

第5章 无线计算机网络

本章介绍逐步兴起的无线计算机网络,与第4章介绍的 LAN 一样,IEEE 802 委员会也为无线计算机网络定义了相关标准,如 IEEE 802.11、IEEE 802.15 和 IEEE 802.16 分别是 WLAN、WPAN 和 WMAN 的标准,主要是物理层和 MAC 层的技术规范,因此本章内容也像第4章一样,实际上是第2章物理层和第3章数据链路层的延续以及在无线网络中的实例化。

本章将介绍无线局域网 WLAN、无线城域网 WMAN 技术 WiMAX、无线个人区域网 WPAN 技术蓝牙系统和 ZigBee、无线人体域网 WBAN,重点是其中应用最为广泛的 WLAN。由于其无线传输的特点,IEEE 802.11 WLAN 的 MAC 层设计了一种带冲突避免的载波监听多点接入即 CSMA/CA(CSMA with Collision Avoidance)媒体接入控制机制。

5.1 无线局域网(WLAN)

5.1.1 IEEE 802.11 WLAN

无线局域网(Wireless LAN, WLAN)广泛应用于站点移动和难以布线的应用场合。

IEEE 802.11 WLAN 是最有影响的 WLAN。1997 年,IEEE 制定了 WLAN 的协议标准 IEEE 802.11,它提供了物理层和 MAC 子层的规范,国际标准化组织 ISO 也接纳了这一标准,标准号为 ISO 8802-11。后来又推出了 IEEE 802.11a/b/g/n/ac/ad 等的物理层标准,支持更高的传输速率。

自 1999 年 IEEE 802.11b 产生,WLAN 产品多了起来,802.11b 产品的兼容性由厂商组织 Wi-Fi 联盟(Wi-Fi Alliance)负责。凡是通过 Wi-Fi 联盟兼容性测试的产品,都被准予打上“Wi-Fi CERTIFIED”的标记。Wi-Fi(Wireless Fidelity)原意是无线保真,这里实际上是一种商业认证,具有 Wi-Fi 认证的产品符合 IEEE 802.11b 规范,因此,Wi-Fi 也被视为 802.11b WLAN 的别称。随着 IEEE 802.11g 等新标准不断出现,Wi-Fi 的含义也扩充到整个 IEEE 802.11 WLAN,视为同义语。

1. IEEE 802.11 WLAN 网络结构

IEEE 802.11 WLAN 的最小组件称为基本服务集(Basic Service Set, BSS)。一个 BSS 包括一个基站(base station)和若干移动站,它们共享 BSS 内的无线传输媒体,基站也称为接入点(Access Point, AP)。BSS 有一个服务集标识(Service Set Identifier, SSID),可以用 AP 的 MAC 地址表示。一个 BSS 所覆盖的范围称为基本服务区 BSA(Basic Service Area),通常有 100m 左右。

一个 BSS 可以是独立的,也可以通过 AP 连接到一个分布系统(Distribution System, DS)。DS 是一个有线或无线的主干 LAN,例如,常用的交换式以太网。在同时具有有线和无线网络的情况下,AP 可以通过标准的以太网电缆与传统的有线以太网相连,作为无线网络和有线网络的连接点。这样,BSS 中的移动站点就可以通过 AP 访问 DS 连接的主机。多

个 BSS 通过 DS 连接就构成了扩展服务集(Extended Service Set, ESS)。ESS 还可以通过路由器连接 Internet,为无线用户提供到 Internet 的访问。IEEE 802.11 WLAN 的网络结构如图 5.1 所示。

