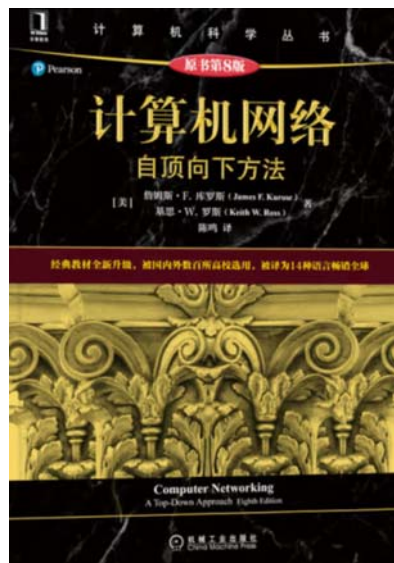


Chapter 7 无线网络与移动网络 Wireless and Mobile Networks



无线网络与移动网络: 7-1

无线网络和移动网络: 背景

- 移动（无线）电话的用户数量超过了固定（有线）电话的用户。截至2019年，前者用户数就已经是后者的10倍！
- 使用移动宽带的设备数量超过了使用固定宽带的设备。截至2019年，前者数量就已经是后者的5倍！
- 4G/5G 蜂窝网络已经采用了Internet协议栈，包括SDN（Software Defined Network，软件定义网络）
- 两个重要挑战
 - 无线：如何在无线链路上进行通信
 - 移动性：如何处理用户在不同接入点之间的切换

