在物联网应用中具有的独特优势,其尽可能地利用现有的已布设的各种常见线缆,大幅减少物联网的基础设施建设成本和工期,从而在根本上跨越了物联网大规模商业化应用的最大障碍。

#### 4. 无线传感网

无线传感网(Wireless Sensor Network, WSN)是一种自组织网络,通过大量低成本、资源受限的传感节点设备协同工作实现某一特定任务。无线传感网络的主要功能是监测网络覆盖区域,并且对覆盖区域的突发事件有一定的检测和判断能力。WSN 是由大量无处不在的、具有通信与计算能力的微小传感器节点根据具体应用环境被合理密集布设在无人值守的监控区域而构成的,能够根据环境自主完成指定任务的“智能”自组织自治测控网络。

WSN 的传输协议是至关重要的,因为它建立了 WSN 内部点到点的连接。传输协议提供了拥塞控制、流量控制、带宽平均分配、可靠性、节能、包丢失恢复、异构应用支持等的服务。因为能耗和流率的限制问题,用户数据报协议(UDP)和传输控制协议(TCP)被证明不适合应用于 WSN。研究者们不断努力,克服标准协议的缺陷,开发了适用于 WSN 的各种传输协议。不同的传输协议采用不同的技术参数和机制,以达到 WSN 的稳定的数据通信。依据这些参数和机制,可将 WSN 传输协议分为 3 类,即仅支持可靠传输协议、仅支持拥塞控制的协议、既支持可靠传输又支持拥塞控制的协议。WSN 主要在下面 3 个方面进行控制与优化。

(1) 网络拥塞控制。WSN 网包含许多传感节点,能够感知物理现象,将模拟量转变为数字量,并传送给目标节点。由于功率限制了计算能力,传输范围也受到了限制。这样,从传感源到目标点,传感节点形成通路,数据在它们之间逐跳传输。无线传感节点包含了许多潜在的节点,在地理位置上,可以在户内或户外。WSN 通常在低功耗下运行,瞬间激活以应对侦测或监控事件。根据应用需要,会导致出现大量、瞬间、关联的数据脉冲必须传送给数量不多的节点,而又不能明显影响性能(如保真度)。产生的大量数据报通常不受控制,常常导致拥塞,目前已有许多协议用于 WSN 的拥塞控制。

(2) 功率控制。WSN 功率控制的目的是,延长网络使用寿命,节约网络节点的能量。功率控制首先考虑的是数据从源节点到汇节点没有丢失或错误。通过策略性地改变节点的发射功率,在保证系统性能要求的前提下,尽可能地降低网络的通信能耗,提高能量效率,延长系统的生存时间。

(3) 拓扑优化。在许多 WSN 应用中,传感器节点设置是随意的,很少关注确保范围和节点密度的均匀,并且达到网络连接的强度。优化节点放置是一个具有挑战性的问题,大多数的节点放置问题被证明是 NP-Hard 问题。

#### 5. 6LoWPAN

随着物联网的兴起,无线传感网络向 IPv6 网络的融合成为发展趋势,实现与基于 IP 控制网络的互联是必要的也是必需的。基于 IPv6 的低功耗无线个域网(IPv6 over Low power Wireless Personal Area Network, 6LoWPAN)应运而生。为了把 IP 技术引入到 WSN 这种特殊的通信网络中,IETF 于 2004 年 11 月成立了 6LoWPAN 工作组。6LoWPAN 的主要任务是为基于 IEEE 802.15.4 的 WSN 中定义一种可行的基于 IPv6 的 TCP/IP 协议栈,通过在链路层与 IP 层间添加适配层实现首部压缩与数据报的分片重装,很好地实现了 IPv6 网络与低功耗无线网络之间的协议适配。

### 5.1.2 外部网络

随着通信技术飞速发展,互联网将开始真正从固定互联网时代走向无线互联网时代,手机和笔记本进行融合,无线通信速率不断增强,人们可以通过无线终端设备随时随地上网,查询信息,购买物品和服务。

#### 1. 有线通信技术

(1) 利用电话网络,以双音多频(Dual Tone Multi-Frequency,DTMF)信号为载体传送命令或数据。公用电话网(Public Switch Telephone Network,PSTN)是一种全球语音通信电路交换网络,最初它是一种固定线路的模拟电话网,当前 PSTN 几乎全部采用数字电话网,包括移动电话和固定电话。目前 PSTN 已经遍及城乡,PSTN 不仅只是进行单一语音传输,还被广泛应用于数据传输。通过 PSTN 的接入,只要有 PSTN 的地方,用户就可以通过移动电话或者固定电话对家庭设备进行远程控制,即用户通过拨打电话到家里的固定电话,按电话语音提示操作控制家电。其优点是方便、实用,实现的技术难度不大,比较容易实现控制设计。电话属双工通信手段,这可以大大体现出利用电话进行远程控制的优越性。操作者可以通过各种提示音即时了解受控对象的有关信息,从而作进一步的操作。