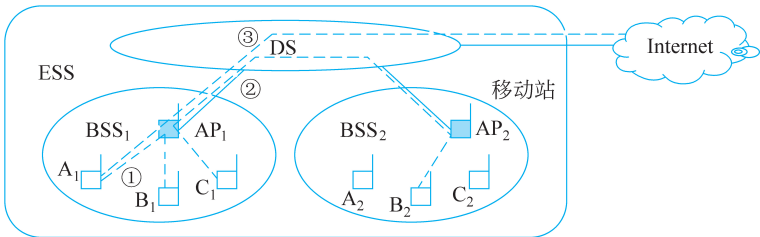


图 5.1 IEEE 802.11 WLAN 的网络结构

一个 BSS 内的移动站相互访问需通过本 BSS 的 AP,不能直接通信。移动站与 BSS 外的移动站通信,也要通过本 BSS 的 AP 并通过 DS 进行。图 5.1 所示的 WLAN 中,虚线①表示 BSS₁ 内的移动站 A₁ 访问 BSS₁ 内的移动站 B₁,无线信号的路径是 A₁—AP₁—B₁;虚线②表示 BSS₁ 内的移动站 C₁ 访问 BSS₂ 内的移动站 B₂,无线信号的路径是 C₁—AP₁—DS—AP₂—B₂;虚线③表示 A₁ 访问 Internet,无线信号的路径是 A₁—AP₁—DS—Internet。

IEEE 802.11 还支持另一种结构的 WLAN,称为自组网络(ad hoc network),在一些对等的移动站点之间通信,没有网络基础设施基站,如同图 5.1 中没有 AP 的 BSS。在没有 AP 管理的情况下,ad hoc 网络中的移动站点可以通过特有的路由算法协调相邻站点之间的通信关系,自主地组成网络。通过多跳方式进行通信,传输信号需要相邻站点之间的转发。当有新的站点接入、老的站点退出或位置移动,可以找到新的相邻站点,动态地重新组网,形成新的网络拓扑。ad hoc 网络的这些特点,使得它在某些没有基站可用的场合有很好的应用价值,如军事作战或地震救灾,战场上难有基站,地震中基站常常损坏。

2. IEEE 802.11 WLAN 体系结构

1) 层次结构及各层功能

IEEE 802.11 WLAN 协议定义了物理层和媒体接入控制 MAC 层,它们又划分了子层,IEEE 802.11 体系结构如图 5.2 所示。

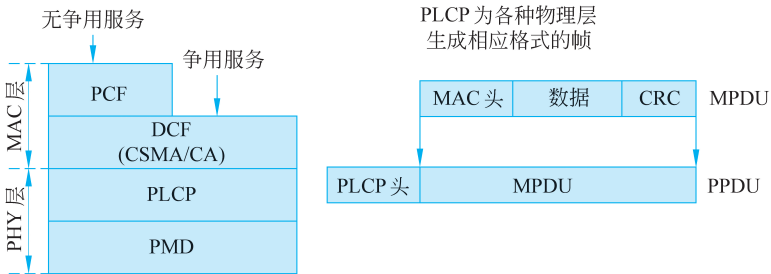


图 5.2 IEEE 802.11 体系结构

媒体接入控制 MAC 层定义了两个子层,自上而下分别如下。

① 点协调功能(Point Coordination Function, PCF)。

PCF 使用集中控制方式,向上提供无争用服务。集中控制在 AP 上实现,用类似轮询的方法使各个结点得到发送权。PCF 一般用于对时间敏感的业务。

② 分布协调功能(Distributed Coordination Function,DCF)。

DCF 向上提供信道争用服务,各结点通过竞争得到发送权。DCF 使用一种带冲突避免的 CSMA 协议 CSMA/CA(CSMA with Collision Avoidance)。DCF 是基本的媒体接入方法,所有的移动站点都要求支持 DCF,自组网络站点只使用 DCF。

物理层分为两个子层,自上而下分别如下。

① 物理层汇聚过程(Physical Layer Convergence Procedure,PLCP)。

PLCP 的主要功能如下。

- 为各种物理层生成相应格式的帧,如图 5.2 右半部所示。为 MAC 层协议数据单元 MPDU 附加字段,字段中包含特定物理层发送和接收所需的信息,组成 PLCP 层协议数据单元 PPDU。PLCP 降低了 MAC 层对 PMD 层的依赖程度。
- 进行载波监听信号的分析,发出信道评价信号。无线传输中信号衰减和干扰因素比有线情况严重,载波监听困难。如果无线接口监听检测到传输的比特或者接收的载波信号强度超过了规定的阈值,PLCP 就发出信道评价信号。可以采用这两种方式的结合,效果更好。