无线网络与移动网络: 7-2

无线网络与移动网络：路线图

■ 概述

无线网络

- 无线链路和网络特征
- WiFi: 802.11无线局域网
- 蜂窝网络: 4G and 5G

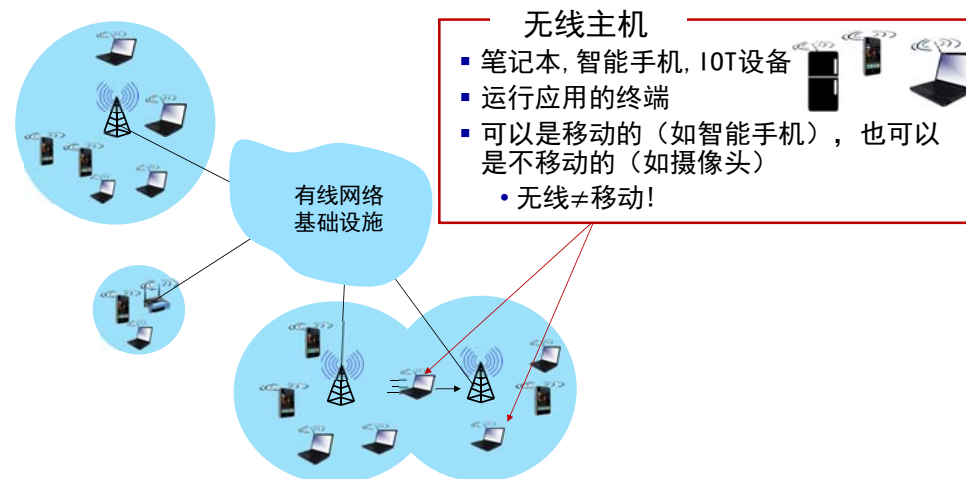


移动网络

- 移动管理: 原理
- 移动管理: 实践
 - 4G/5G 网络
 - 移动 IP
- 移动性: 对高层协议的影响

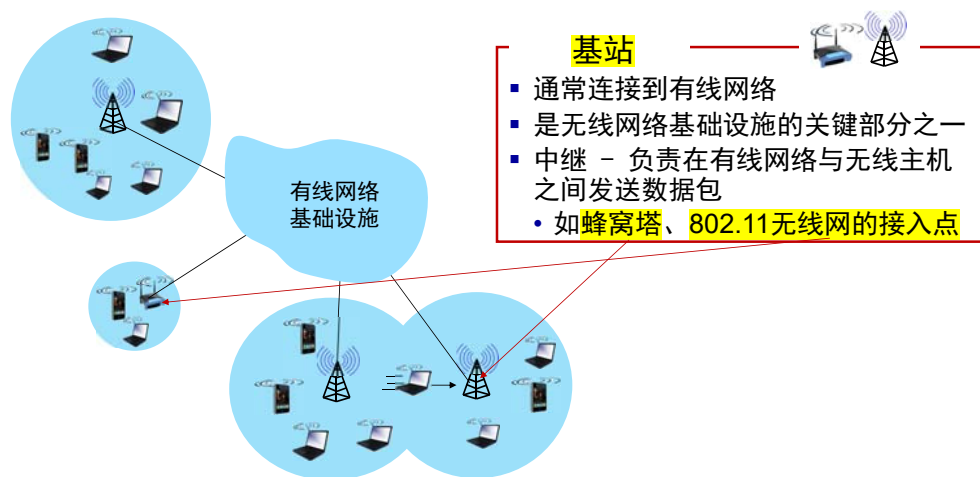
无线网络与移动网络: 7-3

无线网络的要素



无线网络与移动网络: 7-4

无线网络的要素



无线网络与移动网络: 7-5

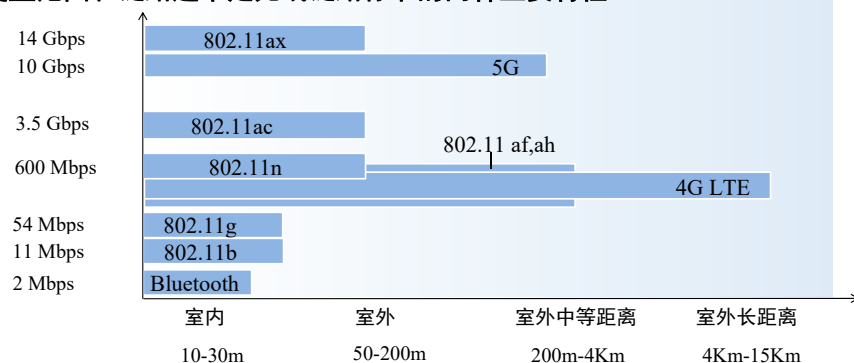
无线网络的要素



无线网络与移动网络: 7-6

部分无线网络标准的链路特性

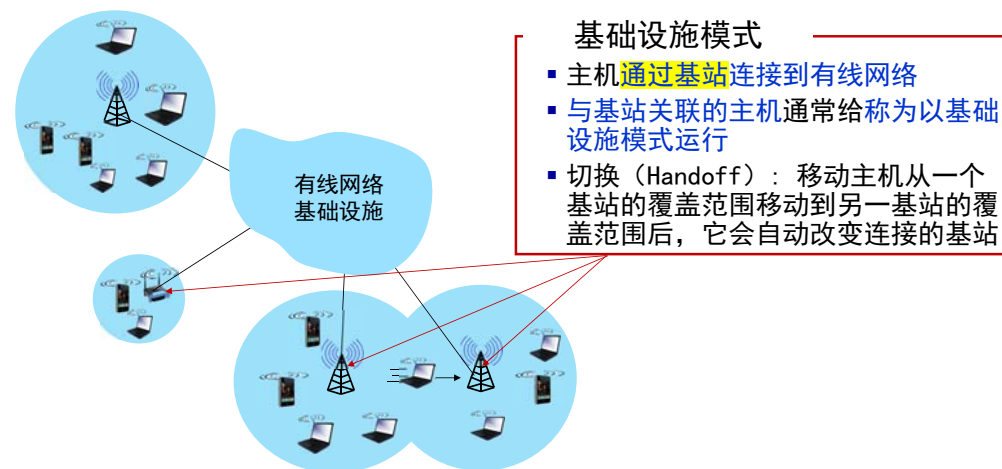
覆盖范围和链路速率是无线链路标准的两种主要特性



LTE (Long Term Evolution, 长期演进)是由3GPP (The 3rd Generation Partnership Project, 第三代合作伙伴计划)组织制定的UMTS (Universal Mobile Telecommunications System, 通用移动通信系统)技术标准的长期演进, 于2004年12月在3GPP多伦多会议上正式立项并启动。是3G与4G技术之间的一个过渡, 是3.9G的全球标准。它改进并增强了3G的空中接入技术, 提高小区容量和降低系统延迟。

