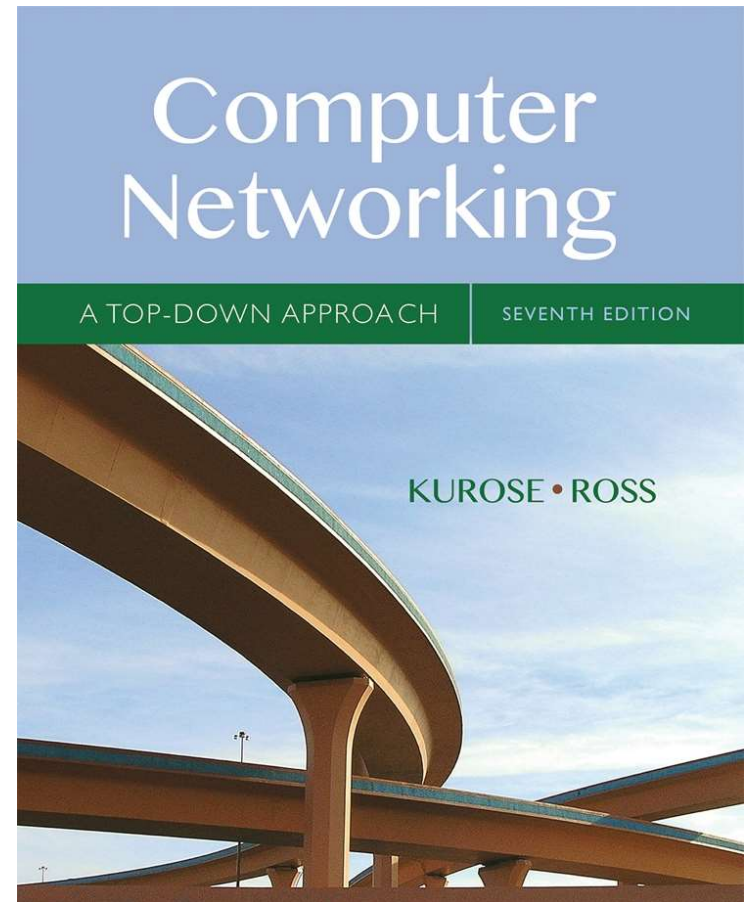


计算机网络-补课内容

中国科学技术大学
自动化系 郑烱
部分改编自Jim kurose,
Keith Ross



***Computer Networking:
A Top Down Approach***

7th edition

Jim Kurose, Keith Ross

Pearson/Addison Wesley

April 2016

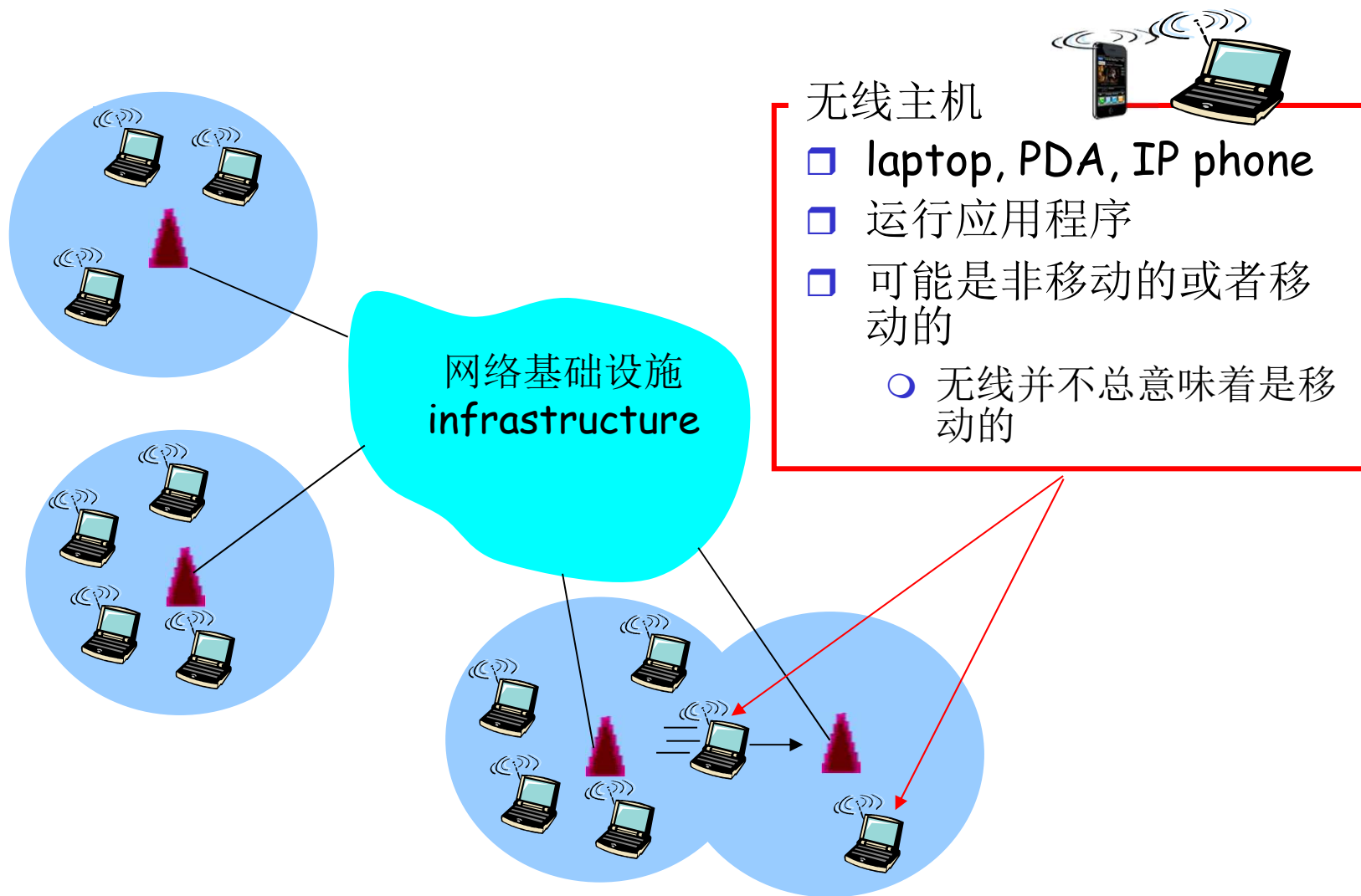
计算机网络-补课内容

- 1 无线链路及其特点
- 2 IEEE 802.11 无线 LANs (wi-fi)
- 3 信道容量的2个定理
- 4 一些网络互连设备的称呼和DL子层
- 4 拥塞控制和令牌桶算法
- 5 CRC 性能分析