② 物理媒体相关(Physical Medium Dependent,PMD)。

PMD 直接面向无线媒体,主要功能如下。

- 检查媒体状态实现载波监听。
- 进行数据编码和调制。
- 通过无线信道进行信号的发送和接收。

2) 移动站通过 AP 接入以太网的协议结构

移动站通过 AP 访问有线 DS 上的主机的协议结构图 5.3 所示。BSS 中的移动站点有无线网络接口,支持 802.11 物理层和 MAC 子层;802.3 以太网上的主机使用 802.3 物理层和 MAC 子层;接入点 AP 像一个网桥,有一个无线网络接口和一个有线网络接口,支持这两种类型的物理层和 MAC 子层,在它们之间中继 LLC 帧。

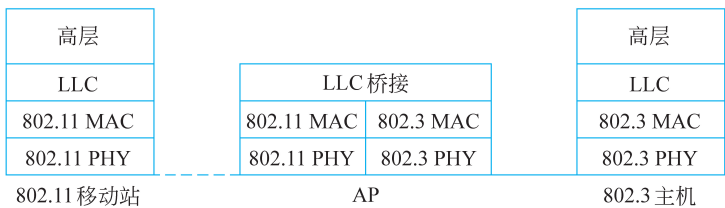


图 5.3 移动站通过 AP 访问以太网的协议结构

5.1.2 IEEE 802.11 物理层标准

1997 年,IEEE 802.11 WLAN 定义了跳频扩频 FHSS、直接序列扩频 DSSS 和红外 IR 等 3 种不同的物理层标准,之后的十几年里,又陆续定义了 IEEE 802.11a/b/g/n/ac/ad 等新的物理层标准。

1. FHSS、DSSS 和 IR

1) 跳频扩频(Frequency Hopping Spread Spectrum,FHSS)

FHSS 使用没有授权限制的 2.4GHz(2.4~2.4835GHz)的工业、科学和医药 ISM 频段

(见 2.7 节)。

扩频是指在更宽的频带上规则地扩展发射信号的带宽,虽然增加传输信号的带宽对信道的要求会提高,但在无线通信中,抗干扰和防窃听等要求更为重要。在窄带噪声信道增加发送信号带宽,可以使抗干扰性增强,扩频技术还有防窃听的作用。

跳频扩频 FHSS 是扩频技术的一种,发射信号的频率按某种随机模式不断跳变,跳变的模式只有发射器和相应的接收器知道,而其他的接收器不知道,FHSS 信号只能算是一种噪声。由于信号传输频率一直在改变,因此不易受到干扰,也不易被窃听。如果发射器的中心频率在 n 个不同频率间变化,发射带宽是基本带宽的 n 倍。

IEEE 802.11 FHSS 每 1MHz 带宽有一个跳频频道,共 78 个频道(2.402~2.480GHz),分为 3 组,每组 26 个:(0,3,6,...,75)、(1,4,7,...,76)、(2,5,8,...,77)。一个 BSS 可选择其中一组。跳频到下一个频率的滞留时间(dwell time)为 400ms,即 2.5 跳/秒。带宽为 1MHz 的每个频道上采用 2 级或 4 级高斯频移键控(Gaussian FSK,GFSK)调制方式对信号进行调制,可提供 1Mb/s 或 2Mb/s 的传输速率。

图 5.4 是 FHSS 方式的 PLCP 帧格式。

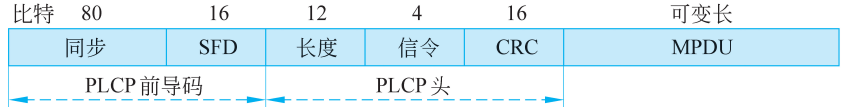


图 5.4 FHSS 方式的 PLCP 帧格式

① 同步: 80 比特的 01010101...同步信号序列,接收站用它检测信号的存在,提取载波的时钟频率,进行位同步。

② 帧起始定界符 SFD: 16 比特的 00001100 10111101,标志 PLCP 帧的开始。

③ 长度: 12 比特,LPDU 的最大长度可达 4095 字节。

④ 信令: 从 1Mb/s 开始步进 500kb/s 的数据速率。向物理层指示传输使用的速率和相应的调制方式,0000 和 0010 分别代表 1Mb/s 的二级 GFSK 和 2Mb/s 的四级 GFSK。但前导码和帧头总是使用 1Mb/s 的速率。