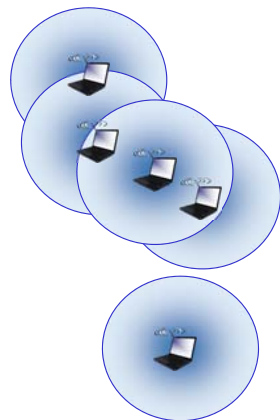
无线网络与移动网络: 7-7

无线网络的要素



无线网络与移动网络: 7-8

无线网络的要素



自组织模式

- 没有基站
- 节点只能向链路覆盖范围内的其他节点发送数据
- 所有的节点组织成一个网络；由节点自己提供路由、地址分配等服务。

无线网络与移动网络: 7-9

无线网络分类

	单跳	多跳
基于基础设施 (如接入点)	无线主机连接到基站 (WiFi, cellular), 再由基站连接到较大的有线网络	无线主机必须通过几个无线节点进行中继才能连接到基站, 再通过基站连接到较大的互联网。如网状网络 (mesh net)
无基础设施	不存在与无线网络相连的基站, 更没有通往较大互联网的链接。如蓝牙、自组织网络等	没有基站。节点也可能是移动的, 在多个节点中改变连接关系, 需要多个节点的中继来彼此连接。如MANET, VANET

- * MANET (Mobile Ad Hoc Network), 移动自组织网络
- * VANET (Vehicular ad-hoc network), 车载自组织网络

无线网络与移动网络: 7-10

无线网络与移动网络：7.1-7.3路线图

概述

无线网络

- 无线链路和网络特征
- WiFi: 802.11 无线局域网



Link Layer: 6-11

无线链路特征(1)

与有线链路的重要区别.

- 递减的信号强度: 电磁波在穿过物体时, 强度将减弱, 在自由空间中信号扩散也会令强度随距离增加而减弱, 即存在路径损耗 (path loss)
- 来自其它源的干扰: 不同信号源 (如Wi-Fi, 蜂窝电话等) 使用同一个频段发送信号会彼此干扰, 环境中的电磁噪声也导致干扰 (interference)
- 多径传播: 当电磁波的一部分受物体和地面反射, 在发送方和接收方之间走了不同长度的路径, 则会出现多径传播 (multiple propagation)。这使得接收方收到的信号变得模糊。

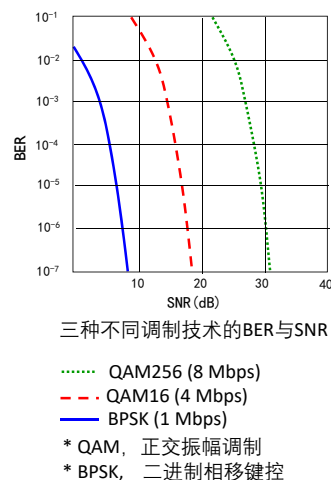
这些问题使无线链路上的通信 (即便是点到点通信) 比有线链路更困难。



无线网络与移动网络: 7-12

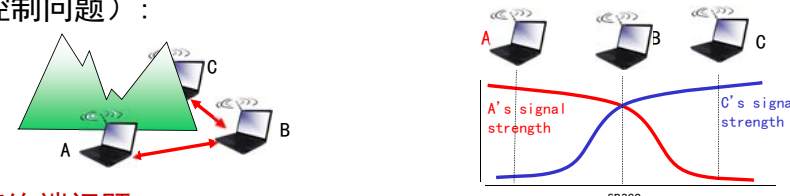
无线链路特征 (2)