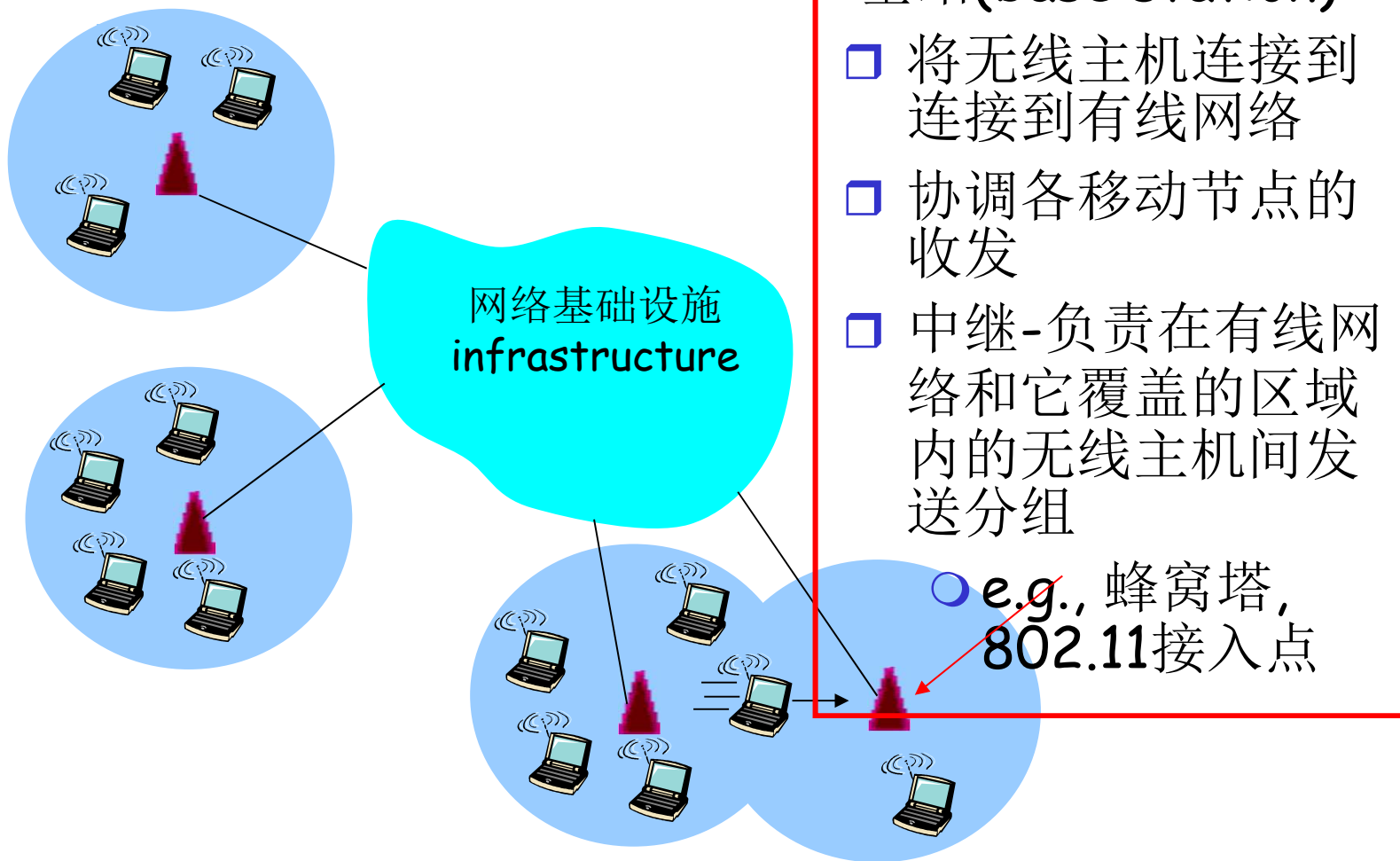
计算机网络-补课内容

- 1 无线链路及其特点
- 2 IEEE 802.11 无线 LANs (wi-fi)
- 3 信道容量的2个定理
- 4 一些网络互连设备的称呼和DL子层
- 4 拥塞控制和令牌桶算法
- 5 CRC 性能分析