⑤ CRC 校验码: 使用 CCITT-16 生成多项式,对帧头的 16 比特进行 CRC 校验。

2) 直接序列扩频(Direct Sequence Spread Spectrum,DSSS)

DSSS 也使用 2.4GHz ISM 频段。它将传输数据进行编码,把每比特扩展成 n 个 0/1 表示的码片序列,称为巴克序列(Barker sequence), n 为扩展率,802.11 标准中 $n=11$ 。由于码片宽度只是数据比特的 1/11,因此 DSSS 编码信号的带宽是未扩频时的 11 倍,DSSS 编码信号传输的波特率是原数据传输速率(比特率)的 11 倍。即使丢失的码片达到 40%,原来的传输数据也可以重建。如果窃听者不知道巴克序列的组成,DSSS 扩频也可以提供保密。

对所有码片都用调制解调器调制到 2.4GHz 的 ISM 频段内的一个信道进行发送。DSSS 使用二级相移键控 BPSK 和四级相移键控 QPSK 调制,分别可提供 1Mb/s 和 2Mb/s 的数据传输速率。

DSSS 方式的 PLCP 帧格式如图 5.5 所示。

① 同步、帧起始定界符(SFD)和 CRC 校验码: 作用与 FHSS 方式的对应字段一样。

② 信令: 8 比特,从 0 开始步进 100kb/s 的数据速率,向物理层指示传输使用的速率和



图 5.5 DSSS 方式的 PLCP 帧格式

相应的调制方式。0x0A 和 0x14 分别表示 1Mb/s 的二级相移键控 BPSK 和 2Mb/s 的四级相移键控 QPSK。但前导码和帧头总是使用 1Mb/s 的速率。

③ 长度：16 比特，MPDU 的长度。

④ 业务：保留，待将来使用。

3) 红外线(InfraRed, IR)

使用波长为 850~950nm 的红外线，在室外受太阳光的干扰，用于室内传输，但不能穿过墙壁，可提供 1Mb/s 或 2Mb/s 的传输速率，传输距离在 10~20m。

IR 物理层使用脉冲位置调制 PPM 方式。PPM 把二进制数据映射成一组包含脉冲的时隙。1Mb/s 和 2Mb/s 的物理层分别使用 16-PPM 和 4-PPM，它们分别对数据中的每 4 和 2 比特进行编码，映射成 16 和 4 个时隙，时隙间隔都是 250ns。

PPM 只在一个时隙中安排脉冲。根据二进制数据的大小，决定哪个时隙包含脉冲。16-PPM 和 4-PPM 分别在 $16 \times 250\text{ns} = 4\mu\text{s}$ 和 $4 \times 250\text{ns} = 1\mu\text{s}$ 时间内携带 4 和 2 比特的数据，因此数据传输速率分别为 $4\text{b}/4\mu\text{s} = 1\text{Mb/s}$ 和 $2\text{b}/1\mu\text{s} = 2\text{Mb/s}$ 。时隙安排如图 5.6 所示，其中标记为 1 的时隙为包含脉冲的时隙。

4 比特数据		16 个时隙
0 0 0 0	→	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
0 0 0 1	→	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0
0 0 1 0	→	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0
...	...	...
1 1 1 1	→	1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

2 比特数据		4 个时隙
0 0	→	0 0 0 1
0 1	→	0 0 1 0
1 0	→	0 1 0 0
1 1	→	1 0 0 0

图 5.6 16-PPM(上)和 4-PPM(下)

IR 方式的 PLCP 帧格式如图 5.7 所示。

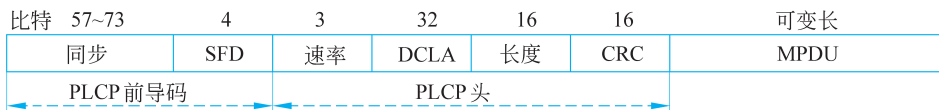


图 5.7 IR 方式的 PLCP 帧格式

① 同步、SFD 和 CRC 校验码：作用与 FHSS 方式的对应字段一样。

② 数据传输速率：3 比特,000 和 001 分别表示 1Mb/s 和 2Mb/s。

③ 直流电平调整(DCLA)：通过发送 32 比特的 PPM 时隙脉冲序列,使接收器据此设定接收信号的电平,确定接收 0 和 1 的阈值。

④ 长度：16 比特,MPDU 的长度,0~2500 字节。

2. IEEE 802.11a/b/g/n/ac/ad

1) IEEE 802.11a(1999 年)

