



# 计算机网络（第 5 版）

---

## 第 9 章 无线网络



# 第 9 章 无线网络

---

## 9.1 无线局域网 WLAN

### 9.1.1 无线局域网的组成

### 9.1.2 802.11 标准中的物理层

### 9.1.3 802.11 标准中的 MAC 层

### 9.1.4 802.11 标准中的 MAC 帧

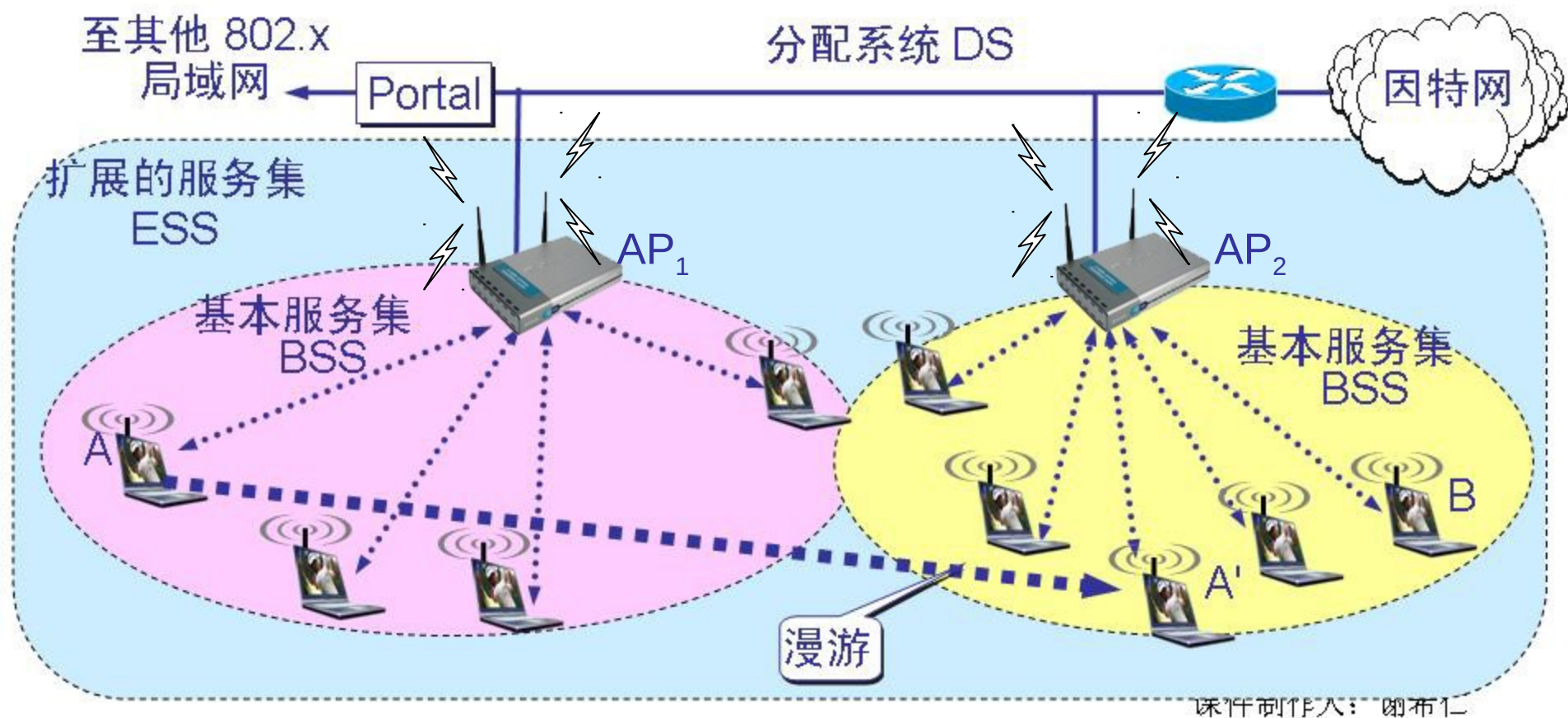
## 9.2 无线个人区域网 WPAN

## 9.3 无线城域网 WMAN

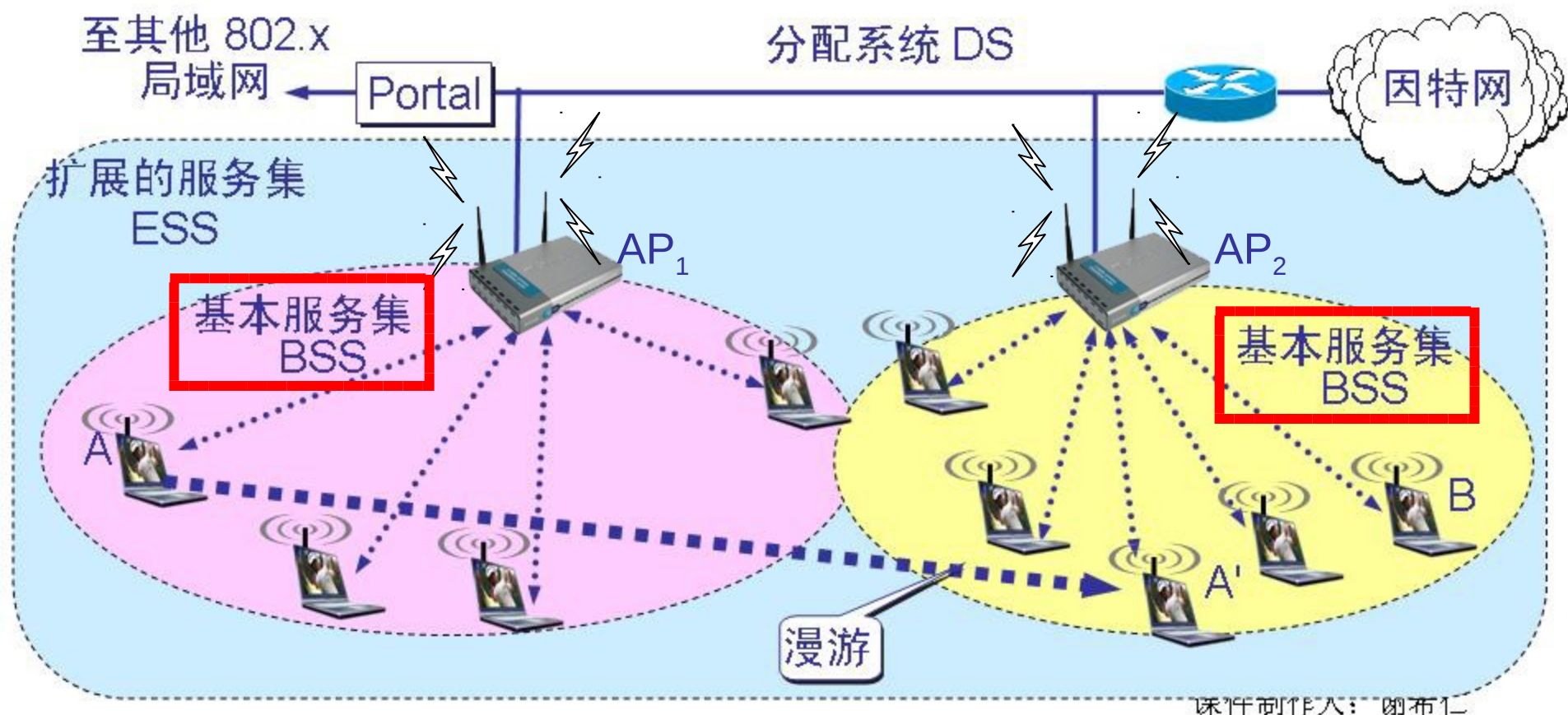
# 9.1 无线局域网

## 9.1.1 无线局域网的组成

- 有固定基础设施的无线局域网

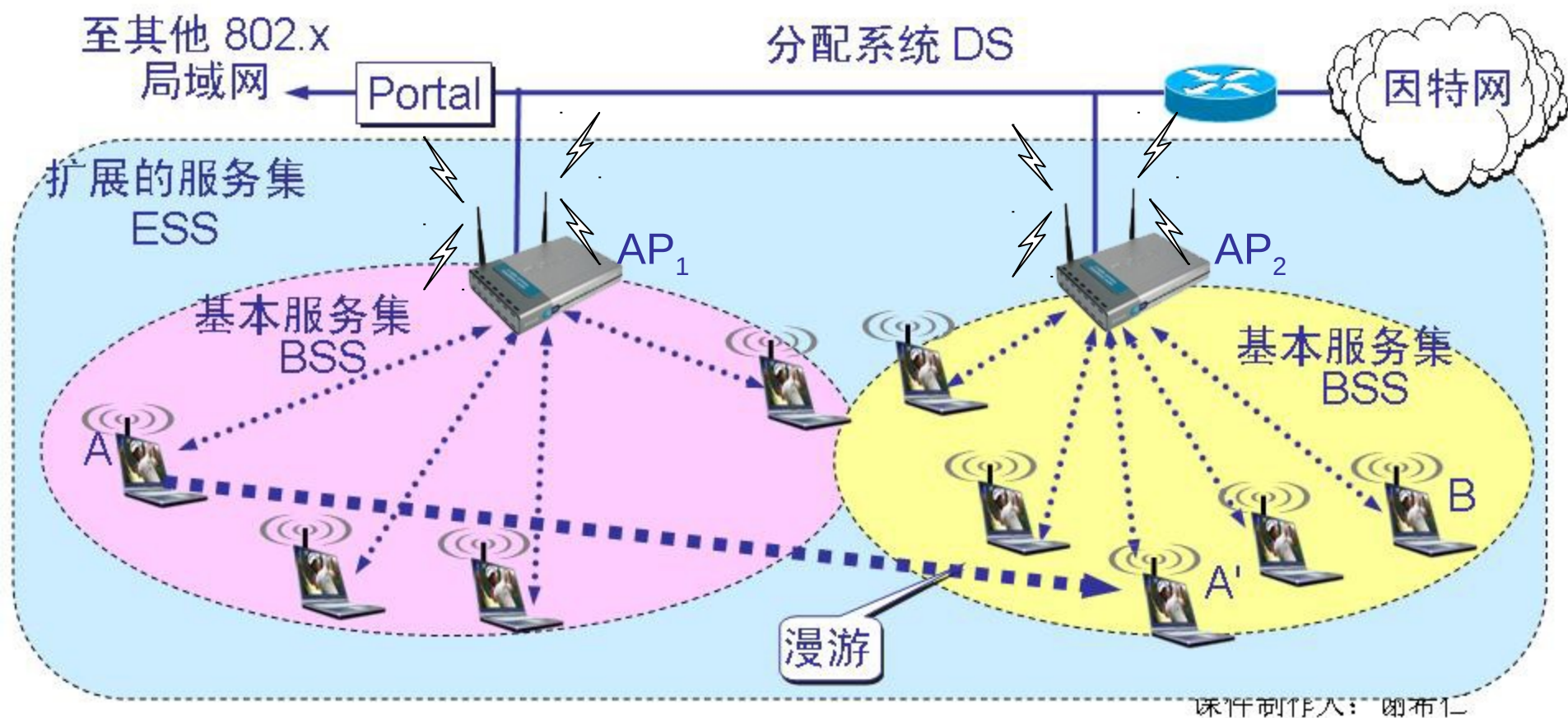


一个基本服务集 BSS 包括一个基站和若干个移动站，  
所有的站在本 BSS 以内都可以直接通信，  
但在和本 BSS 以外的站通信时，  
都要通过本 BSS 的基站。



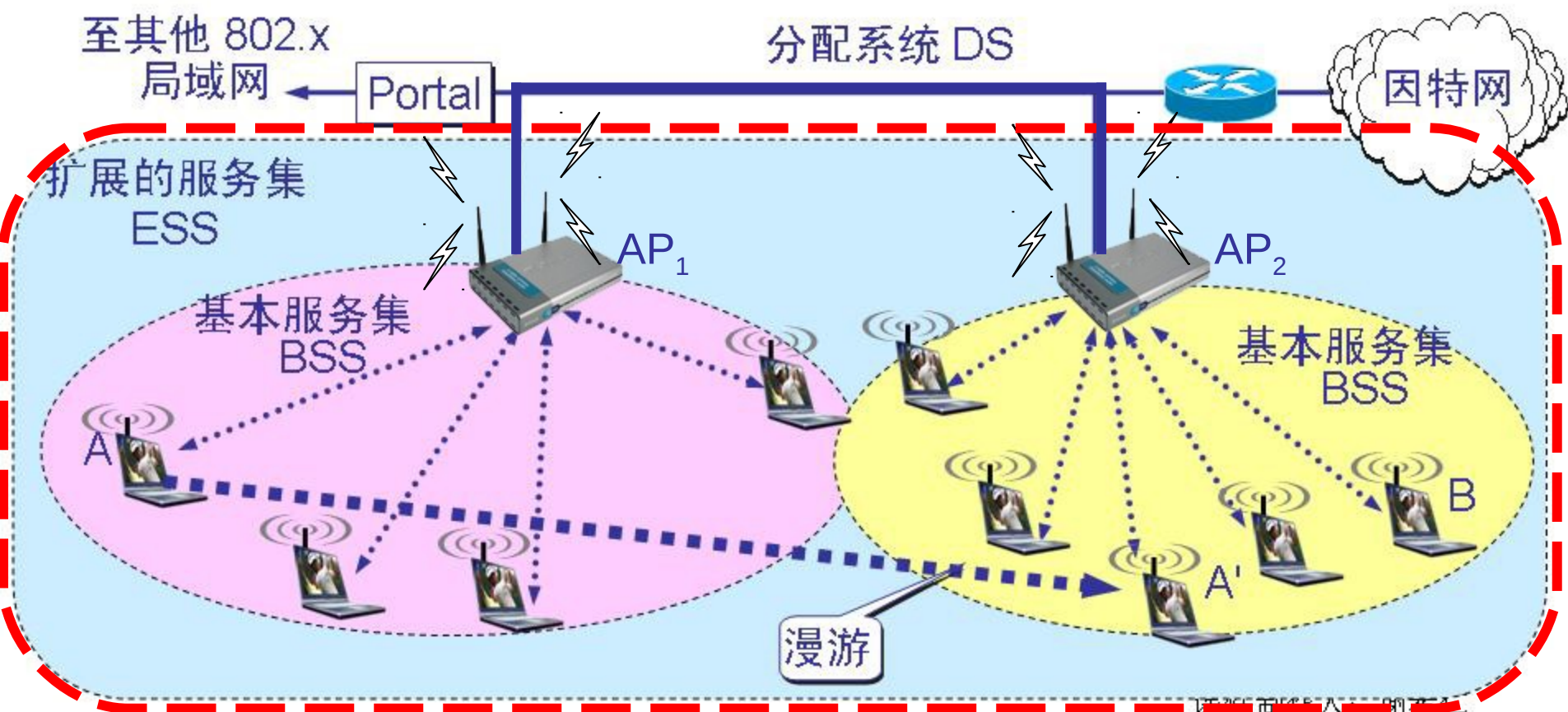
基本服务集内的基站叫做**接入点 AP** (Access Point)  
其作用和网桥相似。