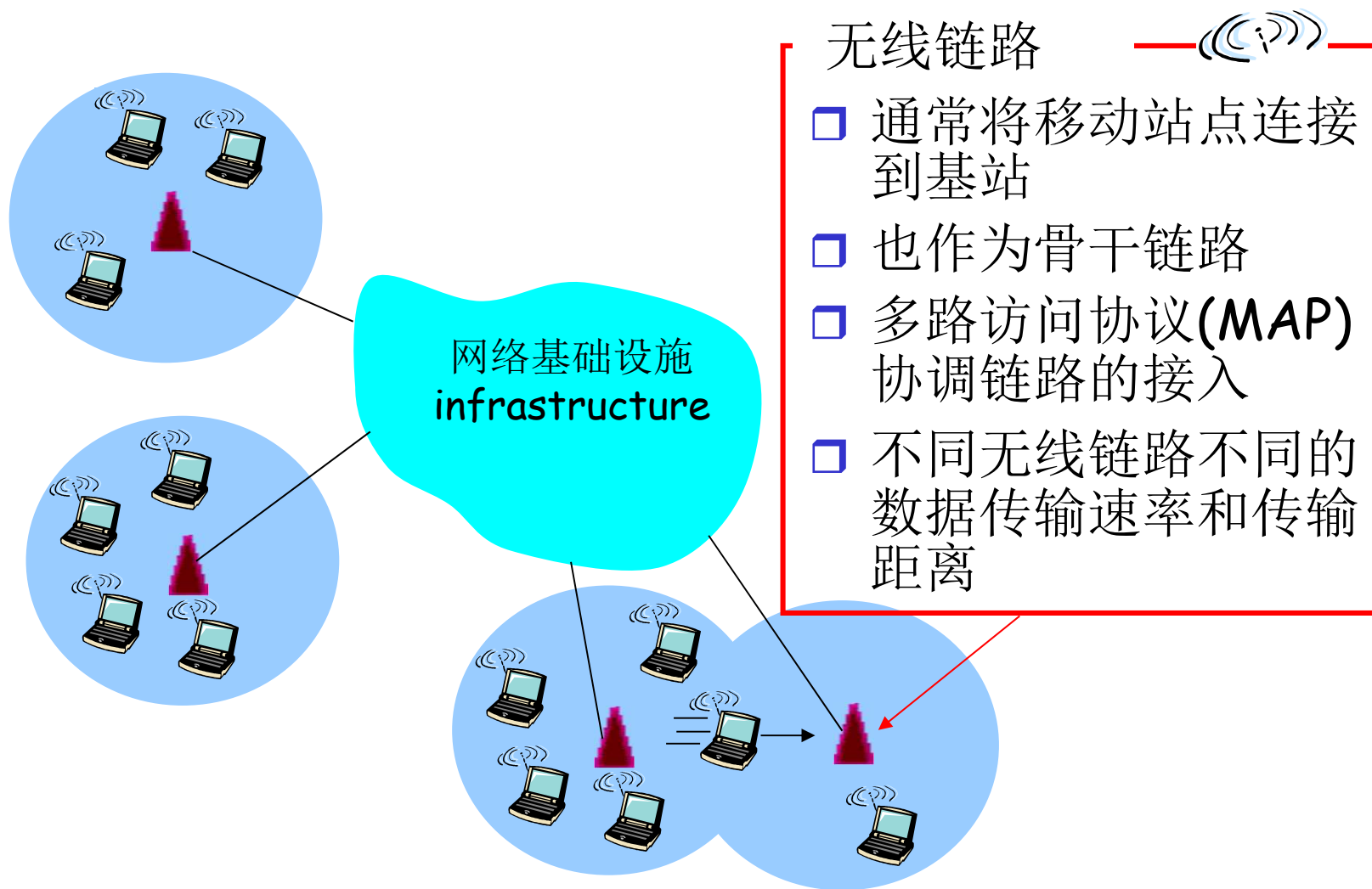
无线网络中的构件



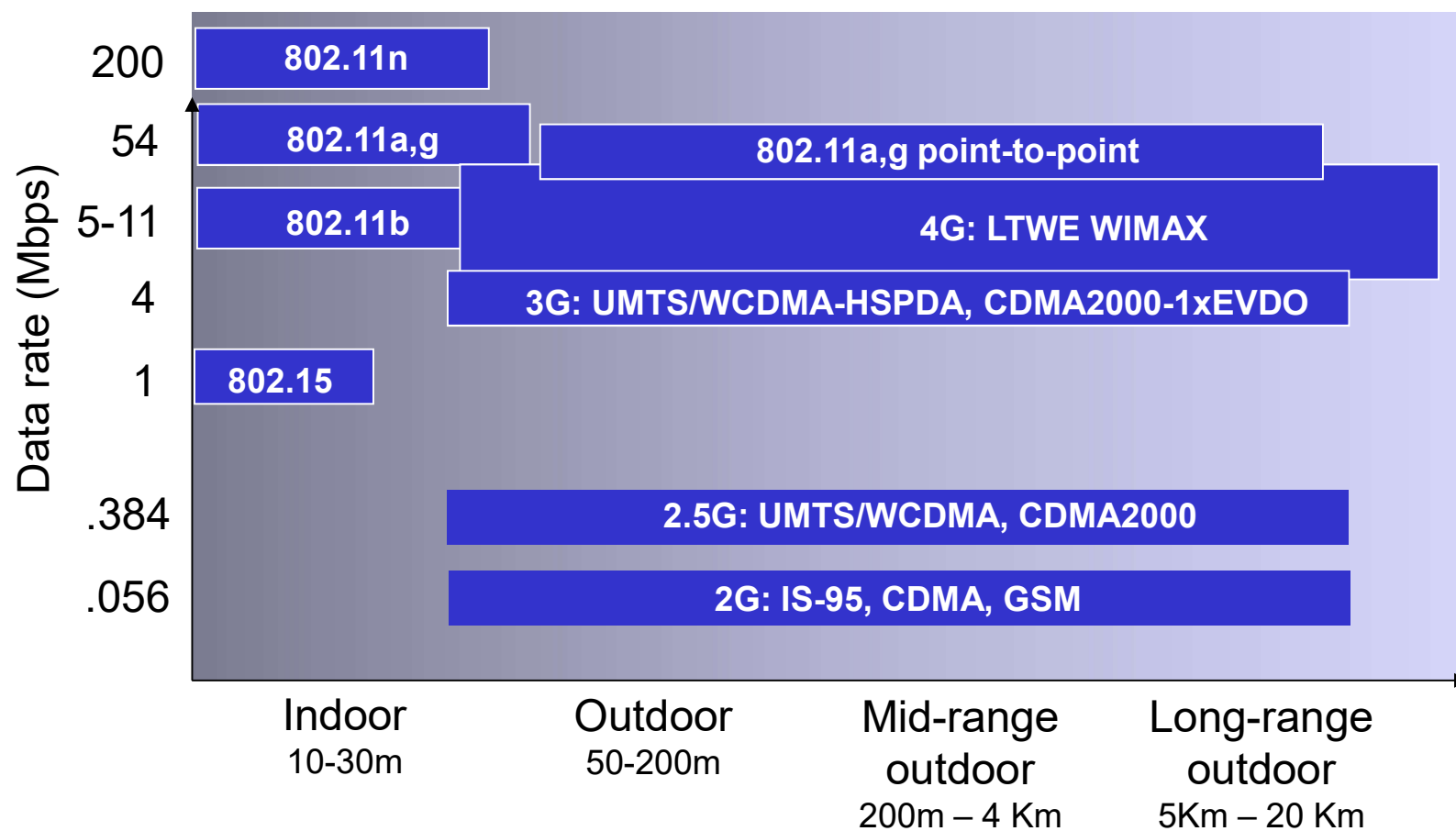
无线网络中的构件



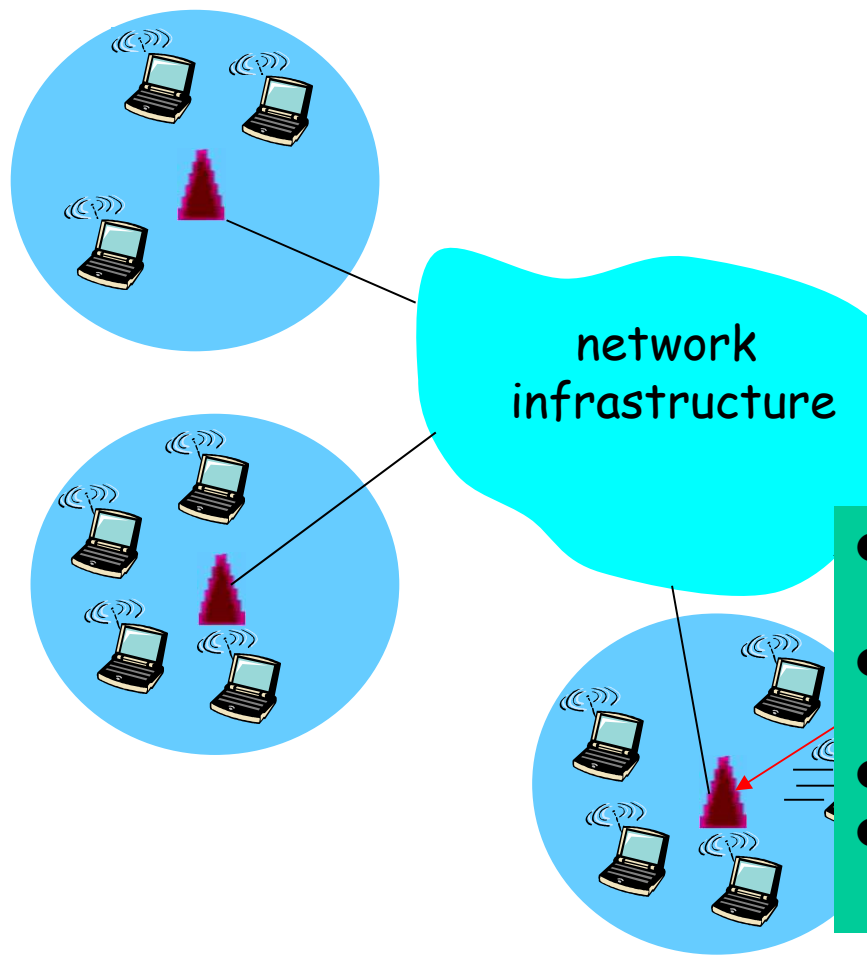
无线网络中的构件



一些无线链路标准的特性



无线网络的运行模式

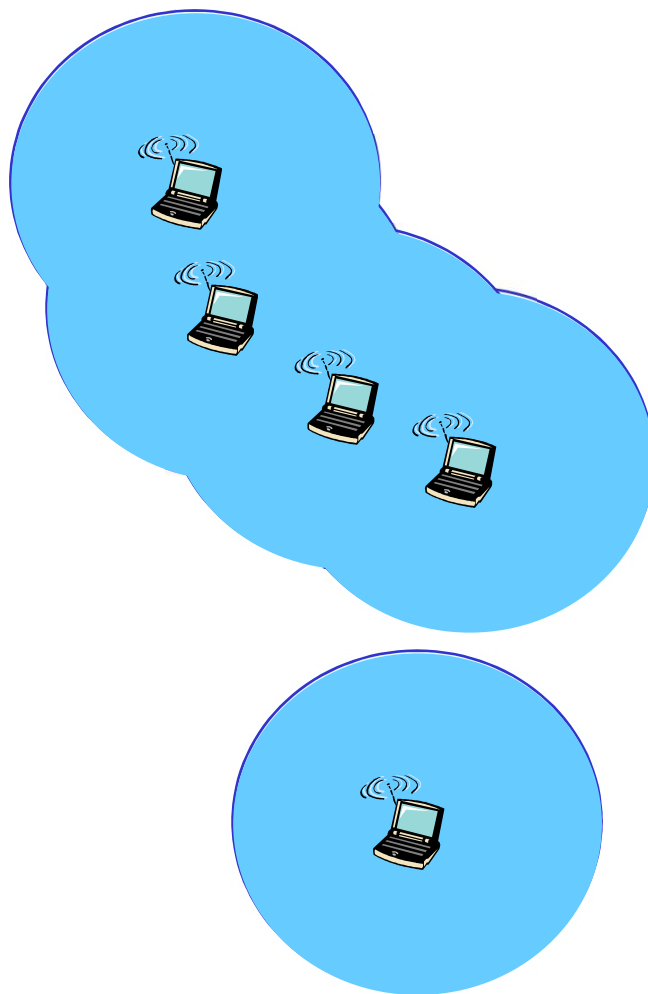


基础设施模式

- ❑ 基站将无线节点连接到有线网络中
- ❑ 移动节点之间不直接通信
- ❑ 切换**handoff**: 移动节点改变接入的基站（通过它连接到有线网络）

- 如何找到移动中的站点在当前网络中的位置？
- 移动到其他网络后，如何找到它的位置？
- 编址
- 如何在移动中保持TCP会话不中断？

无线网络的运行模式



自组织模式(ad hoc mode)

- 没有基站这样的基础设施
- 节点只可以在其链路覆盖范围内将数据传输给其他节点
- 节点组织自己成为一个网络中：相互路由

我们关注：基础设施模式

无线网络分类

重点

	单跳	多跳
基于基础设施 (e.g., APs)	主机连接到基站 (WiFi, WiMAX, cellular) 通过基站连接到 Internet	主机可能不得不通过其他多个无线节点的中继来连接到更大的 Internet: <i>mesh net</i> 无线网状网络
无基础设施	没有基站, 也不连接到更大的 Internet (Bluetooth, ad hoc nets) 一个站点协调其他节点的传输	无基站, 也不连接到更大的 Internet. 可能不得不借助中间节点的中继到达目标节点 MANET, VANET