IEEE 802.11a 定义在 5GHz 频段,最高支持 54Mb/s 的传输速率。

IEEE 802.11a 采用正交频分复用 OFDM 的技术,在 48 个子信道上进行并行传输,将高速数据流转换成并行的 48 个低速子数据流,从而使子数据流具有低得多的比特率,每个子信道用这些子数据流对该子信道的子载波进行调制。为减弱子信道间的信号干扰,子信道的信号带宽要小于子信道的带宽。

IEEE 802.11a 物理层和欧洲 WLAN 标准高性能无线局域网(High PErformance Radio LAN, HIPERLAN-2)一样,基本原理是将高速数据流分成多个低速流,然后在多个载波频率上传输。

2) IEEE 802.11b (1999 年)

IEEE 802.11b 定义在 2.4GHz 的 ISM 频段,可支持 5.5Mb/s 和 11Mb/s 的传输速率。

IEEE 802.11b 使用高速率直接序列扩频(High Rate DSSS, HR-DSSS)方式,与 DSSS 的编码方法不同,不再使用巴克序列,而是采用一种称为互补编码键控(Complementary Code Keying, CCK)的编码方法。对于 5.5/11Mb/s 的传输速率,CCK 每次将 4/8 比特的数据进行编码,编码后的信号用二级相移键控 BPSK/四级相移键控 QPSK 的调制方式调制后发送。

3) IEEE 802.11g(2003 年)

IEEE 802.11g 定义在 2.4GHz 的 ISM 频段,但最高速率达到与 IEEE 802.11a 同样的 54Mb/s,向后兼容 IEEE 802.11b。

IEEE 802.11g 同时支持 IEEE 802.11b 的使用 CCK 的 HR-DSSS 技术和 IEEE 802.11a 的 OFDM 技术。IEEE 802.11g 向后兼容 IEEE 802.11b,它们的站点可以共存于一个 BSS 中互相通信,IEEE 802.11g 价格上也有优势,这使得 IEEE 802.11a 逐渐淡出市场。

常用的 IEEE 802.11b 和 IEEE 802.11g 都是使用 2.4GHz ISM 频段(2.4~2.485GHz),带宽为 85MHz,划分为 14 个信道,相邻信道的中心频率相距 5MHz。一般都采用第 1、6 和 11 3 个频道,信道带宽为 20MHz,这种情形下,它们之间的相互影响很小。

4) IEEE 802.11n(2009 年)

IEEE 802.11n WLAN 的最高传输速率可达 600Mb/s,100Mb/s 传输速率下传输距离最大可达几千米。IEEE 802.11n 协议为双频工作模式,可运行于 2.4GHz 和 5GHz 频段,向后兼容 IEEE 802.11a/b/g。

IEEE 802.11a/b/g 使用 20MHz 的信道带宽,而 IEEE 802.11n 定义了 20/40MHz 两种信道带宽。在双倍的 40MHz 带宽情况下,可以实现最高传输速率达 600Mb/s。

IEEE 802.11n 的核心技术是 MIMO 与 OFDM。MIMO(Multiple Input Multiple Output)即多输入多输出,是 20 世纪末由贝尔实验室提出的,在发射端和接收端均采用多天线系统。MIMO 将传输数据分割之后,经过多个独立的天线经由多个空间信道并行发

送,接收端也具备多个天线进行接收,并将分割的数据重新组合起来。这大幅改善了传输质量。IEEE 802.11n 支持的最大天线数是 4×4 ,即 4 对发送天线和 4 对接收天线。