当网络管理员安装 AP 时，必须为该 AP 分配  
一个不超过 32 字节的**服务集标识符 SSID** 和一个**信道**。

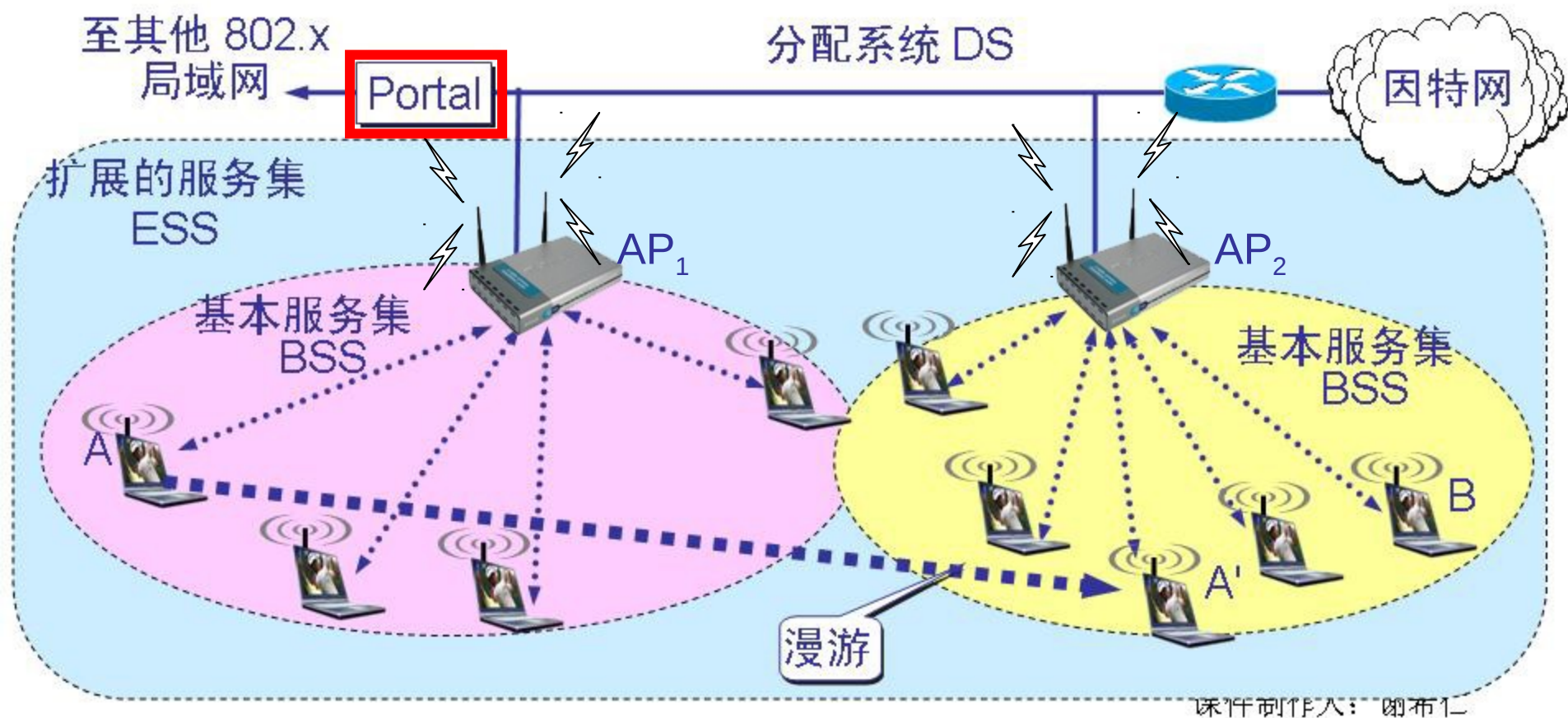




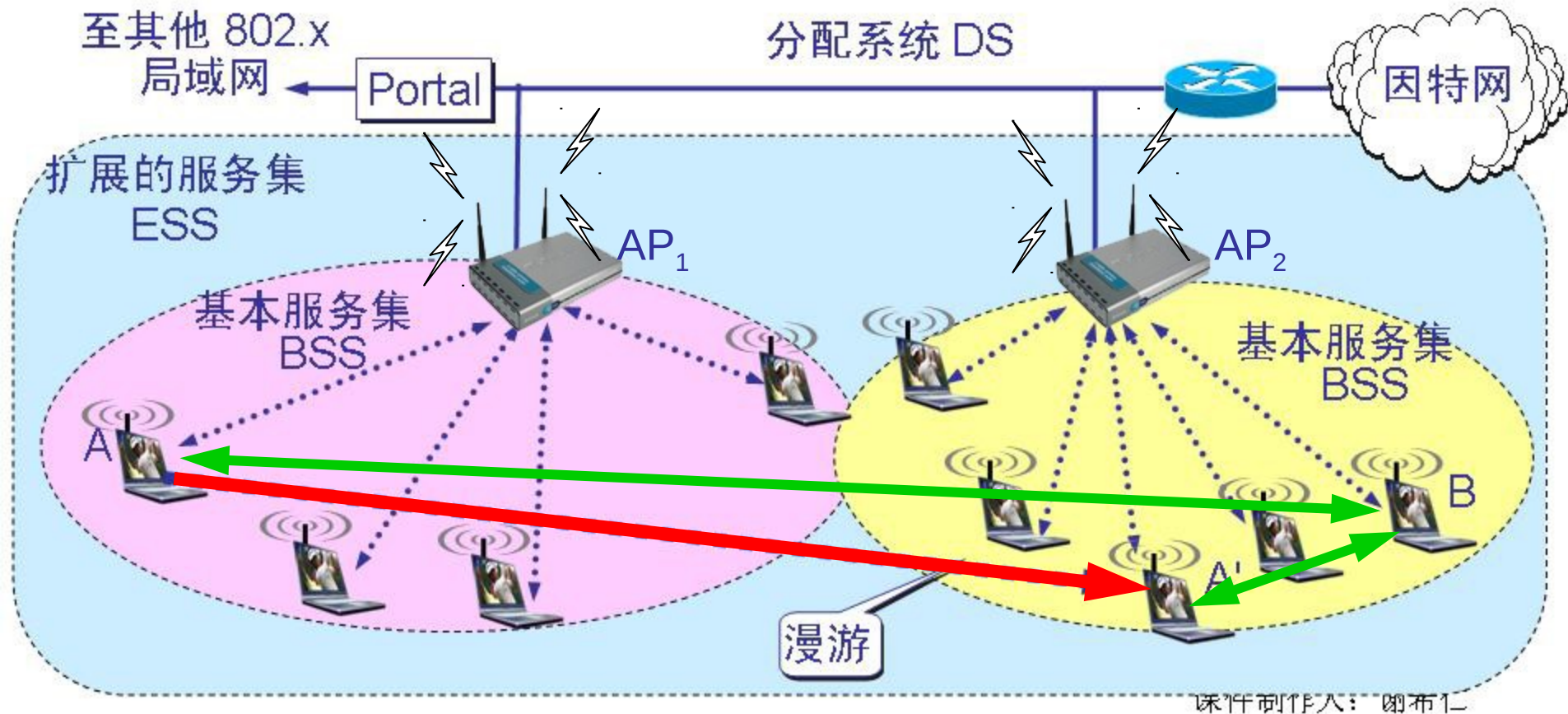
一个基本服务集可以是孤立的，也可通过接入点 AP 连接到一个主干**分配系统** DS (Distribution System)，然后再接入到另一个基本服务集，构成**扩展的服务集** ESS (Extended Service Set)。



ESS 还可通过叫做**门户** (portal) 为无线用户提供到非 802.11 无线局域网（例如，到有线连接的因特网）的接入。门户的作用就相当于一个网桥。



移动站 A 从某一个基本服务集漫游到另一个基本服务集（到 A' 的位置），仍可保持与另一个移动站 B 进行通信。







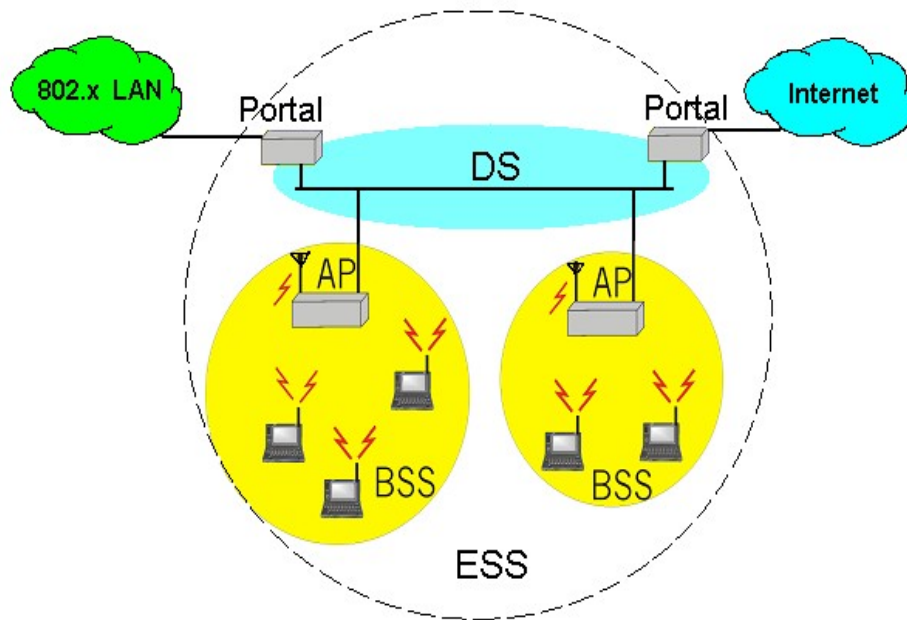
# 与接入点 AP

## 建立关联 (association)

---

- 一个移动站若要加入到一个基本服务集 BSS，就必须先选择一个接入点 AP，并与此接入点建立关联。
- 建立关联就表示这个移动站加入了选定的 AP 所属的子网，并和这个 AP 之间创建了一个虚拟线路。
- 只有关联的 AP 才向这个移动站发送数据帧，而这个移动站也只有通过关联的 AP 才能向其他站点发送数据帧。

- **BSS** : 基本服务集 (covered area is called BSA, 基本服务区 ) contains:
  - **wireless hosts**
  - **access point** (AP , 接入点, 作用类似网桥)
- **BSS** 通过 AP 连接到 **distribution system (DS)** 就组成 **Extended Service Set (ESS, 扩展服务集)**



**DS (主干分配系统) :**  
can be Ethernet,  
point-to-point link,  
or other wireless  
network

**Portal(门桥) :**  
作用相当于网桥 ,  
为无线用户提供到非 802.11 无线局域网的接入 (如到有线局域网或到 Internet)



# 移动站与 AP 建立关联的方法

---

- **被动扫描**，即移动站等待接收接入站周期性发出的**信标帧** (beacon frame)。
- 信标帧中包含有若干系统参数（如服务集标识符 SSID 以及支持的速率等）。
- **主动扫描**，即移动站主动发出**探测请求帧** (probe request frame)，然后等待从 AP 发回的**探测响应帧** (probe response frame)。



# 热点 (hot spot)

---

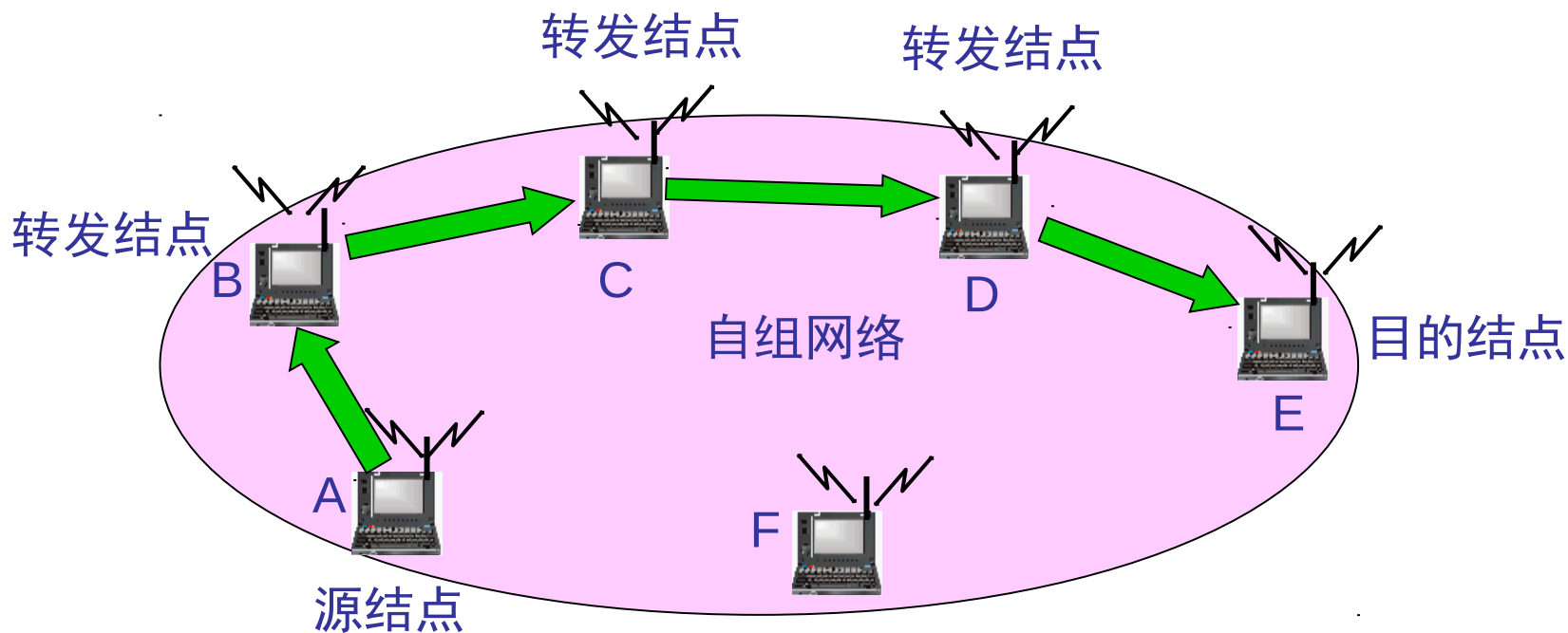
- 现在许多地方，如办公室、机场、快餐店、旅馆、购物中心等都能够向公众提供有偿或无偿接入 Wi-Fi 的服务。这样的地点就叫做**热点**。
- 由许多热点和 AP 连接起来的区域叫做**热区** (hot zone)。热点也就是公众无线入网点。
- 现在也出现了**无线因特网服务提供者** WISP (Wireless Internet Service Provider) 这一名词。用户可以通过无线信道接入到 WISP，然后再经过无线信道接入到因特网。