(2) 利用 Internet 网络传送命令和数据。基于 Internet 的家庭控制系统主要是指当用户不在家中,可以通过上网登录到家里网关的 Web 页面对住宅内部的家用电器设备进行远程控制和住宅内部进行安全防护。计算机成为智能化家庭生活的管理和控制信息平台,而 Internet 成为实现信息平台操作的通道。基于 Internet 的智能家居远程控制系统,首先要求 Internet 接入家庭,有远程 Internet 终端、有家庭网关。家庭计算机与 Internet 的连接一般都是基于 TCP/IP 协议的网络通信,而家庭内部可以根据需求采用其他类型的通信方式。因此需要借助专门的家庭网关,实现 TCP/IP 与其他协议的转换。其优点是传输速度快、信息量大、准确可靠、交互性好,可以进行各种控制。但是也存在一定的局限性,如只能在可以上网的时候进行远程控制。另外,家电需要连接到网络上,可能有网络安全的隐患等。

#### 2. 第 2 代移动通信技术

第 1 代移动通信系统为模拟移动通信系统,其抗干扰能力差、安全保密性差、信道容量低;而第 2 代移动通信系统如 GSM 和 CDMA 等技术采用数字方式,具有容量大、频谱利用率高和业务种类众多等特点。全球移动通信系统(Global System for mobile Communications,GSM)和码分多址(Code Division Multiple Access,CDMA)是比较成熟的第 2 代移动通信技术(简称 2G)。

GSM(Group Special Mobile,国际移动特别小组)于 1982 年在欧洲邮政电信管理委员会的组织下成立,该小组用来制定有关的标准和建议书,1987 年确定了 GSM 的基本参数,接着在 1988 年颁布了 GSM 标准。GSM 900 规范和 12 个不同系列的建议书于 1990 年完成。1991 年国际移动特别小组在欧洲开通了第一个系统,并将 GSM 更名为“全球移动通信系统”,同年该小组还完成了 DCS 1800 系统,它是基于 1800MHz 频段的移动通信业务规范。1993 年欧洲第一个 DCS 1800 系统投入运营。现在全世界已有欧洲、亚洲、非洲、美洲、

大洋洲的 130 多个国家和地区建立了 GSM 网络,实现了全球漫游。GSM 是目前使用较为成功的移动通信系统,理论数据传输速率为 9.6kb/s。

GSM 包括两个并行的系统,即 GSM 900 和 DCS 1800。DCS(Digital Communication System)是数字通信系统。两个通信系统的功能相同,主要的差异只是频段不同。GSM 的频带在 900MHz 附近(GSM 900)或 1800MHz 附近(DCS 1800)。短消息服务作为 GSM 和 CDMA 网络的一种基本业务,为远程监控提供了一种廉价的无线数据通信方式。

### 3. 第 2.5 代移动通信技术

通用分组无线业务(General Packet Radio Service,GPRS)是在现有 GSM 系统的基础上发展起来的,目的是为 GSM 用户提供分组形式的数据业务,也被称为是 GSM 向 3G 的过渡,属于 2.5G 的技术。

GPRS 是基于 GSM 系统的无线分组交换技术,提供端到端的、广域的无线 IP 连接,是 GSM 网的语音增值服务。GPRS 充分利用共享的无线信道,采用 IP Over PPP 实现数据终端的高速、远程接入。GPRS 系统数据传输的理论速率达 171.2kb/s,从而实现移动用户接入 Internet 的需求。

### 4. 第 3 代移动通信技术

第 3 代(简称 3G)移动通信系统是一个全球无缝覆盖、全球漫游,包括卫星移动通信、陆地移动通信和无绳电话等蜂窝移动通信的大系统,3G 通信标准包括 UMTS、EV-DO Rev. A 等。UMTS 的平均速率为 36~226kb/s、理论最高速率 384kb/s;EV-DO Rev. A 的平均速率为 500kb/s~1Mb/s、理论最高速率 3.1Mb/s。它可以向公众提供前两代产品所不能提供的各种宽带信息业务,如高速数据、慢速图像与电视图像等,传输速率高达 2Mb/s,带宽可达 2MHz 以上,是一种真正的“宽频多媒体全球数字移动电话技术”。

与 2G 网络相比,3G 网络的特色在于它所提供的移动数据业务,该业务是 3G 市场的核心。这也意味着 3G 技术的应用会在视频、游戏等通信内容上有巨大的需求,而其中的很多应用都是原先 2G 服务内容中没有的,或者是很少涉足的。

### 5. 第 4 代移动通信技术

根据国际电信联盟(ITU)的定义,第 4 代移动通信技术(简称 4G)应当满足下面两个条件:固定状态下数据传输速度达到 1Gb/s,移动状态下数据传输速度达到 100Mb/s。通过 4G 能够传输高质量视频图像,能够满足几乎所有用户对无线服务的要求。运用 4G 技术,用户可以收看高清电视,并遥控家中的电器。ITU 已将 WiMAX、HSPA+、LTE、LTE-Advanced、WirelessMAN-Advanced 5 种标准纳入到 4G 标准中。4G 通信技术的传输速率如下。

WiMAX: 1~6Mb/s(平均速度),100Mb/s 以上(理论最高速率)。

LTE: 2~12Mb/s(平均速度),100Mb/s 以上(理论最高速率)。

WiMAX 2: 100Mb/s 以上(理论最高速率)。

LTE-Advanced: 100Mb/s 以上(理论最高速率)。

2012 年 1 月 18 日,“中国创造”的 TD-LTE-Advanced 被国际电信联盟正式确定成为第 4 代移动通信(简称 4G)两大国际标准之一。与第 3 代移动通信技术(简称 3G)相比,TD-