无线链路特征(1)

与有线链路的重要差别表现在：

- **衰减的信号强度：**无线电磁波信号在通过物体（即使是开放空间时）时衰减(路径损耗)
 - ✓ 随着距离的平方成反比，和物体材料性质有关
 - ✓ 而在有线导引型介质中，任何2点的信号强度变化不是那么大
- **来自其他信号源的干扰：**
 - ✓ 标准无线网络频率 (e.g., 2.4 GHz) 与其它设备如无绳电话共享频段，相互干扰；
 - ✓ 环境中的电磁噪声 (motors) 干扰
- **多路径传播：**无线电磁波信号在物体表面和地面反射，到达目标端的时间会有轻微的差别，让信号变得模糊
 - ⑩ 源和目标之间有移动中的物体，多路径的传播时间会变化

.... 这些因素使得在无线链路上通信（即使是点到点的通信）变得更加“困难”

无线链路特征(2)

□ SNR: 信噪比

- $20\lg(S/N)$ 分贝
- 更大的SNR - 更容易从噪声中提取信号(“好事情”)

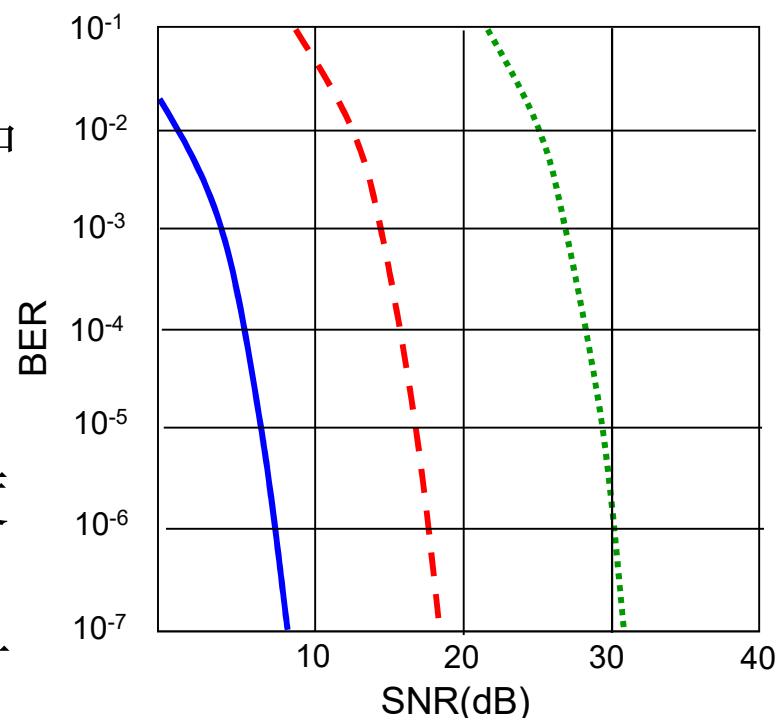
□ BER: 比特出错率

□ SNR 与 BER 权衡

- 给定调制方案: 增加信号强度
→ 增加SNR → 降低 BER
- 给定SNR: 对于给定的调制方案, 高速率具有较高的BER

⑩ SNR 可以随着移动性的变化而变化: 给定信道条件, 自适应调整物理层调制方案(调制技术和速率)

⑩ 能够接收BER的情况下, 尽可能快传



..... QAM256 (8 Mbps)

- - - QAM16 (4 Mbps)

— BPSK (1 Mbps)