## 2. 移动自组网络

又称**自组网络** (ad hoc network)

自组网络是没有固定基础设施（即没有 AP）的无线局域网。这种网络由一些处于平等状态的移动站之间相互通信组成的临时网络。





# 移动自组网络的应用前景

---

- 在军事领域中，携带了移动站的战士可利用临时建立的移动自组网络进行通信。
- 这种组网方式也能够应用到作战的地面车辆群和坦克群，以及海上的舰艇群、空中的机群。
- 当出现自然灾害时，在抢险救灾时利用移动自组网络进行及时的通信往往很有效的，



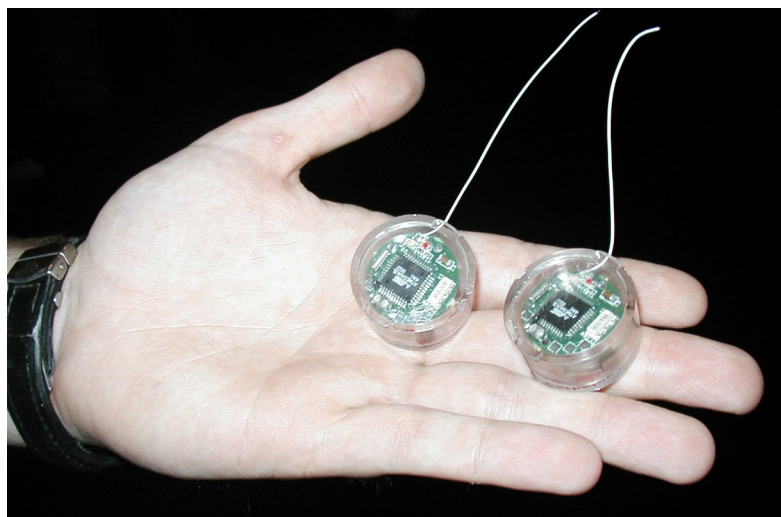
# 无线传感器网络 WSN (Wireless Sensor Network)

---

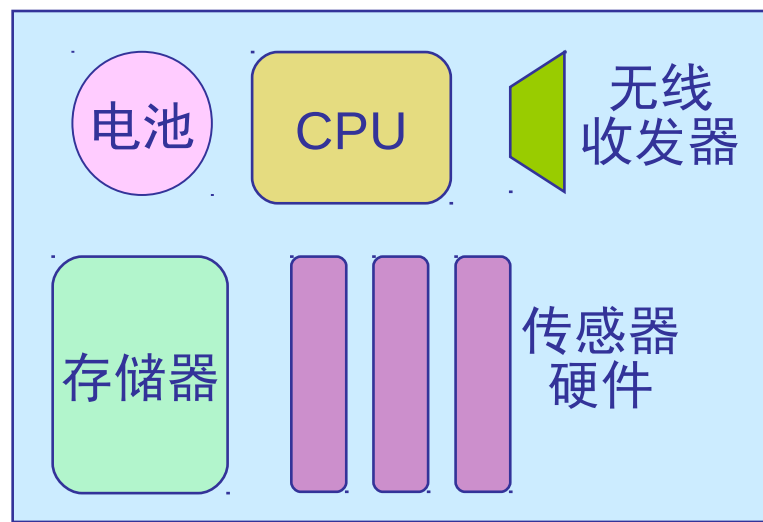
- 由大量**传感器**结点通过无线通信技术构成的自组网络。
- 无线传感器网络的应用是进行各种数据的采集、处理和传输，一般并不需要很高的带宽，但是在大部分时间必须保持低功耗，以节省电池的消耗。
- 由于无线传感结点的存储容量受限，因此对协议栈的大小有严格的限制。
- 无线传感器网络还对网络安全性、结点自动配置、网络动态重组等方面有一定的要求。

# 传感器结点的形状 (a) 和组成

## (b)



(a)



(b)





# 无线传感器网络主要的应用领域

---

- 环境监测与保护（如洪水预报、动物栖息的监控）；
- 战争中对敌情的侦查和对兵力、装备、物资等的监控；
- 医疗中对病房的监测和对患者的护理；
- 在危险的工业环境（如矿井、核电站等）中的安全监测；
- 城市交通管理、建筑内的温度 / 照明 / 安全控制等。



# 移动自组网络 和移动 IP 并不相同

---

- 移动 IP 技术使漫游的主机可以用多种方式连接到因特网。
- 移动 IP 的核心网络功能仍然是基于在固定互联网中一直在使用的各种路由选择协议。
- 移动自组网络是将移动性扩展到无线领域中的自治系统，它具有自己特定的路由选择协议，并且可以不和因特网相连。



# 几种不同的接入

---

- **固定接入** (fixed access)—— 在作为网络用户期间，用户设置的地理位置保持不变。
- **移动接入** (mobility access)—— 用户设置能够以车辆速度移动时进行网络通信。当发生切换时，通信仍然是连续的。
- **便携接入** (portable access)—— 在受限的网络覆盖面积中，用户设备能够在以步行速度移动时进行网络通信，提供有限的切换能力。
- **游牧接入** (nomadic access)—— 用户设备的地理位置至少在进行网络通信时保持不变。如用户设备移动了位置，则再次进行通信时可能还要寻找最佳的基站



## 9.1.2 802.11 局域网的物理层

---

- 802.11 无线局域网可再细分为不同的类型。
- 现在最流行的无线局域网是 802.11b，而另外两种（802.11a 和 802.11g）的产品也广泛存在。
- 802.11 的物理层有以下几种实现方法：
  - 直接序列扩频 DSSS
  - 正交频分复用 OFDM
  - 跳频扩频 FHSS（已很少用）
  - 红外线 IR（已很少用）





# 几种常用的 802.11 无线局域网

标准	频段	数据速率	物理层	优缺点
802.11b	2.4 GHz	最高为 11 Mb/s	HR-DSSS (高速直接序列扩频)	最高数据率较低，价格最低，信号传播距离最远，且不易受阻碍
802.11a	5 GHz	最高为 54 Mb/s	OFDM	最高数据率较高，支持更多用户同时上网，价格最高，信号传播距离较短，且易受阻碍
802.11g	2.4 GHz	最高为 54 Mb/s	OFDM	最高数据率较高，支持更多用户同时上网，信号传播距离最远，且不易受阻碍，价格比 802.11b 贵



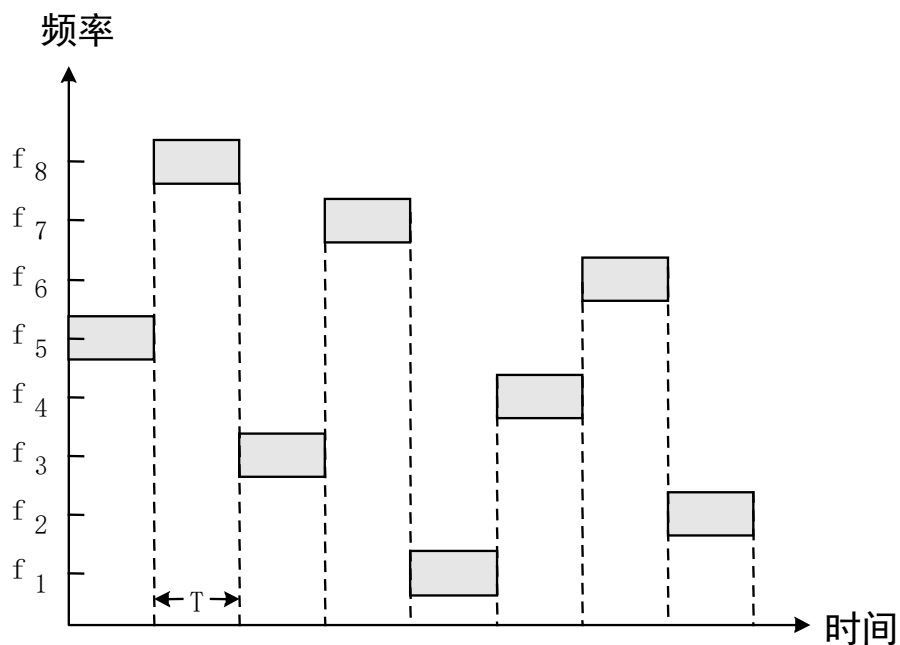
# 正交频分复用技术 - OFDM

---

- 多载波调制的一种。
- 其主要思想是：将信道分成若干正交子信道，将高速数据信号转换成并行的低速子数据流，调制到在每个子信道上进行传输。正交信号可以通过在接收端采用相关技术来分开，这样可以减少子信道之间的相互干扰。每个子信道上的信号带宽小于信道的相关带宽，因此每个子信道上的可以看成平坦性衰落，从而可以消除符号间干扰。而且由于每个子信道的带宽仅仅是原信道带宽的一小部分，信道均衡变得相对容易。

# 跳频通信 (frequency hopping spread spectrum, FHSS)

- ◆ IEEE 802.11 标准规定跳频通信使用 2.4GHz 的工业、科学与医药专用的 ISM 频段；
- ◆ 跳频扩频通信的数据传输速率为 1Mb/s 或 2Mb/s。

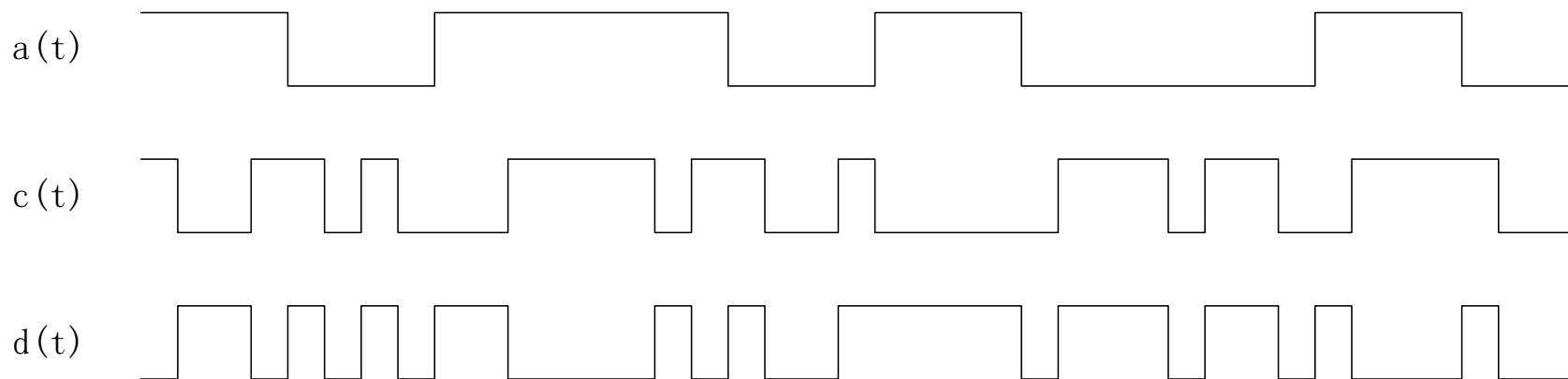


将 835MHz 的频带划分成 79 个子频道，每个频道带宽为 1MHz。信号传输时在 79 个子频道间跳变，调频过程中如果遇到某个频道存在干扰，将绕过该频道。

# 直接序列扩频

(direct sequence spread spectrum, DSSS)

- ◆ 直接序列扩频也使用 2.4GHz 的工业、科学与医药专用的 ISM 频段；
- ◆ 数据传输速率为 1Mb/s 或 2Mb/s；
- ◆ 系统实际发送的信号  $d(t)$  是发送数据  $a(t)$  与伪随机码  $c(t)$  模二加的结果；





# 9.1.3 802.11 局域网的 MAC 层协议

## 1. CSMA/CA 协议

---

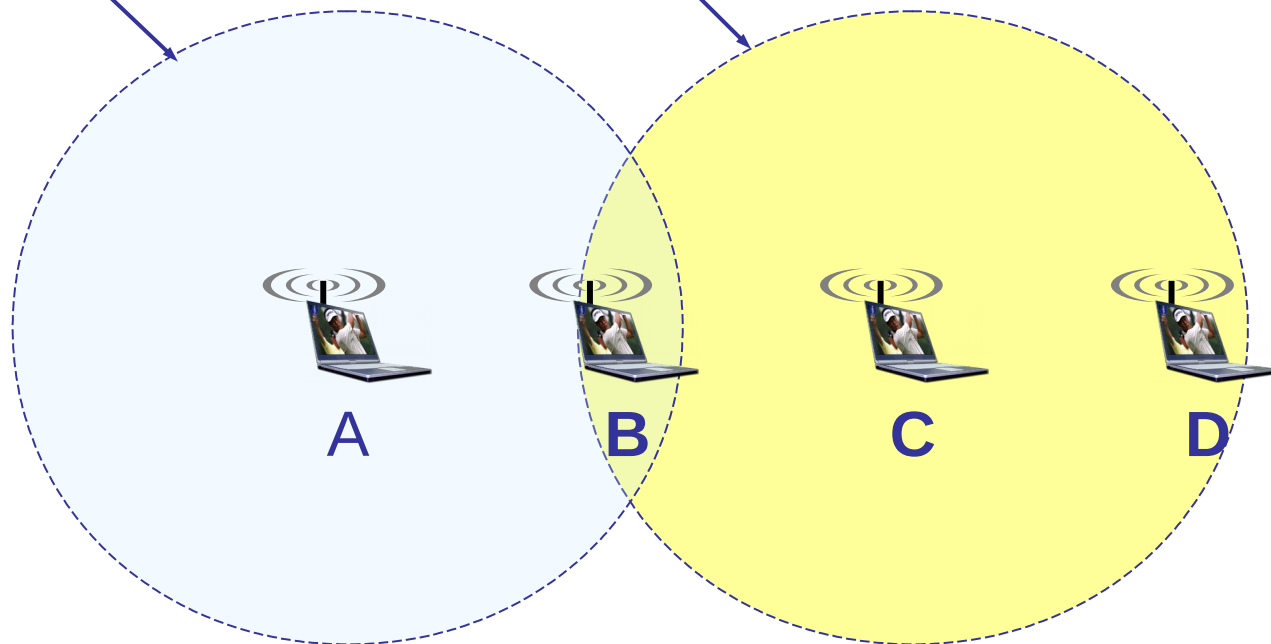
无线局域网却不能简单地搬用 CSMA/CD 协议。这里主要有两个原因。

- CSMA/CD 协议要求一个站点在发送本站数据的同时，还必须不间断地检测信道，但在无线局域网的设备中要实现这种功能就花费过大。
- 即使我们能够实现碰撞检测的功能，并且当我们在发送数据时检测到信道是空闲的，在接收端仍然有可能发生碰撞。