- SNR: 信噪比 (signal-to-noise ratio)
 - 所收到的信号与噪声强度的相对测量
 - 度量单位是分贝 (dB)
 - SNR 越大 - 表明更容易从背景噪声中提取原始信号
- SNR 与 比特差错率 (BER)
 - 对于给定的物理层 (给定的调制方案):
SNR越高→BER越低 SNR越低→BER越高
 - 对于给定的SNR: 具有较高比特传输率的调制技术将具有更高的BER
 - 物理层调制技术的动态选择能用于适配对信道条件的调制技术: SNR可能会随着移动而变化, 动态选择调制技术实现了BER约束下的最高可能传输速率



无线链路特征 (3)

无线链路在有多发送者时, 接收者会遇到额外的问题 (不只是多路访问控制问题):



隐藏终端问题

- A和B可以听到彼此
- B和C可以听到彼此
- 环境的阻挡 (如一座大山或者一座建筑) 妨碍A和C互相听到对方的传输, 因此A和C同时向B发送数据时, 信号会在B处产生干扰。

令多路访问在无线网络中的复杂性远高于有线网络

信号衰减问题:

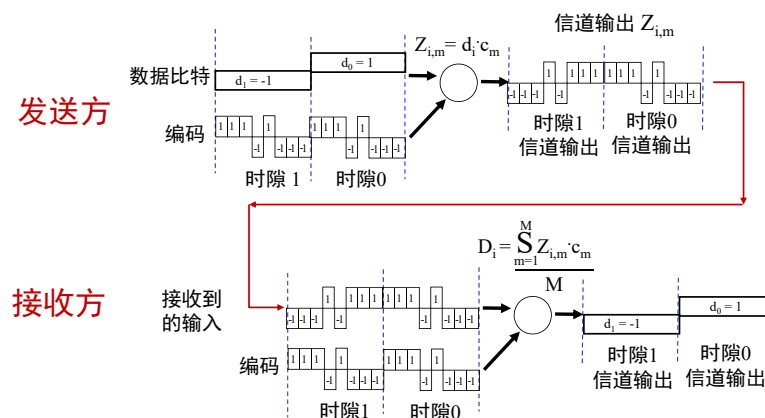
- A和B可以听到彼此
- B和C可以听到彼此
- A和C无法听到它们发送的信号在B处发生了碰撞, 由于信号通过无线链路传播时信号强度的衰减。

码分多址

CDMA, Code Division Multiple Access

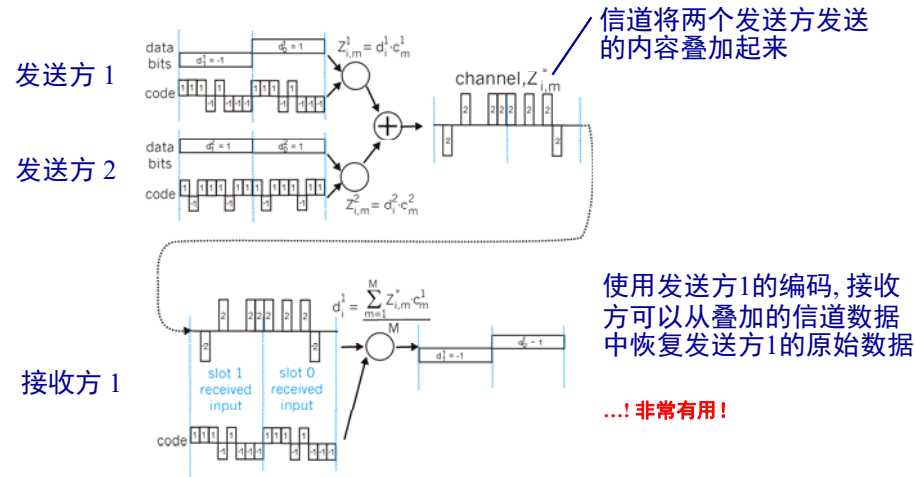
- 无线LAN和蜂窝技术中应用广泛的媒体访问协议, 属于信道划分协议
- 为每个用户分配不同的编码; 即编码集划分
- 所有用户使用相同的频率发送数据, 但是每个用户都使用自己的码片序列 (即编码) 对数据编码
 - 允许多个用户 “同时存在” 并且以最小的干扰同时传输
 - 码片序列需要 “正交”
- 编码: 内积: (原始数据) * (码片序列)
- 解码: 内积和: \sum (编码数据) * (码片序列)