5) 双频多模 WLAN

IEEE 802.11 工作组先后推出了 IEEE 802.11a/b/g/n 等物理层标准,提升了 WLAN 的性能,同时也引起了网络兼容性的问题。双频模式指可工作在 2.4GHz 和 5GHz 两种频率的自适应方式,可自动辨认 IEEE 802.11a 和 IEEE 802.11b 信号并支持漫游连接。后来,双频产品也将 IEEE 802.11g/n 标准融入其中,例如同时支持 IEEE 802.11a/b/g 或 IEEE 802.11b/g/n,成为全方位的解决方案,称为双频多模(dual band and multimode)WLAN。

6) IEEE 802.11ac(2013 年)和 IEEE 802.11ad(2012 年)

IEEE 802.11ac 继续工作在 5.0GHz 频段上以保证向下兼容性,数据传输通道会大幅扩充,信道带宽在 20MHz 的基础上增至 40MHz、80MHz 乃至 160MHz,最高传输速率可达 1Gb/s。

IEEE 802.11ac 采用并扩展了 IEEE 802.11n 的技术: MIMO 的最大天线数扩大到 8×8 ,采用更高级别的调制解调技术 256QAM。

IEEE 802.11ad 使用 60GHz 频段,支持高达 7Gb/s 的数据传输速率。与 2.4/5GHz 两种频段相比,60GHz 频段有更多频谱可供使用,从而能够支持高达 7Gb/s 的传输速率。IEEE 802.11ad 适合室内短距离连接,应用于包括视频在内的多媒体信息传输。

5.1.3 IEEE 802.11 MAC 层帧和帧格式

1. 3 种类型的帧

① 管理帧。实现站点和 AP 间的通信管理,建立关联、越区切换和认证等,主要包括:

- 探测请求/响应帧,信标帧。
- 关联请求/响应帧,重关联请求/响应帧,去关联帧。
- 认证/解除认证帧等。

② 控制帧。为数据发送提供辅助的握手联络功能,主要有:

- 请求发送帧(Request To Send,RTS)。
- 允许发送帧(Clear To Send,CTS)。
- 确认帧(ACK)。
- 节能轮询帧等。

③ 数据帧。用于发送数据。

2. 数据帧

各种 MAC 帧均包含帧头 Header、帧体 Frame Body 和 CRC 校验码,具体帧格式有所不同。数据帧的格式如图 5.8 所示,帧体前面的字段为帧头。

① 帧控制。分为以下字段。

- 协议版本:使用协议的版本号。
- 类型:注明帧的功能,如类型包括管理/控制。
- 子类:关联请求/ACK。
- To DS: 为“1”代表 BSS 中的站点传给 DS 的数据帧。
- From DS: 为“1”代表 DS 传给 BSS 中的站点的数据帧。

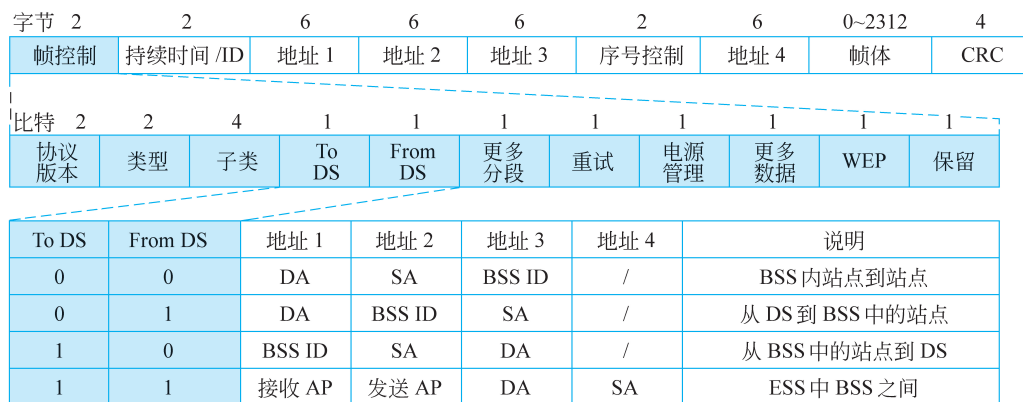


图 5.8 数据帧的帧格式

- 更多分段：为“1”代表该帧后边有其他分段。
- 重试：为“1”代表重传的帧。
- 电源管理：表示电源的工作模式，休眠/唤醒状态。
- 更多数据：当站点处于休眠模式，AP 通知它还有缓存的数据帧要传送给它。
- WEP：有线等效保密(Wired Equivalent Privacy, WEP)协议是一种数据加密算法，使用该算法加密的帧其值为 1。WEP 的安全性较差，被更全的 WPA (WiFi Protected Access)或其第 2 版本 WPA2 逐步代替，WPA2 是 802.11n 中强制执行的加密方案。WPA 可以保证 WLAN 用户受保护，并且只有授权用户才可以访问 WLAN。