这种未能检测出媒体上已存在的信号的问题叫做**隐蔽站问题** (hidden station problem)

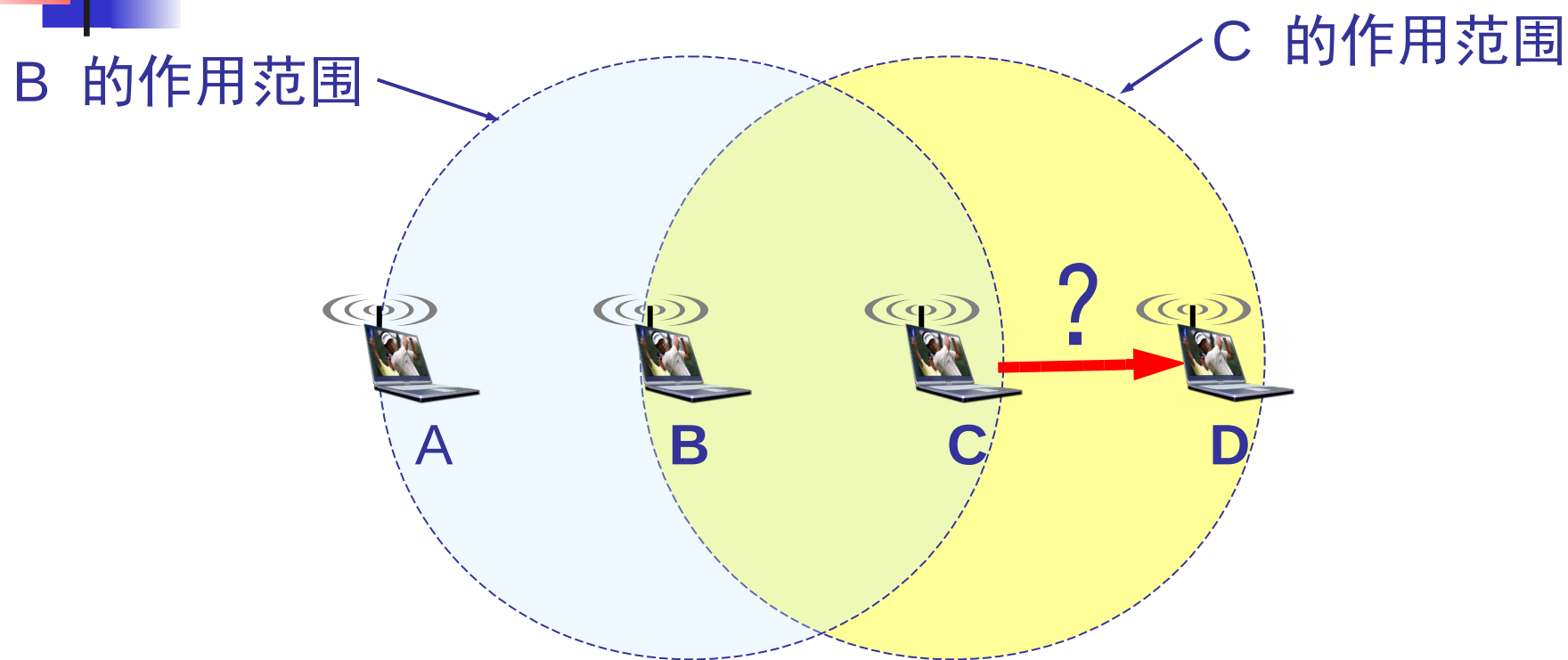
A 的作用范围

C 的作用范围



当 A 和 C 检测不到无线信号时，都以为 B 是空闲的，因而都向 B 发送数据，结果发生碰撞。

其实 B 向 A 发送数据并不影响 C 向 D 发送数据  
这就是**暴露站问题** (exposed station problem)



B 向 A 发送数据，而 C 又想和 D 通信。  
C 检测到媒体上有信号，于是就不敢向 D 发送数据。

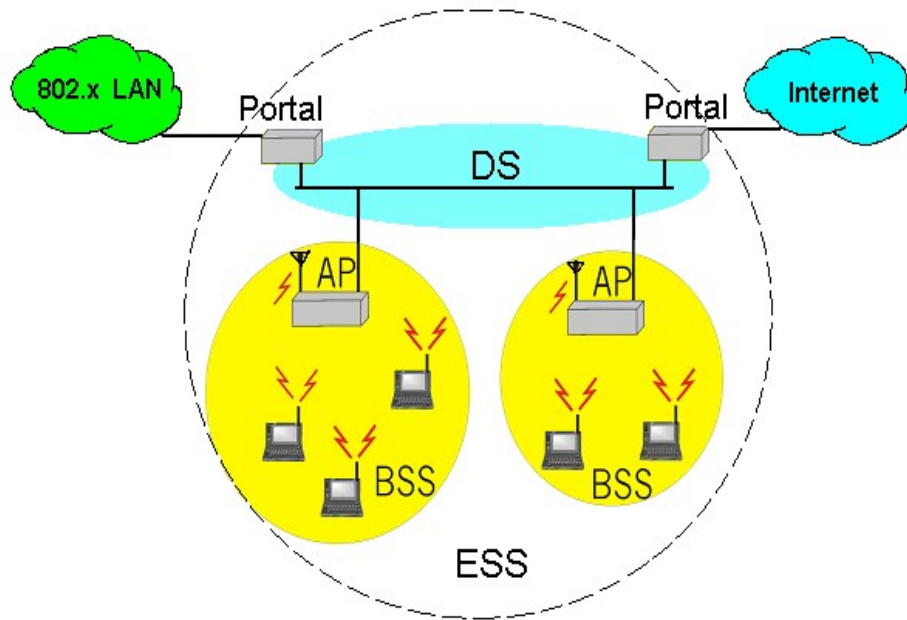


# CSMA/CA 协议

---

- 无线局域网不能使用 CSMA/CD，而只能使用改进的 CSMA 协议。
- 改进的办法是把 CSMA 增加一个**碰撞避免** (Collision Avoidance) 功能。
- 802.11 就使用 CSMA/CA 协议。而在使用 CSMA/CA 的同时，还增加使用**停止等待协议**。
- 下面先介绍 802.11 的 MAC 层。

- **BSS** : 基本服务集 (covered area is called BSA, 基本服务区 ) contain S:
  - **wireless hosts**
  - **access point** (AP , 接入点, 作用类似网桥)
- **BSS** 通过 AP 连接到 **distribution system (DS)** 就组成 **Extended Service Set (ESS, 扩展服务集)**



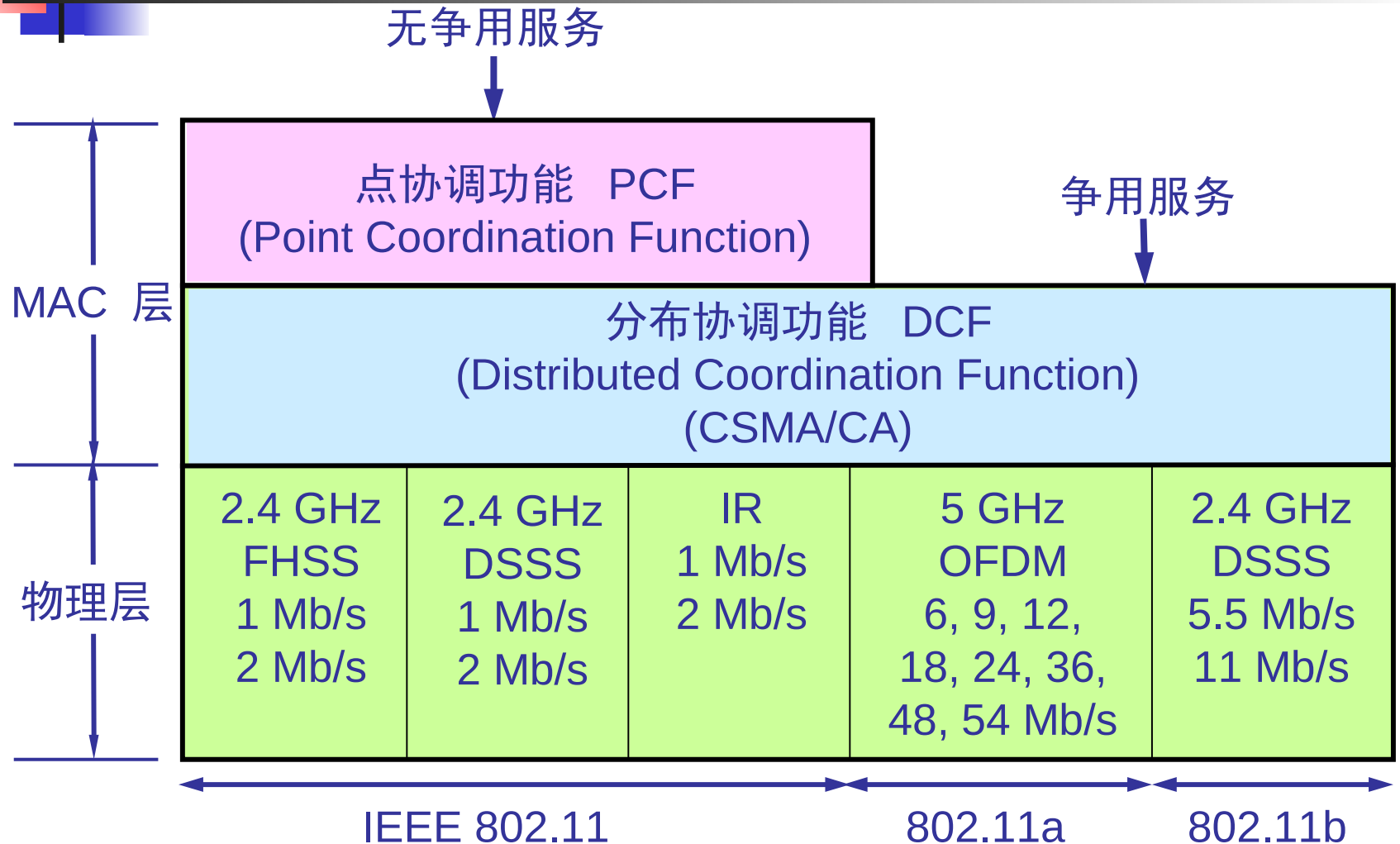
**DS (主干分配系统) :**  
can be Ethernet,  
point-to-point link,  
or other wireless  
network

**Portal(门桥) :**  
作用相当于网桥 ,  
为无线用户提供到非 802.11 无线局域网的接入 (如到有线局域网或到 Internet)

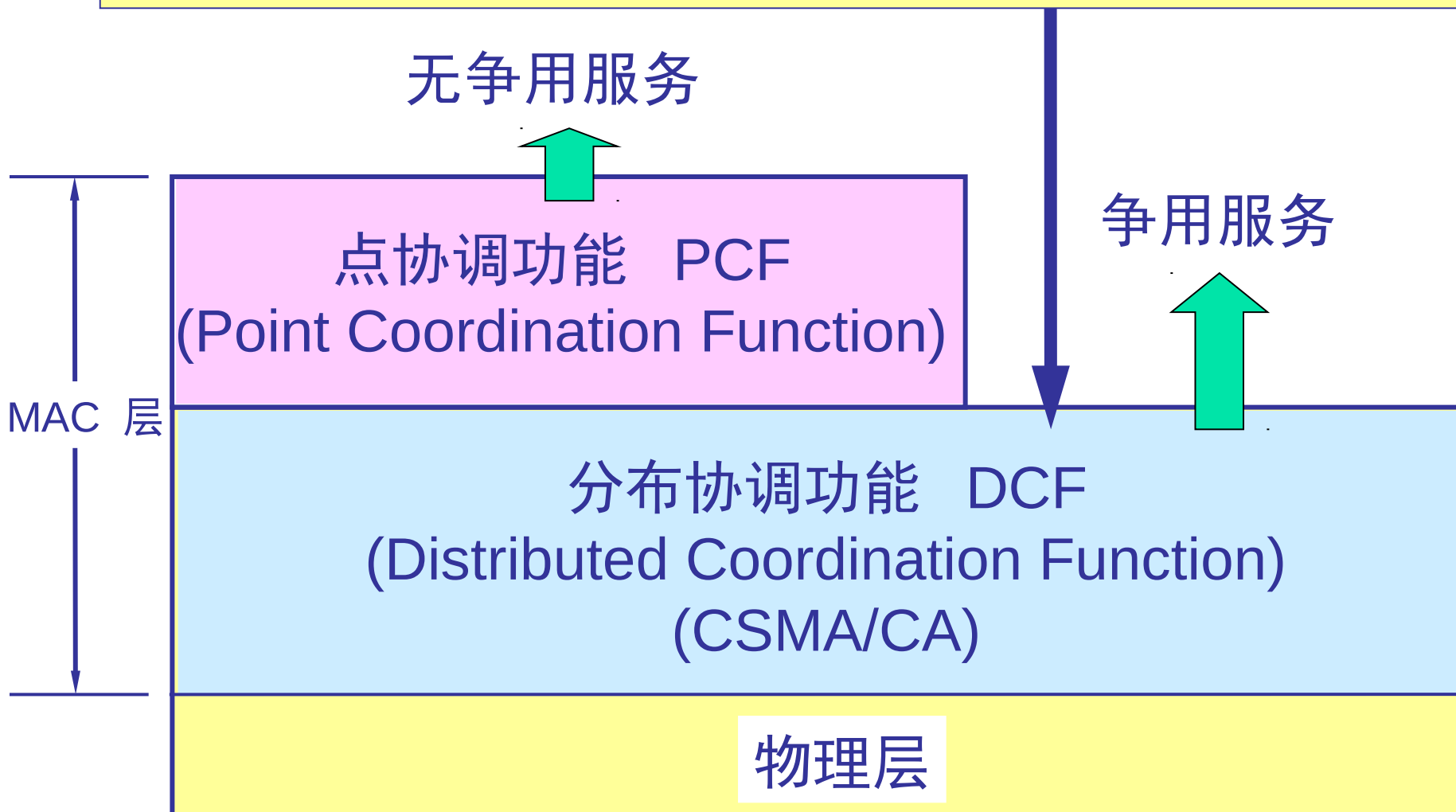


# 802.11 的 MAC 层

MAC 层通过协调功能来确定在基本服务集 BSS 中的移动站在什么时间能发送数据或接收数据。



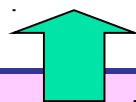
DCF 子层在每一个结点使用 CSMA 机制的  
分布式接入算法，让各个站通过争用信道来  
获取发送权。因此 DCF 向上提供争用服务。