CDMA 编码/解码



... 看起来没什么用

CDMA: 两个发送者干扰的情况



无线网络与移动网络: 7-17

无线网络与移动网络: 路线图



概述

无线网络

- 无线链路和网络特征
- WiFi: 802.11 无线局域网
- 蜂窝网络: 4G and 5G

移动网络

- 移动管理: 原理
- 移动管理: 实践
 - 4G/5G 网络
 - 移动 IP
- 移动性: 对高层协议的影响

Link Layer: 6-18

WiFi : IEEE 802.11 无线局域网

802.11协议族包含了一系列关于无线局域网的802.11标准

IEEE 802.11 标准	年	最高数据率	覆盖范围	频率
802.11b	1999	11 Mbps	30 m	2.4 GHz
802.11g	2003	54 Mbps	30m	2.4 GHz
802.11n (WiFi 4)	2009	600	70m	2.4, 5 GHz
802.11ac (WiFi 5)	2013	3.47Gpbs	70m	5 GHz
802.11ax (WiFi 6)	2020	14 Gbps	70m	2.4, 5 GHz
802.11af	2014	35 – 560 Mbps	1 Km	unused TV bands (54-790 MHz)
802.11ah	2017	347Mbps	1 Km	900 Mhz

802.11设备工作在两个不同的频率段上: 2.4GHz频段 (2.4-2.485GHz) 和 5G频段 (5.1-5.8GHz)

不同标准均使用相同的多路访问协议CSMA/CA, 以及相同的链路层的帧结构

无线网络与移动网络: 7-19

802.11 体系结构



- 802.11无线局域网体系结构的基本构件是基本服务集(BSS, Basic Service Set)
- 一个BSS 包括:
 - 1个或多个无线站点
 - 1个接入点(AP):即基站
 - 无线站点与基站 (接入点) 通信

无线网络与移动网络: 7-20

802.11: 信道与关联

■ 频谱被划分为不同频率的信道

- 由AP管理员为AP（接入点）分配SSID(服务集标识符)和信道号
- 可能会存在冲突，因为相邻的AP可能会选用相同频率的信道！

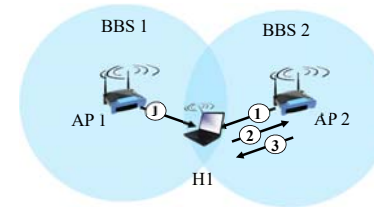
■ 新加入的节点必须先与AP关联

- 扫描信道, 侦听信标帧（beacon frame）。信标帧中包含了AP的名字（即SSID）和MAC地址
 - 802.11标准要求每个AP周期性地发送信标帧
- 节点选择AP并与之关联
- 如果需要的话，进行认证
- 通常通过关联的AP向该子网发送DHCP发现报文，以获取该AP所在子网中的一个IP地址



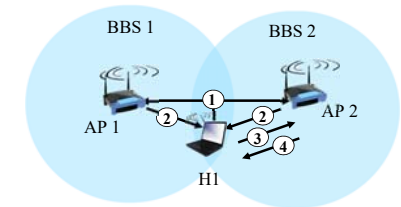
无线网络与移动网络: 7-21

802.11:被动/主动 扫描



被动扫描:

- (1) AP发送信标帧
- (2) H1向选择的AP发送关联请求帧
- (3) 选择的AP向H1发送关联响应帧



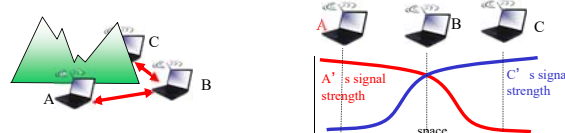
主动扫描:

- (1) H1广播探测请求帧
- (2) AP发送探测响应帧
- (3) H1向选择的AP发送关联请求帧
- (4) 选择的AP向H1发送关联响应帧

无线网络与移动网络: 7-22

IEEE 802.11 多路访问协议

- CSMA/Collision Avoidance: 带碰撞避免的CSMA
目标是避免碰撞: CSMA/Collision Avoidance
- CSMA-在传输之前侦听信道
 - 传输之前侦听信道，并且一旦侦听到该信道忙则抑制传输
- 802.11使用的是CSMA/CA协议，以太网使用的CSMA/CD协议
 - (1) 802.11不使用碰撞检测！
 - 检测碰撞是困难的: 原因包括，信号衰减；传输信号较高，而接收到的信号很弱
 - 无法检测所有情况下的碰撞: 如隐藏终端, 信号衰减
 - (2) 802.11使用链路层确认/重传方案！
 - 无线信道相对较高的误比特率

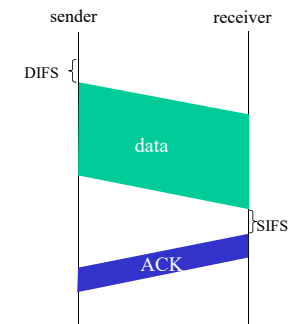


无线网络与移动网络: 7-23

IEEE 802.11 MAC协议: CSMA/CA

802.11 发送方

- 1 若检测到信道是空闲的，则经过一段时间（称为分布式帧间间隔，DIFS-Distributed Inter-Frame Space)后传输整个帧 (不进行碰撞检测)
- 2 若检测到信道忙，则
选择一个随机的回退值
在侦听信道空闲时，递减该值；当帧听到信道忙时，计数值保持不变
当计数值减为0时，发送整个数据帧并等待确认，收到确认则若还有数据要发送则计入第1步
若没有收到确认，则重新进入回退阶段、并从一个更大的范围内选取随机值重新计数



802.11接收方

- 如果数据帧接收正常
在一段时间(称为短帧间间隔，SIFS-Short Inter-Frame Spacing)后返回ACK (由于隐藏终端问题，ACK是必须的)

无线网络与移动网络: 7-24

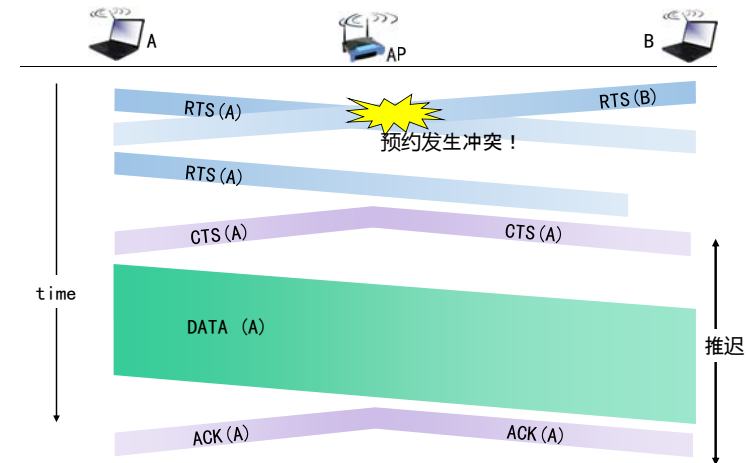
避免碰撞

基本原理： 预约方案：发送方使用小的“预约包”对信道的使用进行预约

- 发送方首先给基站发送一个小的RTS(request-to-send)-请求发送控制帧
 - RTSs 也可能彼此冲突（但是它们很短）
- 基站针对RTS广播一个短的CTS（Clear-to-Send）允许发送控制帧
- 所有的节点都会收到CTS帧
 - 发送者会发送数据帧
 - 其他站点将推迟发送