② 持续时间/ID。一般表示媒体接入持续时间，提供网络分配向量(NAV)。一个例外是在节能轮询帧中表示站点的 ID。

③ 地址。4 个地址都是 6 字节的 IEEE 802 MAC 地址，可以是单/组/广播地址。根据帧控制字段的 To DS 和 From DS 的取值，4 个地址表示不同的含义，如图 5.8 所示。这里 SA 和 DA 分别表示源地址和目的地址。To DS 和 From DS 实际上是 To AP 和 From AP。BSS ID 一般由该 BSS 中的 AP 的 MAC 地址表示。

④ 序号控制。表示帧的序号空间(12b)和帧的分段序号(4b)。802.11 支持帧的分段与重组，虽然这会带来额外开销，但在无线传输存在较大干扰或发送拥挤的情况下，重传因干扰或冲突损坏的短分段比重传损坏的长帧更划算。同一帧的各分段，有相同的帧序号和不同的段序号。

⑤ 帧体。包含要传输的数据，0~2312 字节。

⑥ CRC。循环冗余校检码，用于差错检验。

3. 管理帧

管理帧的格式比数据帧简单，如图 5.9 所示。



图 5.9 管理帧的帧格式

4. 控制帧

控制帧的格式更简单,RTS 为 20 字节,CTS 和 ACK 均为 14 字节,如图 5.10 所示。

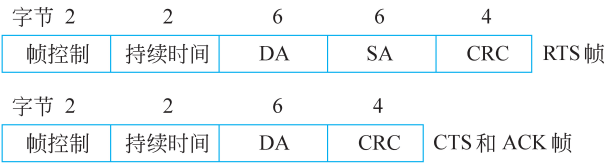


图 5.10 控制帧的帧格式

5.1.4 IEEE 802.11 MAC 层 DCF

1. 无线信道的特点

WLAN 使用无线电波传输,自由空间作为传输共享的无导向媒体,有以下特点可以影响媒体接入控制方式。

1) 隐蔽站点问题

WLAN 使用自由空间作为传输的共享媒体,可能产生发送冲突,这和有线以太网是一样的。但又有不同之处。WLAN 中,由于信号强度随着传输距离增长快速衰减或无线站点之间可能有传输屏障等因素,超出接收范围或被物体屏蔽的站点将接收不到信号,导致了所谓的隐蔽站点问题(hidden station problem)。

图 5.11 说明隐蔽站点问题。图 5.11(a)中,假设无线电信号的传输范围因衰减只能到达邻站。A 站先向 B 站发送数据。由于 C 收不到 A 的信号,误认为网上无人发送,因此 C 站也向 B 站发送数据。B 同时收到 A 和 C 的数据(图中实线所示),产生了冲突。图 5.11(b)中,A、B 和 C 3 个站都在信号的有效传输距离之内,但 A 和 C 之间有一个信号屏蔽物,也会产生同样的后果。

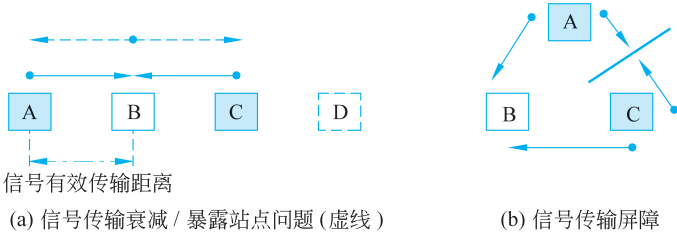


图 5.11 WLAN 的隐蔽站点问题/暴露站点问题

如果两个隐蔽站点同时发送数据,CSMA 发送前监听不到对方的信号,但发送后会在其他站点产生冲突,两个同时发送数据的隐蔽站点也都无法检测到发送冲突,冲突检测失去效果。另外,对于无线射频信号,进行冲突检测(需边发送边接收)也非常难实现。因而 WLAN 不能采用 CSMA/CD,而采用了 CSMA/CA。