PCF 子层使用集中控制的接入算法把发送数据  
权

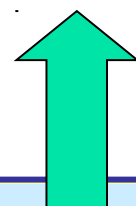
轮流交给各个站从而避免了碰撞的产生

无争用服务



点协调功能 PCF  
(Point Coordination Function)

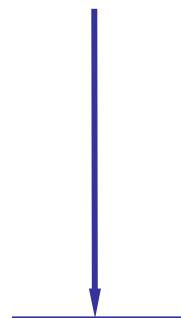
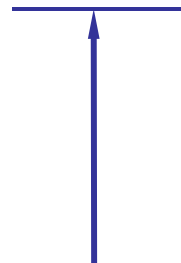
争用服务



分布协调功能 DCF  
(Distributed Coordination Function)  
(CSMA/CA)

物理层

MAC 层





# 802.11 协议结构

---

- MAC 算法

- 分布式访问控制协议：适合于地位同等的工作站组成的网络，站点传输具有突发性通信的无线 LAN。采用载波监听方法。
- 中央访问控制协议：适合于由互连的无线站点和连到骨干有线 LAN 的基站所组成的网络，对时间敏感或者具有高优先级数据。采用集中控制方法。

- 802.11 采用的无线 MAC：它即提供了分布式访问控制机制，同时在此基础上提供了一个集中式访问控制选项。



# CSMA/CA 基本工作原理

- ◆ 802.11 的 MAC 层采用的是 **CSMA/CA** (collision avoidance, CA) 的冲突避免方法；
- ◆ **冲突避免** 要求每一个发送结点在发送帧之前需要先侦听信道。如果信道空闲，结点可以发送帧；
- ◆ 发送站在发送完一帧之后，必须再等待一个**短的时间间隔**，检查接收站是否发回帧的确认 ACK。如果接收到确认，则说明此次发送没有出现冲突，发送成功；
- ◆ 如果在规定的时间内没有接收到确认，表明出现冲突，发送失败，重发该帧。直到在规定的最大重发次数之内，发送成功。



# 帧间间隔 IFS

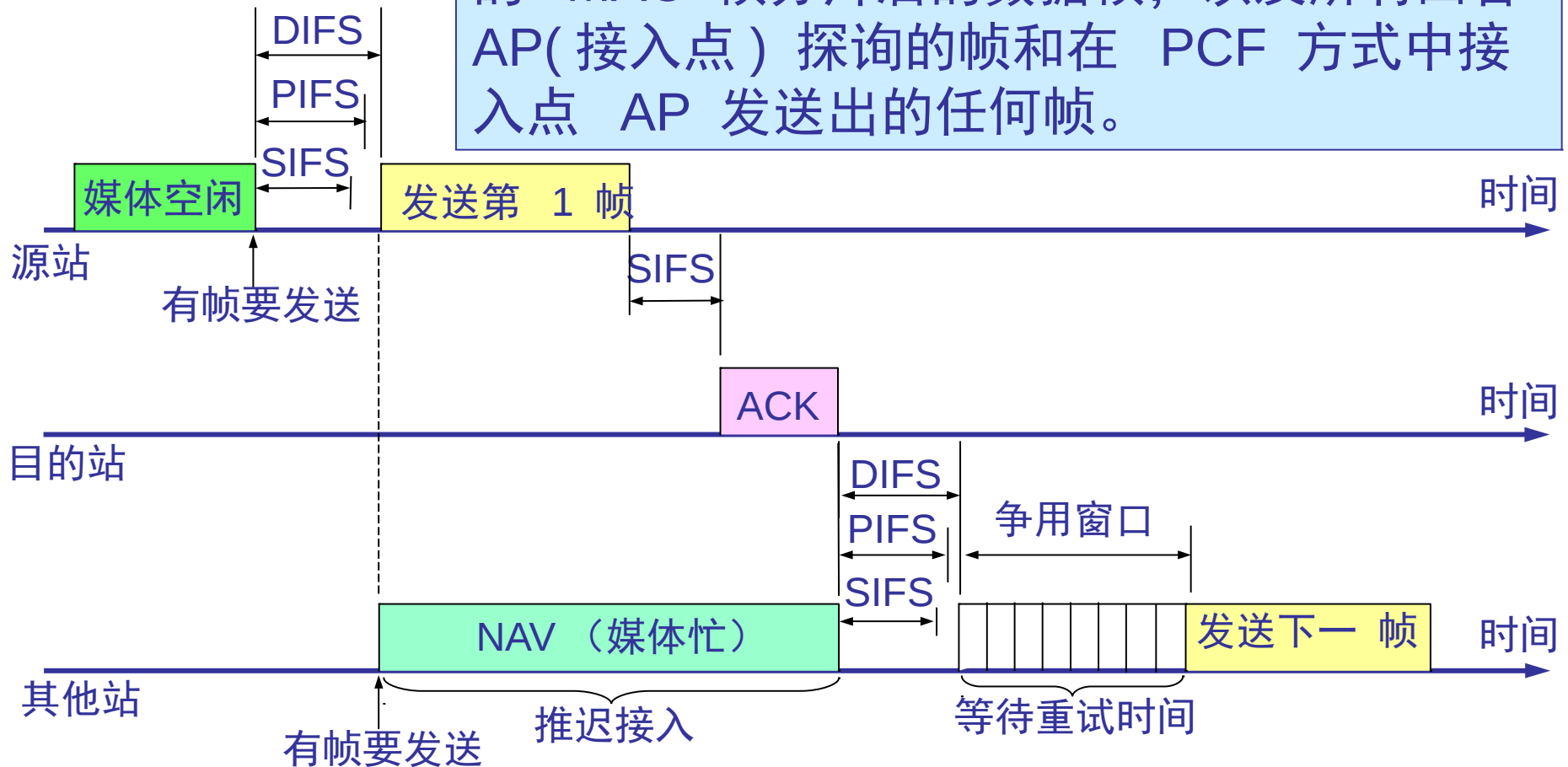
---

- 所有的站在完成发送后，必须再等待一段很短的时间（继续监听）才能发送下一帧。这段时间的通称是**帧间间隔** IFS (InterFrame Space)。
- 帧间间隔长度取决于该站欲发送的**帧的类型**。高优先级帧需要等待的时间较短，因此可优先获得发送权。
- 若低优先级帧还没来得及发送而其他站的高优先级帧已发送到媒体，则媒体变为忙态因而低优先级帧就只能再推迟发送了。这样就减少了发生碰撞的机会。



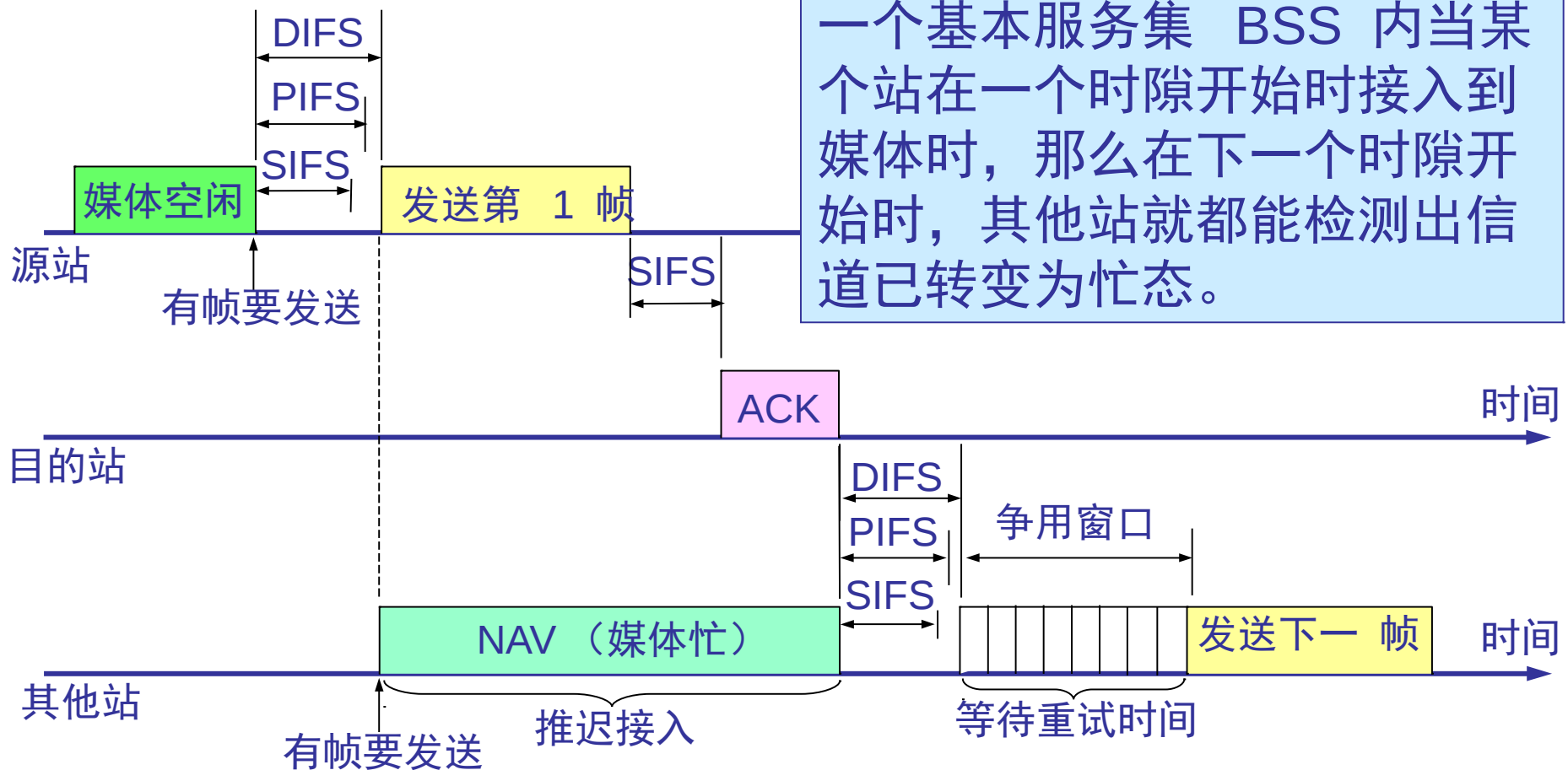
SIFS，即短 (Short) 帧间间隔，长度与物理层为相关（如 FHSS 为  $28\ \mu\text{s}$ ），是最短的帧间间隔，用来分隔开属于一次对话的各帧。一个站应当能够在这段时间内从发送方式切换到接收方式。

使用 SIFS 的帧类型有：ACK 帧、由过长的 MAC 帧分片后的数据帧，以及所有回答 AP(接入点) 询问的帧和在 PCF 方式中接入点 AP 发送出的任何帧。

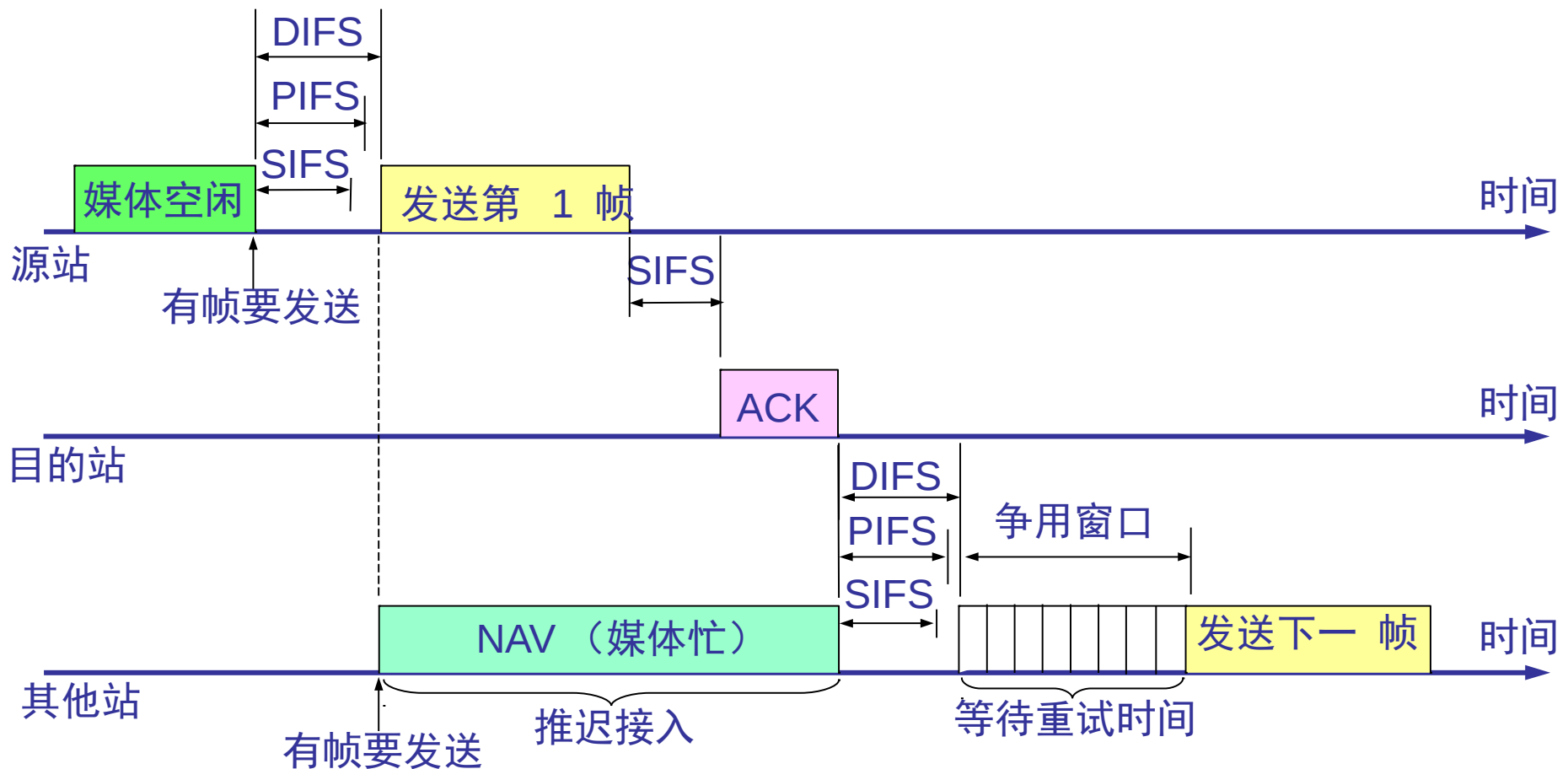


PIFS，即点协调功能帧间间隔（比 SIFS 长），是为了在开始使用 PCF 方式时（在 PCF 方式下使用，没有争用）优先获得接入到媒体中。PIFS 的长度是 SIFS 加一个时隙 (slot) 长度（其长度为  $50\ \mu\text{s}$ ），即  $78\ \mu\text{s}$ （对 FHSS）