无线通信中的控制手段

□ 信号强度（噪声不控） → 信噪比
距离长受短

能耗

BER

调制方案

传输速率

控制目标：出错率可接收的情况下，减少能耗，提高数据传输速率

□ 控制方案：

○ 不改变调制方案情况下，增加或者减少信号强度

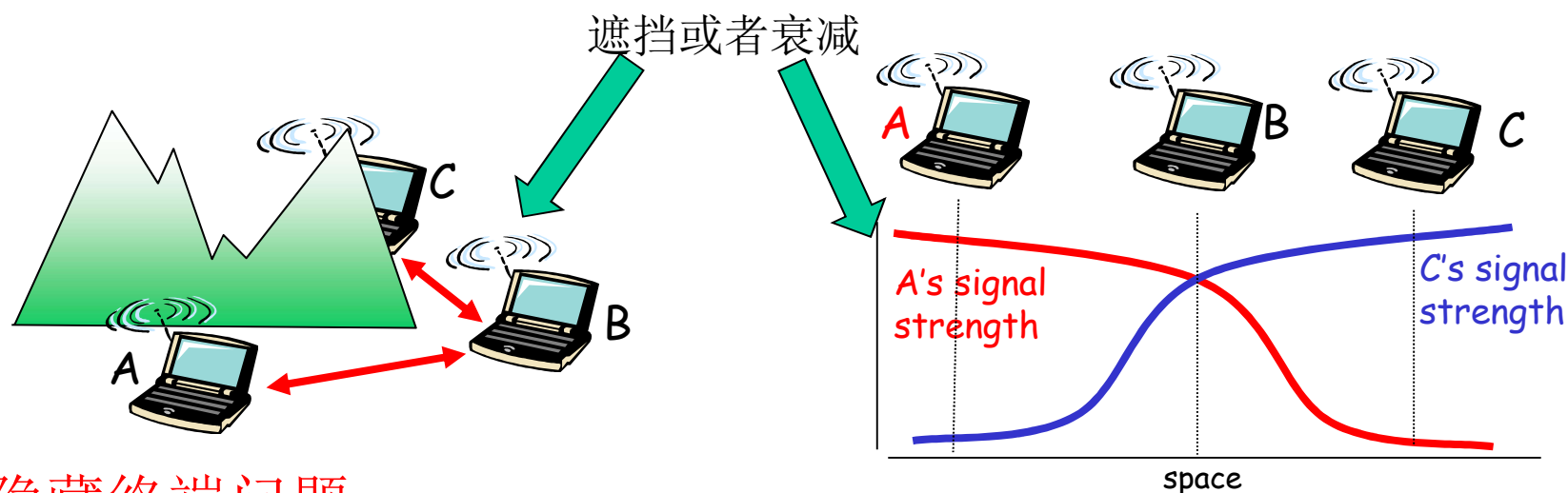
⑩ 不改变传输速率；减少出错率（增加信号强度） or 减少能量支出（可能增加出错率）

○ 不改变SNR，改变调制方案

⑩ 不改变SNR情况下；增加速率（出错率可接受情况下）
或者降低 出错率（通过降低调制方案，降低速率方式）

无线网络特征

多个无线发送端和接收端带来的一些附加问题 (不仅仅是多路接入的问题):



隐藏终端问题

- ❑ B, A可以相互听得到
- ❑ B, C可以相互听得到
- ❑ A, C不能相互听到, 意味着A, C可能意识不到他们在B附近的相互干扰

信号衰减

- ❑ B, A相互听得到
- ❑ B, C相互听得到
- ❑ A, C可能听不到它们在B附近的信号强度足以造成相互干扰

无线链路对组网所带来的问题还包括:
: 暴露终端问题

计算机网络-补课内容

- 1 无线链路及其特点
- 2 IEEE 802.11 无线 LANs (wi-fi)
- 3 信道容量的2个定理
- 4 一些网络互连设备的称呼和DL子层
- 4 拥塞控制和令牌桶算法
- 5 CRC 性能分析

IEEE 802.11 Wireless LAN

❑ 802.11b

- 使用无需许可的2.4-5 GHz 频谱
 - ✓ 无绳电话和微波炉
- 最高11 Mbps
- 在物理层采用直接序列扩频
direct sequence spread spectrum (DSSS)
 - ✓ 所有的主机采用同样的序列码