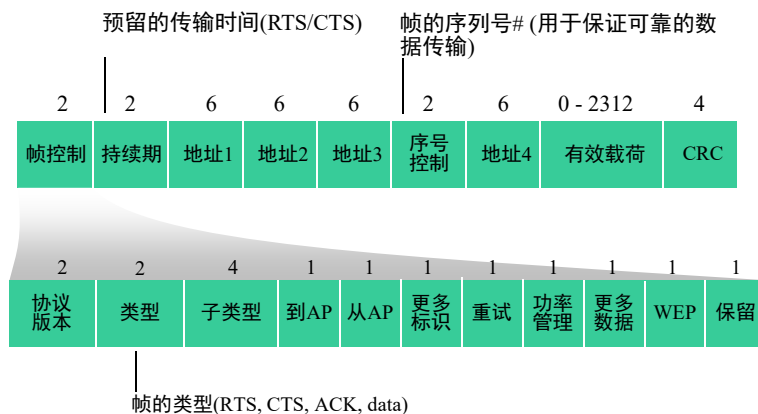
无线网络与移动网络: 7-25

碰撞避免: RTS-CTS 交换



无线网络与移动网络: 7-26

802.11帧结构



无线网络与移动网络: 7-27

802.11帧: 地址字段



地址1: 接收该帧的无线主机或AP的MAC地址。

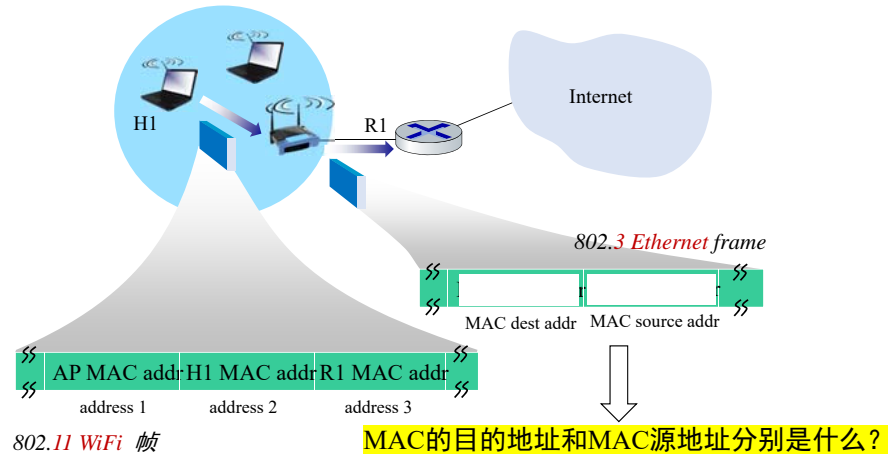
地址4: 仅在ad hoc模式下使用

地址2: 发送该帧的无线主机或AP的MAC地址

地址3: AP连接到的路由器接口的MAC地址

无线网络与移动网络: 7-28

802.11帧:地址字段

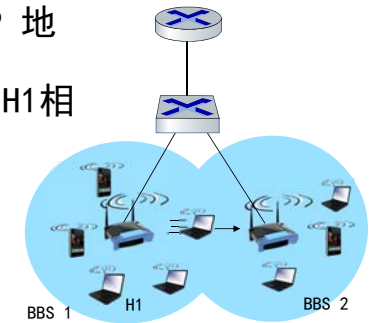


无线网络与移动网络: 7-29

802.11: 同一子网中的移动

H1从BSS1移动到BSS2时

- H1仍然在相同的子网中: IP 地址可以不变。
- 交换机如何确定哪一个AP与H1相连?
 - 自学习 (Ch. 6): 交换机收到来自于H1的帧, 并且“记住”到达H1的交换机端口。