2) 暴露站点问题

另外,WLAN 中还存在暴露站点问题(exposed station problem)。假设图 5.11(a)中,C 的右边还有一个 D 站,C 有数据向 D 发送。但 B 先向 A 发送了数据,C 也能监听到 B 的信号(图中虚线所示),B 暴露给 C。于是 C 怕引起相互干扰不敢再进行发送。实际上,B 向 A 发送并不影响 C 向 D 发送数据。在不发生干扰的情况下,WLAN 可以设计成允许多个移

动站进行通信,这有别于有线 LAN。

2. 帧间间隔(Inter Frame Space, IFS)

1) 3 种 IFS

为了协调 DCF 和 PCF 的操作,尽量避免冲突,IEEE 802.11 定义了 3 种 IFS:

① 短帧间间隔(Short IFS, SIFS)。是 3 种 IFS 中最短的,确认 ACK 帧、CTS 帧和分片后的数据帧等使用。

② 点协调功能帧间间隔(PCF IFS, PIFS)。PCF 轮询时使用。在 SIFS 的基础上加上一个时隙长度。时隙还用在后面要讲到的退避算法中。

③ 分布调功帧间间隔(DCF IFS, DIFS)。在 DCF 方式中使用,在 PIFS 的基础上加上一个时隙长度,是最长的 IFS。发送数据帧一般使用 DIFS。

2) IFS 的作用

欲发送的站点先监听信道是否忙,如果信道空闲,就具备了占用信道进行发送的条件。但信道由忙变空闲的瞬间,是发送冲突的高发时间。MAC 监听到信道空闲后,要继续监听一个 IFS,若信道仍然空闲,就进行发送。这样,若多个站点同时监听到信道空闲,小的 IFS 将先占用信道得到发送权,大的 IFS 随后就将监听到信道忙,只得推迟发送。

可见,不同的 IFS 将帧划分为不同的优先级,IFS 越小优先级就越高,实现基于 IFS 的优先级信道接入,同时不同的 IFS 可以避免发生发送冲突。

3. CSMA/CA 工作机制

1) CSMA/CA 数据帧发送过程

CSMA/CA 数据帧发送过程如图 5.12 所示,包括的步骤可以是①、③或①、②、③。

① 载波监听。设置重传次数初值,准备发送。发送前须先监听信道,有以下两种情况。

a. 信道空闲(无帧发送),继续监听一个 IFS(实现基于 IFS 的优先级接入),若信道仍然空闲,转入③进行发送;若信道变忙(此刻有高优先级的帧也要发送),则转入②。

b. 信道忙(有帧发送),转入②。

② 执行退避算法,争用信道。分以下 3 步。

a. 计算一个随机的退避时间(截断式二进制指数退避算法),用它设置退避定时器(Backoff Timer, BT)的初值。

b. 继续监听信道,有两种情况。

- 信道变空闲(其他帧已发完),继续监听一个 IFS(实现基于 IFS 的优先级接入),若信道仍然空闲,转入②-c;若信道变忙(此刻有高优先级的帧也要发送),返回②-b。
- 信道仍忙(其他帧未发完),返回②-b。

c. 进入争用窗口(Contention Windows, CW),BT 倒计时,CW 中执行退避算法。进入 CW 的站点(可能有多个竞争发送)持续监听信道,有两种情况。

- 信道持续空闲,BT 倒计时,直至减到 0(本次 CW 中,没有 BT 时间更短的站点),转入③进行发送。
- 监听过程中信道变忙(本 CW 中,有 BT 时间更短的站点先减到 0 发送数据),BT 倒计时未减到 0,则暂停(冻结)BT,转回②-b。(冻结的 BT 进入下一个 CW 又重启后,BT 将在上一个 CW 剩余时间的基础上继续倒计时。这种方式有利于各站点公平地争用信道,平均讲是一种先来先服务的原则。)