不同：速率，物理层

相同：MAC, 帧格式

❑ 802.11a

- 更高频率5-6 GHz
- 最高54 Mbps
- 距离相对短，受多路径影响大

❑ 802.11g

- 频率2.4-5 GHz
- 最大54 Mbps
- 与802.11b向后兼容

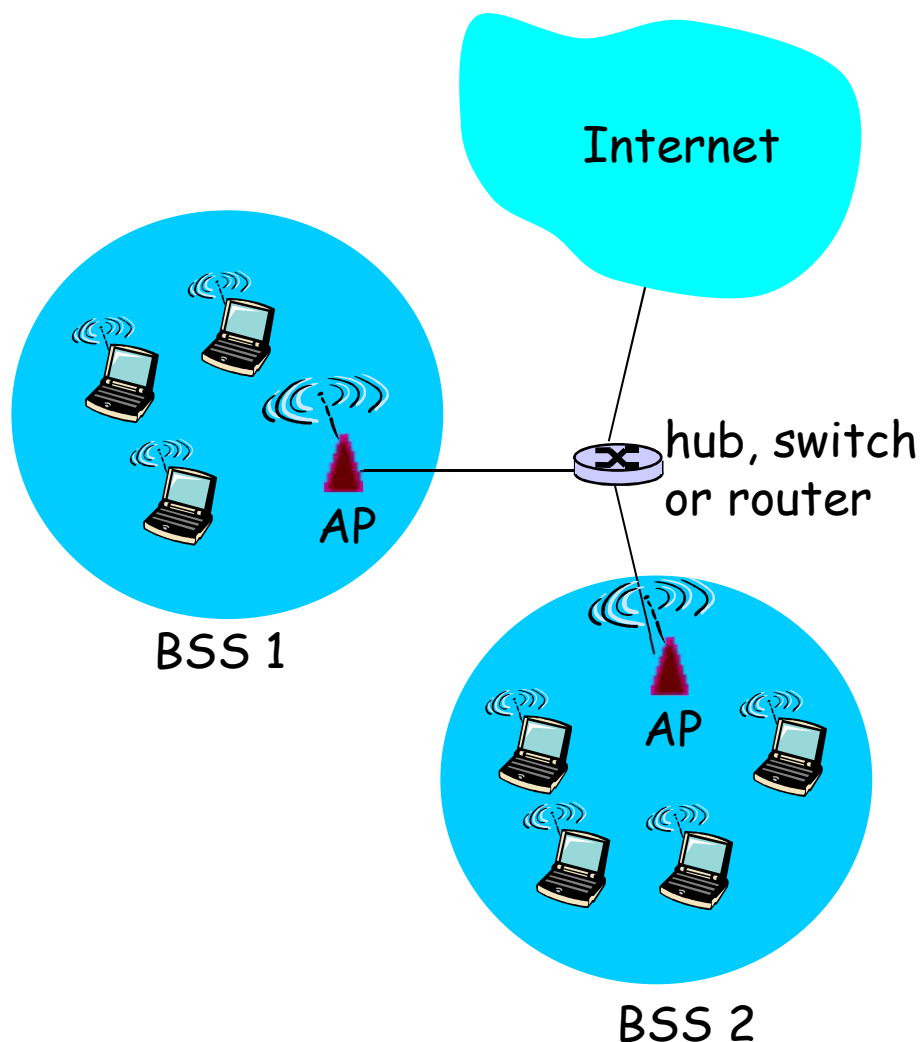
❑ 802.11n: 多天线MIMO

- 频率2.4-5 GHz
- 最高200 Mbps

❑ 所有的802.11标准都是用CSMA/CA进行多路访问

❑ 所有的802.11标准都有基站模式和自组织网络模式

802.11 LAN 体系结构

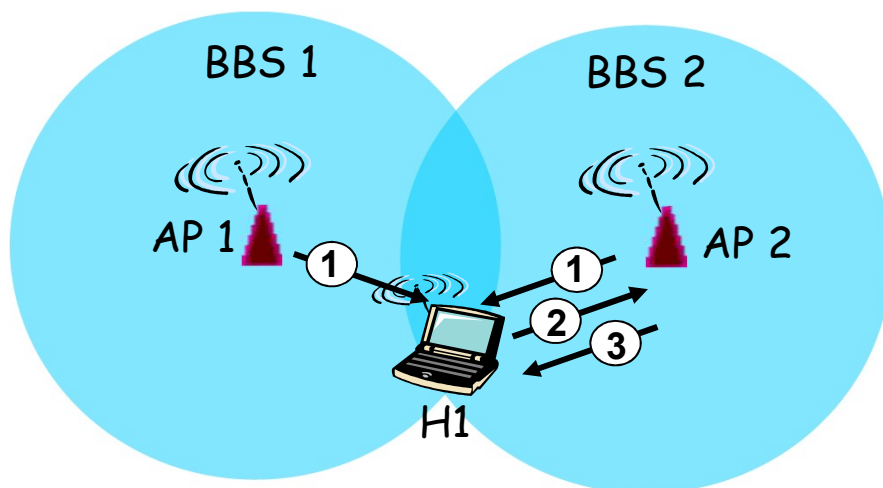


- ❑ 无线主机与基站通信
 - 基站base station = 接入点access point (AP)
- ❑ 基础设施模式下的基本服务集Basic Service Set (BSS) (aka"cell") 包括以下构件:
 - 无线主机
 - 接入点(AP): 基站
 - 自组织模式下: 只有无线主机

802.11: 信道与关联

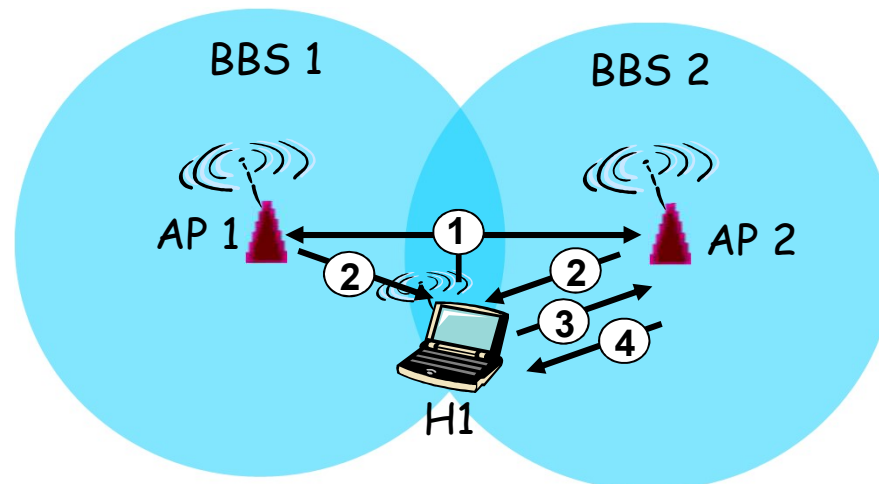
- ❑ 802.11b: 2.4GHz-2.485GHz 频谱被分为11个相互不同的但是部分重叠的频段
 - AP管理员为AP选择一个频率
 - 可能的干扰: 邻居AP可能选择同样一个信道!
- ❑ 主机: 必须在通信之前和AP建立*associate*
 - 扫描所有的信道, 侦听包含AP SSID和MAC地址的信标帧
 - ✓ 主动扫描: 主机发送探测, 接受AP的响应
 - ✓ 被动扫描
 - 选择希望关联的AP
 - 可能需要执行鉴别 (认证) [Chapter 8]
 - ✓ 基于MAC、用户名口令
 - ✓ 通过AP的中继, 使用RADIUS鉴别服务器进行身份鉴别
 - 将会执行DHCP获得IP地址和AP所在的子网前缀

802.11: 被动/主动扫描



被动扫描:

- (1) AP发送信标帧
- (2) 关联请求帧的发送: H1向拟关联的AP
- (3) 关联响应帧的发送: AP向H1

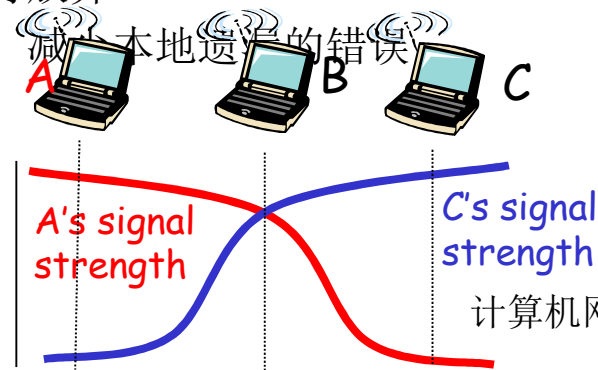
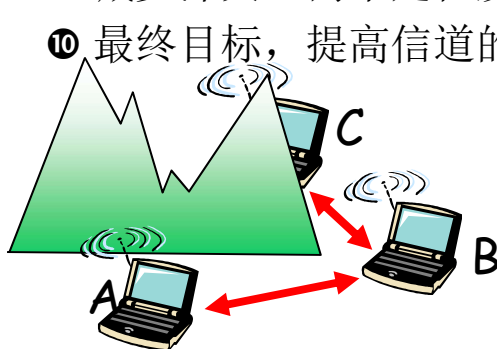


主动扫描:

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

IEEE 802.11: MAC问题

- ❑ 冲突: 2+ 站点 (**AP**或者站点) 在同一个时刻发送
- ❑ 802.11: CSMA - 发送前侦听信道
 - 不会和其它节点正在进行的传输发生冲突
- ❑ 802.11: 没有冲突检测!
 - 由于被接受的信号相对于自身信号的强度太低, 所以在发送时, 接收通常很难 (冲突检测)
 - 不能够检测出所有的冲突: 冲突检测也没有意义
 - ⑩ 隐藏终端: 信号衰减
 - ⑩ 即使当前位置有冲突, 并不意味着发送是失败的; 无冲突, 也不意味着成功
 - 目标: **avoid collisions: CSMA/C(ollision)A(avoidance)**
 - ⑩ 一旦发送, 一股脑全部发送完毕, 而不是在这个过程中CD
 - ⑩ 减少冲突, 而不是在发生冲突时放弃
 - ⑩ 最终目标, 提高信道的利用率, 减少本地发送的错误