时隙的长度是这样确定的：在一个基本服务集 BSS 内当某个站在一个时隙开始时接入到媒体时，那么在下一个时隙开始时，其他站就都能检测出信道已转变为忙态。



DIFS，即分布协调功能帧间间隔（最长的 IFS），在 DCF 方式中用来发送数据帧和管理帧。DIFS 的长度比 PIFS 再增加一个时隙长度，因此 DIFS 的长度为  $128\ \mu\text{s}$ 。





# CSMA/CA 协议的原理

---

- 欲发送数据的站先检测信道。在 802.11 标准中规定了在物理层的空中接口进行物理层的载波监听。
- 通过收到的相对信号强度是否超过一定的门限数值就可判定是否有其他的移动站在信道上发送数据。
- 当源站发送它的第一个 MAC 帧时，若检测到信道空闲，则在等待一段时间 **DIFS** 后就可发送。



# 为什么信道空闲还要再等待

---

- 这是考虑到可能有其他的站有高优先级的帧要发送。
- 如有，就要让高优先级帧先发送。



# 假定没有高优先级帧要发送

---

- 源站发送了自己的数据帧。
- 目的站若正确收到此帧，则经过时间间隔 **SIFS** 后，向源站发送确认帧 ACK。
- 若源站在规定时间内没有收到确认帧 ACK（由重传计时器控制这段时间），就必须重传此帧，直到收到确认为止，或者经过若干次的重传失败后放弃发送。





# 虚拟载波监听

---

- **虚拟载波监听** (Virtual Carrier Sense) 的机制是让源站将它要占用信道的时间（包括目的站发回确认帧所需的时间）通知给所有其他站，以便使其他所有站在这段时间都停止发送数据。
- 这样就大大减少了碰撞的机会。
- “虚拟载波监听”是表示其他站并没有监听信道，而是由于其他站收到了“源站的通知”才不发送数据。



# 虚拟载波监听的效果

---

- 这种效果好像是其他站都监听了信道。
- 所谓“源站的通知”就是源站在其 MAC 帧首部中的第二个字段“持续时间”中填入了在本帧结束后还要占用信道多少时间（以微秒为单位），包括目的站发送确认帧所需的时间。



# 网络分配向量

---

- 当一个站检测到正在信道中传送的 MAC 帧首部的“持续时间”字段时，就调整自己的网络分配向量 NAV (Network Allocation Vector)。
- NAV 指出了必须经过多少时间才能完成数据帧的这次传输，才能使信道转入到空闲状态。



# 争用窗口

---

- 信道从忙态变为空闲时，任何一个站要发送数据帧时，不仅都必须等待一个 **DIFS** 的间隔，而且还要进入争用窗口，并计算随机退避时间以便再次重新试图接入到信道。
- 在信道从忙态转为空闲时，各站就要执行退避算法。这样做就减少了发生碰撞的概率。
- 802.11 使用二进制指数退避算法。



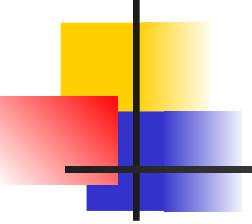
# 二进制指数退避算法

---

- 第  $i$  次退避就在  $2^{2+i}$  个时隙中随机地选择一个，即：

第  $i$  次退避是在时隙  $\{0, 1, \dots, 2^{2+i}-1\}$  中随机地选择一个。

- 第 1 次退避是在 8 个时隙（而不是 2 个）中随机选择一个。
- 第 2 次退避是在 16 个时隙（而不是 4 个）中随机选择一个。



# 退避计时器 (backoff timer)

---

- 站点每经历一个时隙的时间就检测一次信道。这可能发生两种情况。
  - 若检测到信道空闲，退避计时器就继续倒计时。
  - 若检测到信道忙，就冻结退避计时器的剩余时间，重新等待信道变为空闲并再经过时间 DIFS 后，从剩余时间开始继续倒计时。如果退避计时器的时间减小到零时，就开始发送整个数据帧。



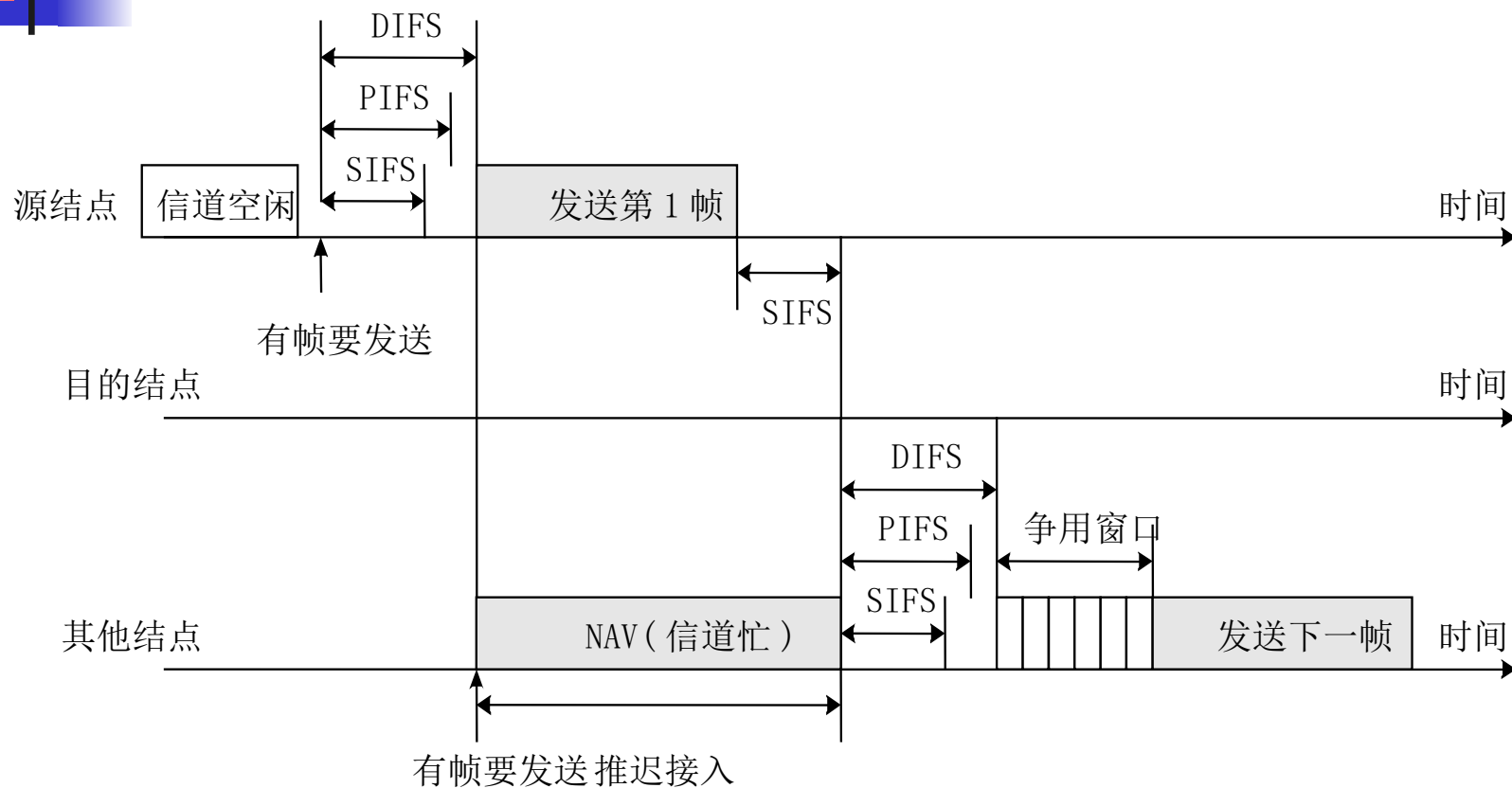
# 退避算法的使用情况

---

- 仅在下面的情况下才不使用退避算法：  
检测到信道是空闲的，并且这个数据帧是要发送的第一个数据帧。
- 除此以外的所有情况，都必须使用退避算法。即：
  - 在发送第一个帧之前检测到信道处于忙态。
  - 在每一次的重传后。
  - 在每一次的成功发送后。

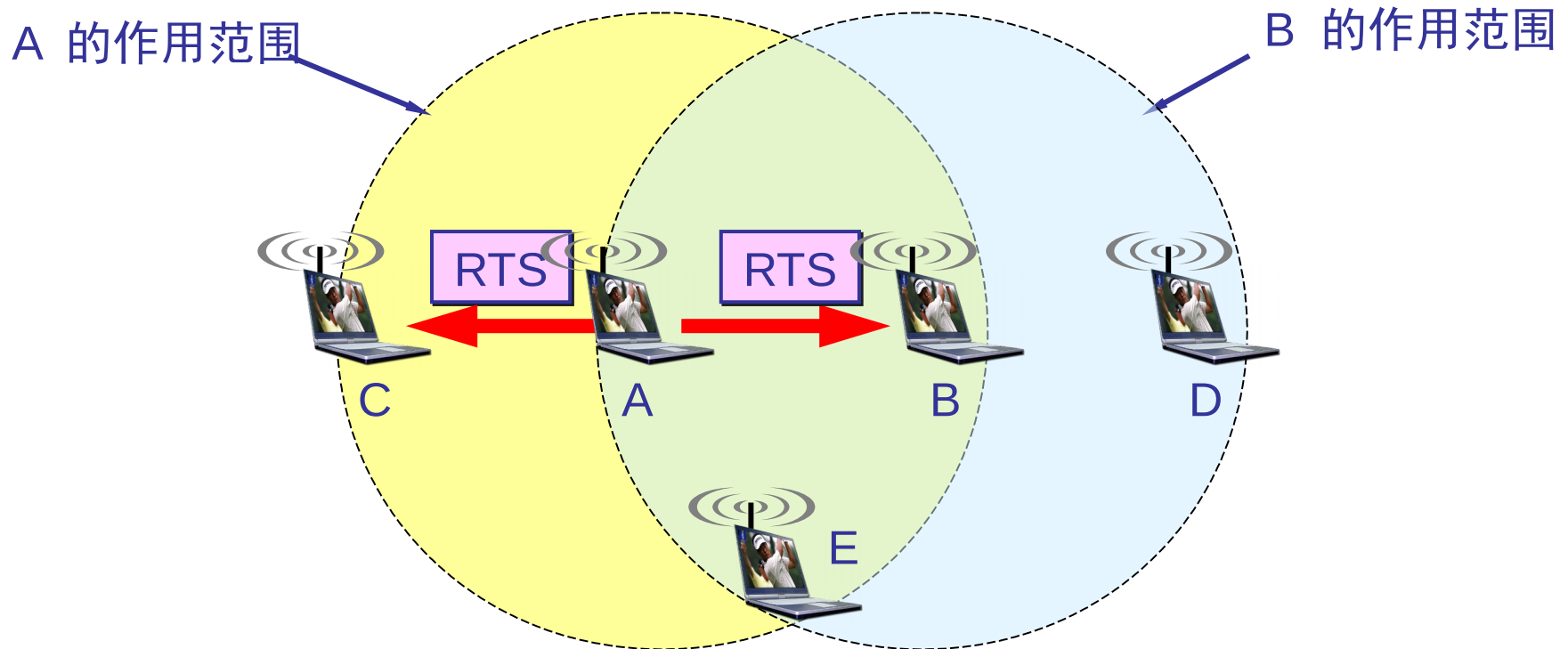


# CSMA/CA 基本工作原理示意图



源站 A 在发送数据帧之前先发送一个短的控制帧，叫做**请求发送** RTS (Request To Send)，它包括源地址、目的地址和这次通信（包括相应的确认帧）所需的持续时间。

- 802.11 允许要发送数据的站对信道进行预约。

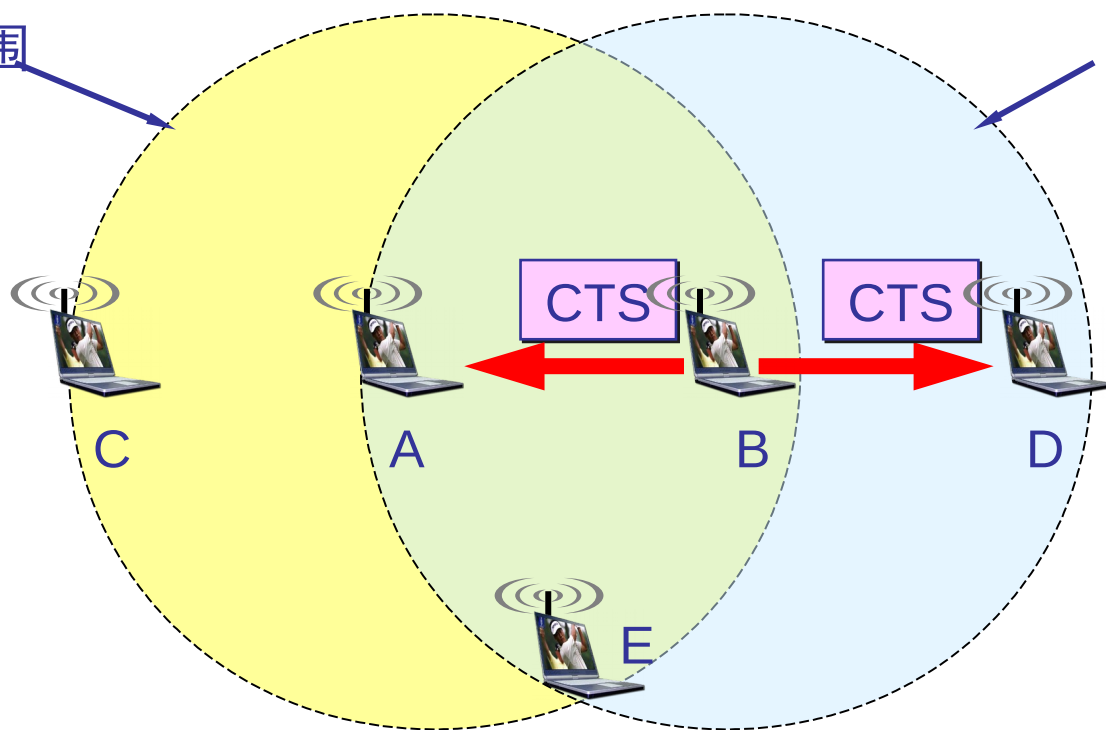


若媒体空闲，则目的站 B 就发送一个响应控制帧，叫做**允许发送** CTS (Clear To Send)，它包括这次通信所需的持续时间（从 RTS 帧中将此持续时间复制到 CTS 帧中）。