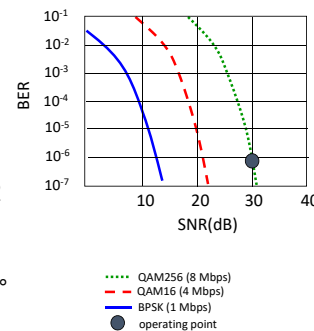


无线网络与移动网络: 7-30

802.11: 高级特色

速率适应

- 当移动设备移动时, 基站和移动设备通过物理层的调制技术动态改变传输速率。此时, SNR 会发生变化
 1. 当节点逐渐远离基站时, SNR逐渐降低, BER 则升高。
 2. 当BER过高时, 则会降低传输速率以降低BER。



无线网络与移动网络: 7-31

802.11: 高级特色

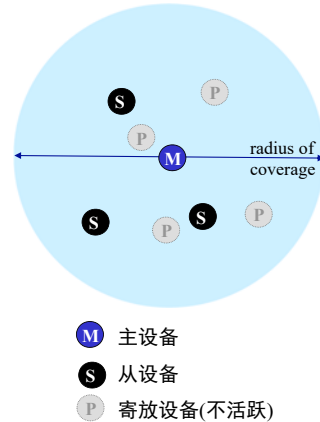
功率管理

- 节点通过将802.11帧首部的功率管理比特设置为1, 告知AP: “我将在下个信标帧之前休眠一段时间”
 - AP不会向这个节点传输数据帧, 先缓存目的地为睡眠主机的任何帧, 以后再传输
 - 节点将在下一个信标帧之前唤醒
 - AP通常每100ms发送给一个信标帧
 - 唤醒仅需要250μs
- 信标帧: 包含了有帧被缓存在AP上的节点的列表
 - 如果某节点没有缓存帧, 则返回休眠状态
 - 否则, 节点向AP发送一个探寻报文明确请求发送缓存的帧

无线网络与移动网络: 7-32

无线个人域网络: 蓝牙 (802.15.1)

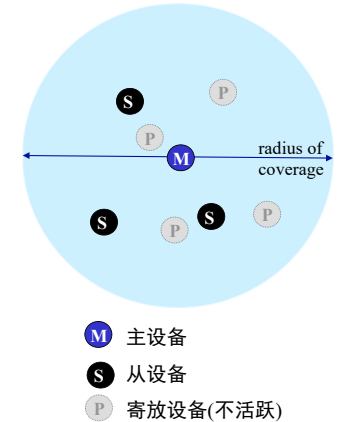
- 覆盖范围直径小于10米
- 电缆的替代(鼠标, 键盘, 头戴式耳机)
- 自组织网络: 无基础设施
- 工作于2.4GHz 无线频段,
- 高达4Mbps
- 主设备/ 从设备:
 - 主设备轮询从设备, 协调从设备的传输。



无线网络与移动网络: 7-33

无线个人域网络: 蓝牙 (802.15.1)

- TDM, 时隙长度为625 μ s
- 发送方在每个时隙利用79个信道中的一个进行传输, 同时以一种已知的伪随机方式变更信道 (这种方式称为调频扩展频谱)
- **寄放模式:** 从设备可以进入休眠状态(寄放)、稍后唤醒(节省电源)
- **启动:** 节点自己组成皮可网(piconet), 实现“即插即用”
 - 多达8个活动设备, 255个寄放设备



无线网络与移动网络: 7-34

第7章: 无线网络与移动网络7.1-7.3总结

- 概述
 - 要素: 无线主机、基站、无线链路
 - 基础设施模式、自组织模式
- 无线链路和网络特征
 - 递减的信号强度、来自其他源的干扰、多径传播
 - 信噪比SNR与比特差错率BER
 - 多路访问的复杂性: 隐藏终端问题、信号衰减问题
 - 蜂窝技术中广泛应用的MAC协议: CDMA



WiFi: 802.11无线局域网

- 802.11体系结构: 基本服务集: 无线站点、接入点(基站)
- 802.11MAC协议: CSMA/CA
- 802.11帧结构
- 同一子网中的移动性
- 802.11的高级特色: 速率适应、功率管理
- 个人域网络: 蓝牙

Link Layer: 6-35

第七章 (7.1-7.3) 作业

- 第8版
- 1、5、8
- 第7版
- 1、5、8