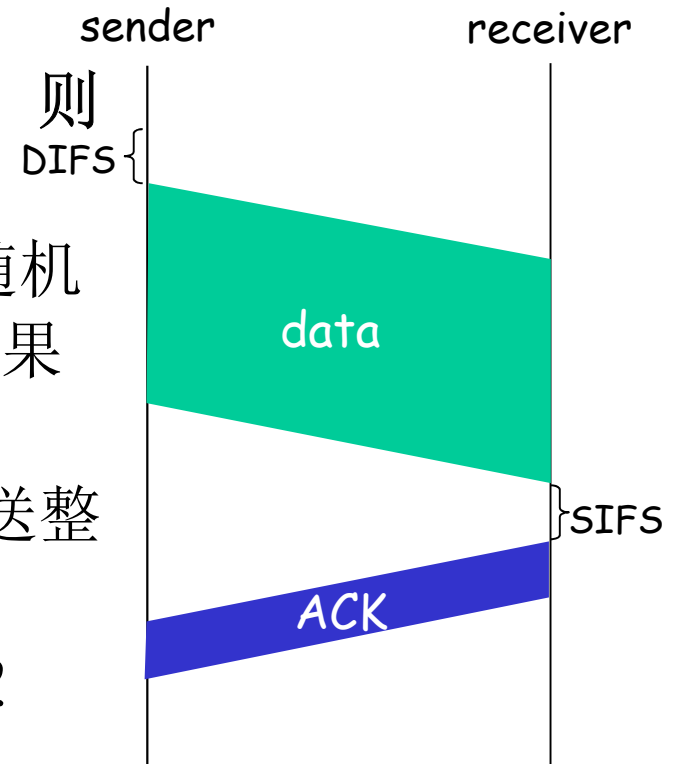
IEEE 802.11 MAC 协议: CSMA/CA

802.11 发送方

- 1 如果站点侦测到信道空闲持续**DIFS**长，则传输整个帧 (no CD)
- 2 如果侦测到信道忙碌，那么 选择一个随机回退值，并在信道空闲时递减该值；如果信道忙碌，回退值不会变化

到数到**0**时（只发生在信道空闲时）发送整个帧

如果没有收到**ACK**, 增加回退值，重复2



802.11 接收方

- 如果帧正确，则在**SIFS**后发送**ACK**

(无线链路特性，需要每帧确认；例如：由于隐藏终端问题，在接收端可能形成干扰,接收方没有正确地收到)

IEEE 802.11 MAC 协议: CSMA/CA

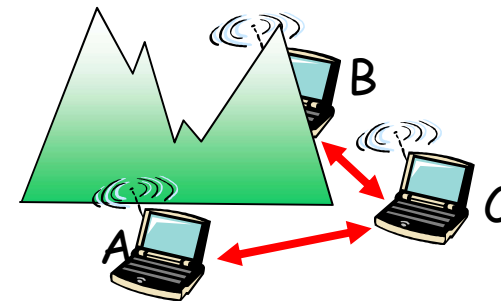
- ❑ 在count down时，侦听到了信道空闲为什么不发送，而要等到0时在发送
 - 2个站点有数据帧需要发送，第三个节点正在发送
 - CSMA/CD: 让2者听完第三个节点发完，立即发送
 - ✓ 冲突：放弃当前的发送，避免了信道的浪费于无用冲突帧的发送
 - ✓ 代价不昂贵
 - CSMA/CA
 - ✓ 无法CD，一旦发送就必须发完，如果冲突信道浪费非常严重，冲突在无线网络中是一个严重的事件，代价高昂
 - ✓ 思想：尽量避免冲突，而不是在发生冲突时放弃然后重发
 - ✎ 如果2个站点等到信道空闲，马上发送，就会立即引起冲突
 - ✓ 听到发送的站点，分别选择随机值，回退到0发送
 - ✎ 不同的随机值，一个站点会胜利
 - ✎ 失败站点会冻结计数器，当胜利节点发完再发

IEEE 802.11 MAC 协议: CSMA/CA

❑ 无法完全避免冲突

○ 两个站点相互隐藏:

- ⑩ A,B 相互隐藏, C在传输
- ⑩ A,B选择了随机回退值
- ⑩ 一个节点如A胜利了, 发送
- ⑩ 而B节点收不到, 顺利count down到0 发送
- ⑩ A,B的发送在C附近形成了干扰



○ 选择了非常靠近的随机回退值:

- ⑩ A,B选择的值非常近
- ⑩ A到0后发送
- ⑩ 但是这个信号还没到达B时
- ⑩ B也到0了, 发送
- ⑩ 冲突

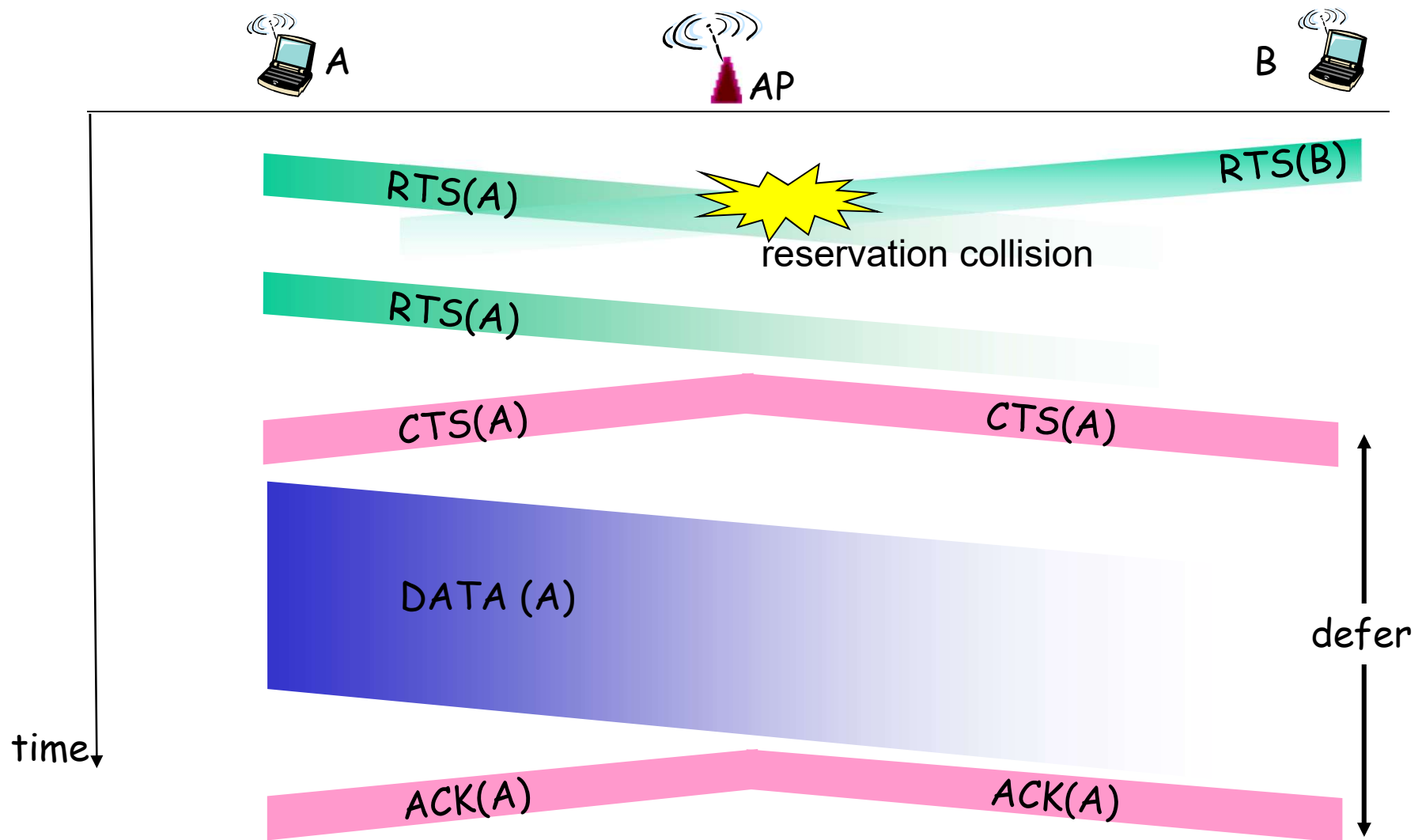
冲突避免(续)