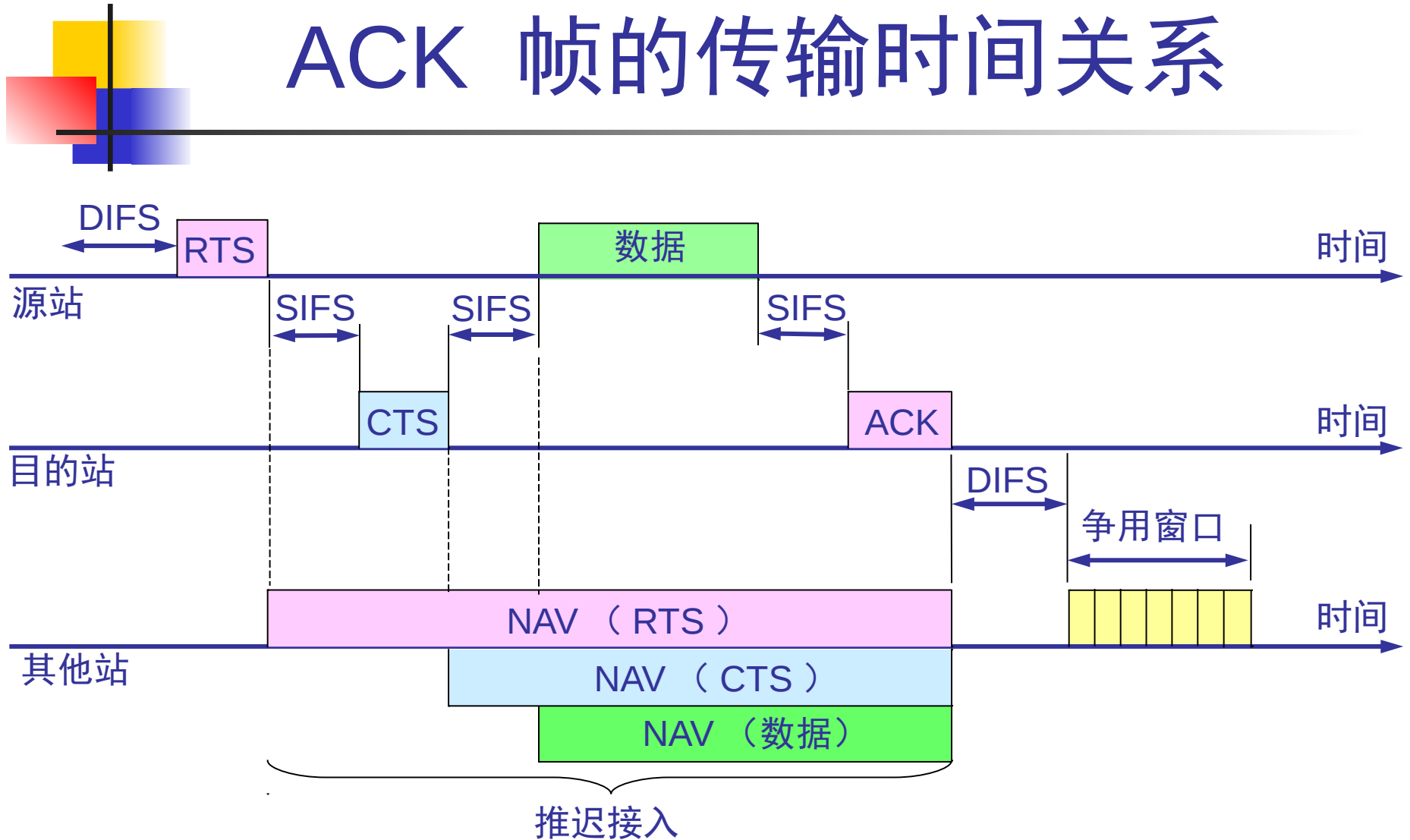
A 收到 CTS 帧后就可发送其数据帧。

A 的作用范围

B 的作用范围

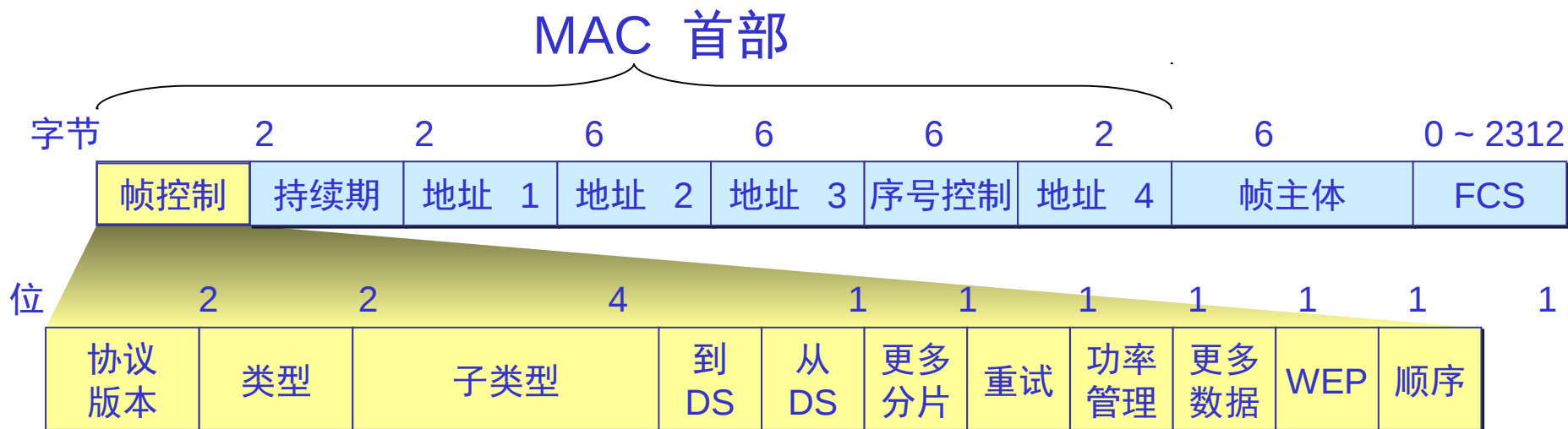


# RTS 和 CTS 帧以及数据帧和 ACK 帧的传输时间关系



## 9.1.4 802.11 局域网的 MAC 帧

- 802.11 帧共有三种类型，即控制帧、数据帧和管理帧。
- 下面是数据帧的主要字段。





## 802.11 数据帧的三大部分

---

- **MAC 首部**，共 30 字节。帧的复杂性都在帧的首部。
- **帧主体**，也就是帧的数据部分，不超过 2312 字节。这个数值比以太网的最大长度长很多。不过 802.11 帧的长度通常都是小于 1500 字节。
- **帧检验序列 FCS** 是尾部，共 4 字节



# 1. 关于 802.11 数据帧的地址

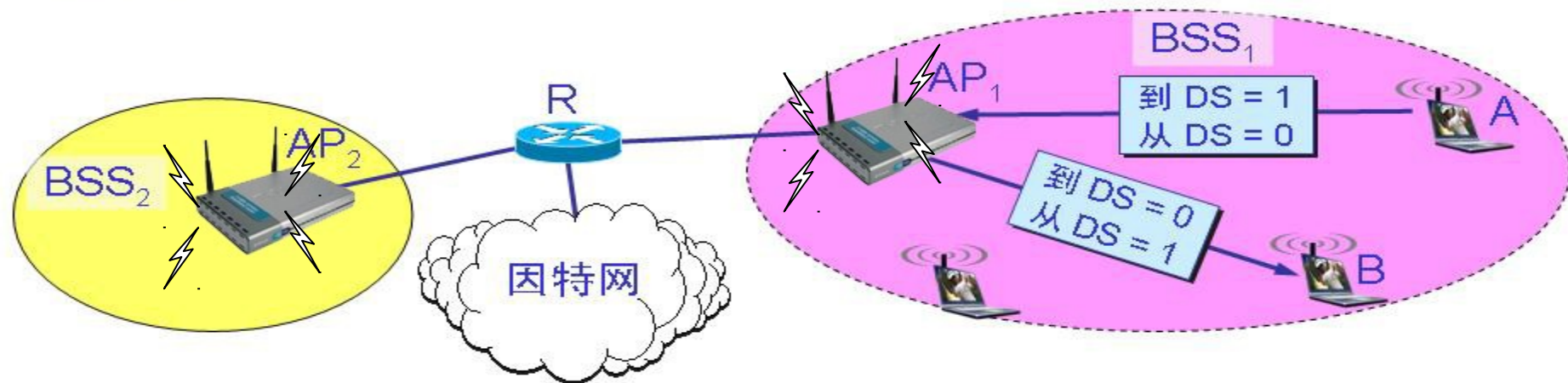
---

- 802.11 数据帧最特殊的地方就是有四个地址字段。地址 4 用于自组网络。我们在这里只讨论前三种地址。

到 D S	从 DS	地址 1	地址 2	地址 3	地址 4
0	1	目的地址	AP 地址	源地址	——
1	1	AP 地址	源地址	目的地址	——



# A 向 B 发送数据帧 必须先发送到接入点 $AP_1$



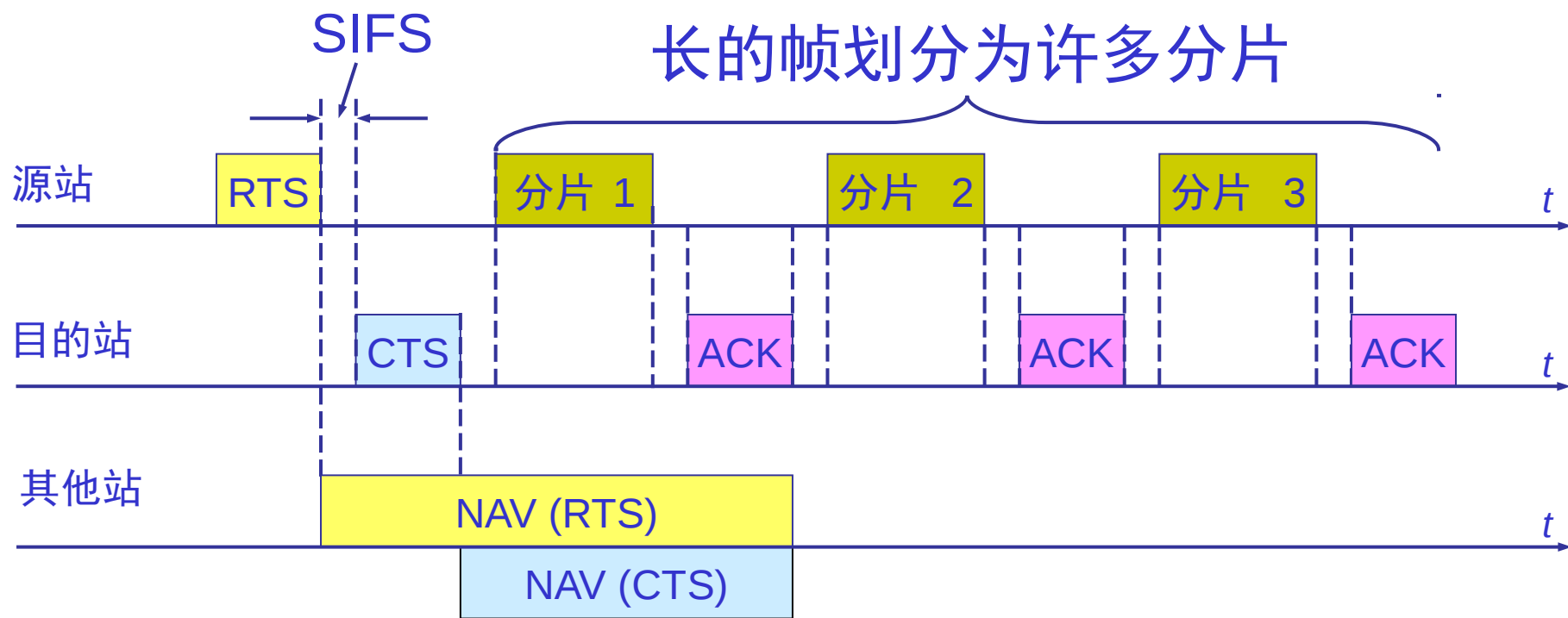


## 2. 序号控制字段、持续期字段和帧控制字段

---

- 序号控制字段占 16 位，其中序号子字段占 12 位，分片子字段占 4 位。
- 持续期字段占 16 位。
- 帧控制字段共分为 11 个子字段。
  - 协议版本字段现在是 0。
  - 类型字段和子类型字段用来区分帧的功能。
  - 更多分片字段置为 1 时表明这个帧属于一个帧的多个分片之一。
  - 有线等效保密字段 WEP 占 1 位。若 WEP = 1，就表明采用了 WEP 加密算法。

# 分片的发送举例





## 9.2 无线个人区域网 WPAN (Wireless Personal Area Network)

---

- 在个人工作地方把属于个人使用的电子设备用无线技术连接起来自组网络，不需要使用接入点 AP。
- 整个网络的范围大约在 10 m 左右。
- 无线个人区域网 WPAN 和个人区域网 PAN (Personal Area Network) 并不完全等同，因为 PAN 不一定是使用无线连接的。



## WPAN 和 WLAN 并不一样。

---

- WPAN 是以个人为中心来使用的无线个人区域网，它实际上就是一个低功率、小范围、低速率和低价格的电缆替代技术。WPAN 都工作在 2.4 GHz 的 ISM 频段。
- 但 WLAN 却是同时为许多用户服务的无线局域网，它是一个大功率、中等范围、高速率的局域网。



# 1. 蓝牙系统 (Bluetooth)

---

- 最早使用的 WPAN 是 1994 年爱立信公司推出的蓝牙系统，其标准是 IEEE 802.15.1 。
- 蓝牙的数据率为 720 kb/s，通信范围在 10 米左右。
- 蓝牙使用 TDM 方式和扩频跳频 FHS S 技术组成不用基站的皮可网 (piconet)。
  - 。

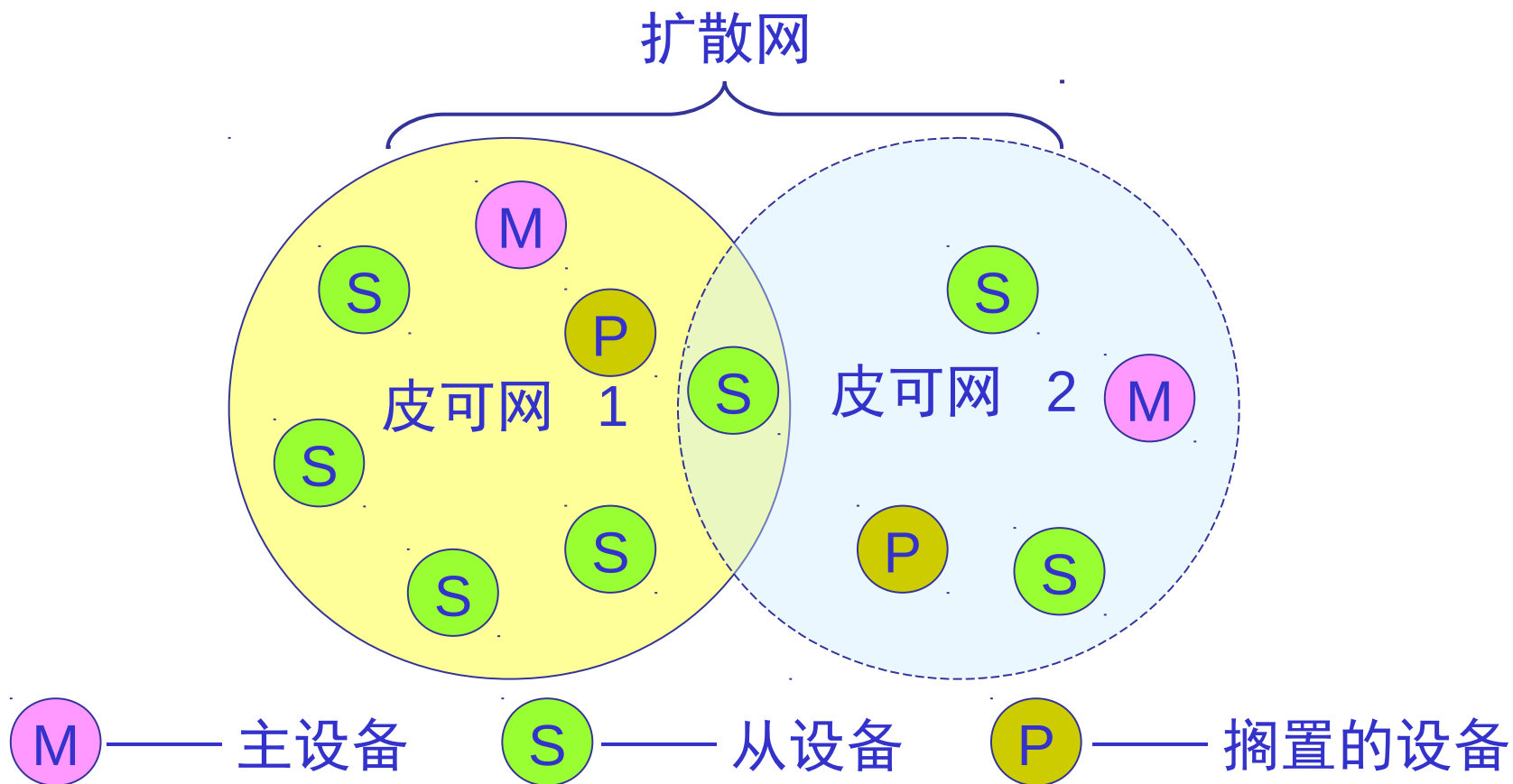


# 皮可网 (piconet)

---

- Piconet 直译就是“微微网”，表示这种无线网络的覆盖面积非常小。
- 每一个皮可网有一个主设备 (Master) 和最多 7 个工作的从设备 (Slave)。
- 通过共享主设备或从设备，可以把多个皮可网链接起来，形成一个范围更大的扩散网 (scatternet)。
- 这种主从工作方式的个人区域网实现起来价格就会比较便宜。

# 蓝牙系统中的皮可网和扩散网







## 2. 低速 WPAN

---

- 低速 WPAN 主要用于工业监控组网、办公自动化与控制等领域，其速率是  $2 \sim 250 \text{ kb/s}$ 。
- 低速 WPAN 的标准是 IEEE 802.15.4。最近新修订的标准是 IEEE 802.15.4-2006。
- 低速 WPAN 中最重要的就是 ZigBee。
- ZigBee 技术主要用于各种电子设备（固定的、便携的或移动的）之间的无线通信，其主要特点是通信距离短（ $10 \sim 80 \text{ m}$ ），传输数据速率低，并且成本低廉。



# ZigBee 的特点

---

- 功耗非常低。在工作时，信号的收发时间很短；而在非工作时，ZigBee 结点处于休眠状态，非常省电。对于某些工作时间和总时间之比小于 1% 的情况，电池的寿命甚至可以超过 10 年。
- 网络容量大。一个 ZigBee 的网络最多包括有 255 个结点，其中一个是主设备，其余则是从设备。若是通过网络协调器，整个网络最多可以支持超过 64000 个结点。



# ZigBee 的标准

---

- 在 IEEE 802.15.4 标准基础上发展而来的。
- 所有 ZigBee 产品也是 802.15.4 产品。
- IEEE 802.15.4 只是定义了 ZigBee 协议栈的最低的两层（物理层和 MAC 层），而上面的两层（网络层和应用层）则是由 ZigBee 联盟定义的。



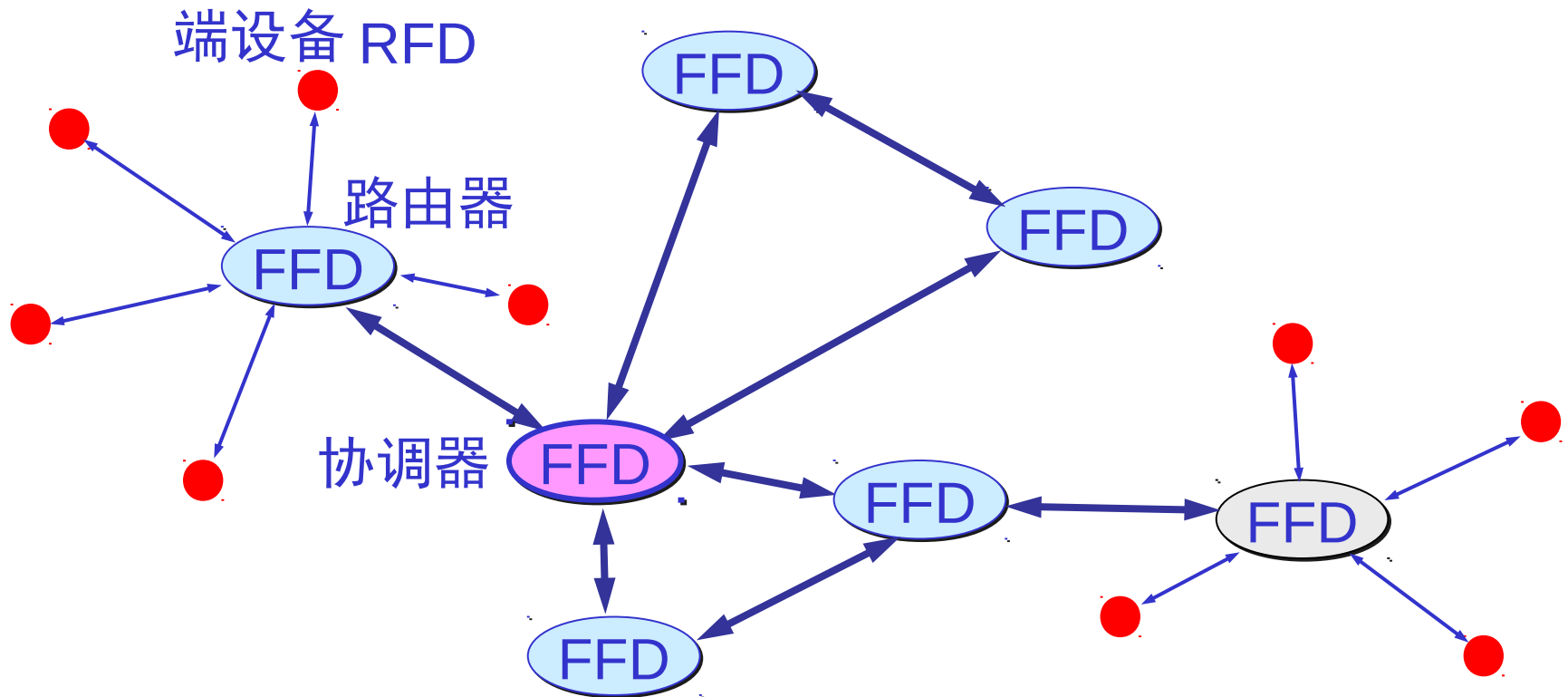
# ZigBee 的协议栈



# ZigBee 的组网方式可采用星形和网状拓扑，或两者的组合

有一个全功能设备 FFD 充当网络的协调器。

ZigBee 网络中数量最多的端设备是精简功能设备 RFD 结点。





## 3. 高速 WPAN

---

- 高速 WPAN 用于在便携式多媒体装置之间传送数据，支持 11 ~ 55 Mb/s 的数据率，标准是 802.15.3，。
- IEEE 802.15.3a 工作组还提出了更高数据率的物理层标准的超高速 WPAN，它使用超宽带 UWB 技术。
- UWB 技术工作在 3.1 ~ 10.6 GHz 微波频段，有非常高的信道带宽。超宽带信号的带宽应超过信号中心频率的 25% 以上，或信号的绝对带宽超过 500 MHz。
- 超宽带技术使用了瞬间高速脉冲，可支持 100 ~ 400 Mb/s 的数据率，可用于小范围内高速传送图像或 DVD 质量的多媒体视频文件。

## 9.3 无线城域网 WMAN

(Wireless Metropolitan Area Network)

- 2002 年 4 月通过了 802.16 无线城域网的标准。欧洲的 ETSI 也制订类似的无线城域网标准 HiperMAN。
- WMAN 可提供“最后一英里”的**宽带无线接入**（固定的、移动的和便携的）。
- 在许多情况下，无线城域网可用来代替现有的有线宽带接入，因此它有时又称为**无线本地环路**。

# WiMAX

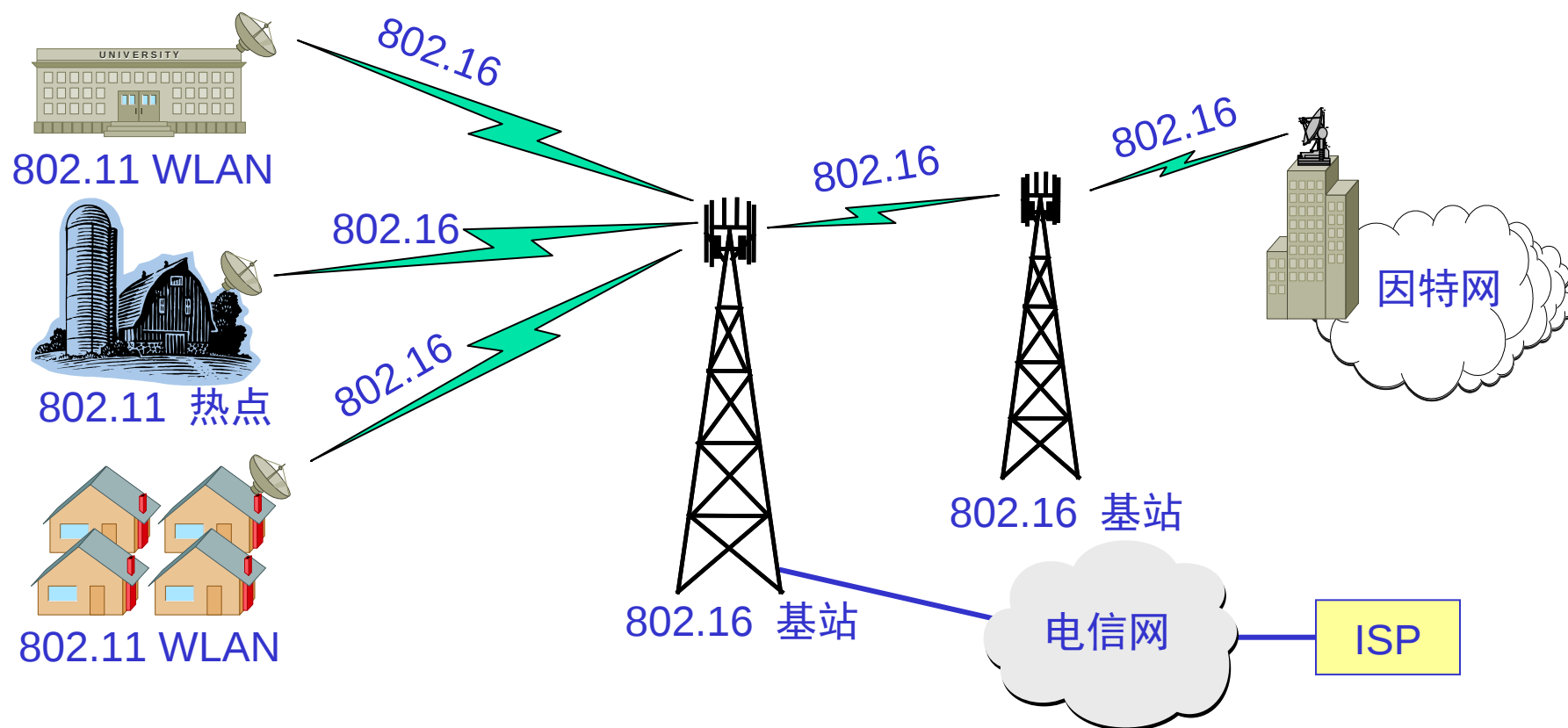
## Worldwide Interoperability for Microwave Access

---

- WiMAX 常用来表示无线城域网 WMAN，这与 Wi-Fi 常用来表示无线局域网 WLAN 相似。
- IEEE 的 802.16 工作组是无线城域网标准的制订者，而 WiMAX 论坛则是 802.16 技术的推动者。
- 两个正式标准
  - 802.16d（它的正式名字是 802.16-2004），是固定宽带无线接入空中接口标准（2 ~ 66 GHz 频段）。
  - 802.16 的增强版本，即 802.16e，是支持移动性的宽带无线接入空中接口标准（2 ~ 6 GHz 频段），它向下兼容 802.16-2004。



# 802.16 无线城域网服务范围的示意图



# 几种无线网络的比较