思想: 允许发送方“预约”信道，而不是随机访问该信道：避免长数据帧的冲突（可选项）

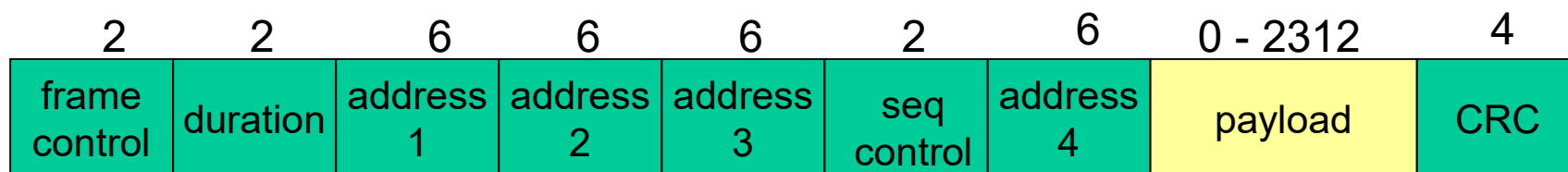
- 发送方首先使用**CSMA**向**BS**发送一个小的**RTS**分组
 - **RTS**可能会冲突（但是由于比较短，浪费信道比较少）
- **BS**广播 **clear-to-send CTS**，作为**RTS**的响应
- **CTS**能够被所有涉及到的节点听到
 - 发送方发送数据帧
 - 其它节点抑制发送

采用小的预约分组，可以完全避免数据帧的冲突

冲突避免：RTS-CTS 交换



802.11 帧：地址



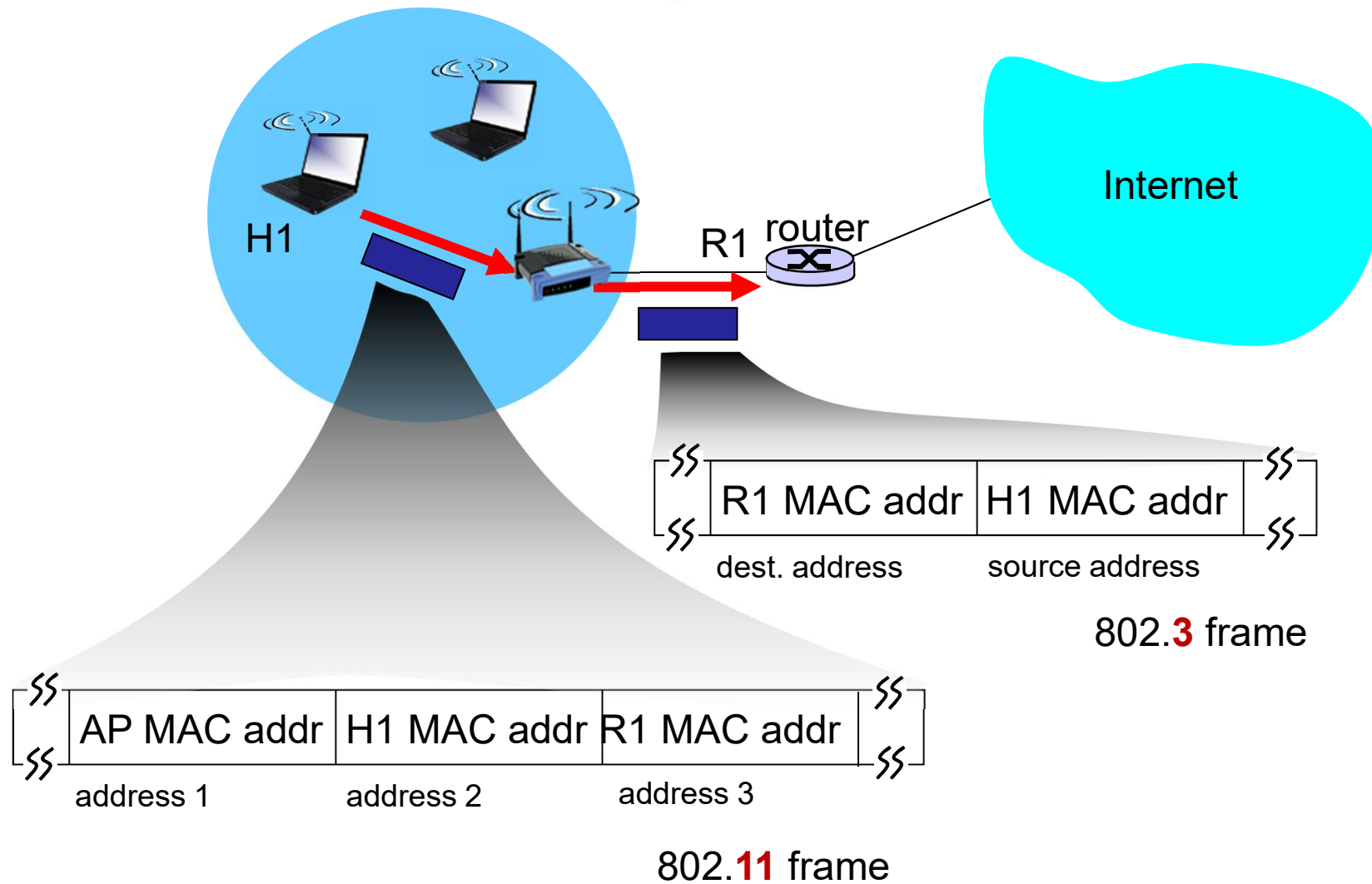
Address 1: 主机或者AP的MAC地址，指明帧的接收方

Address 2: 发送该帧的主机或者AP的MAC地址

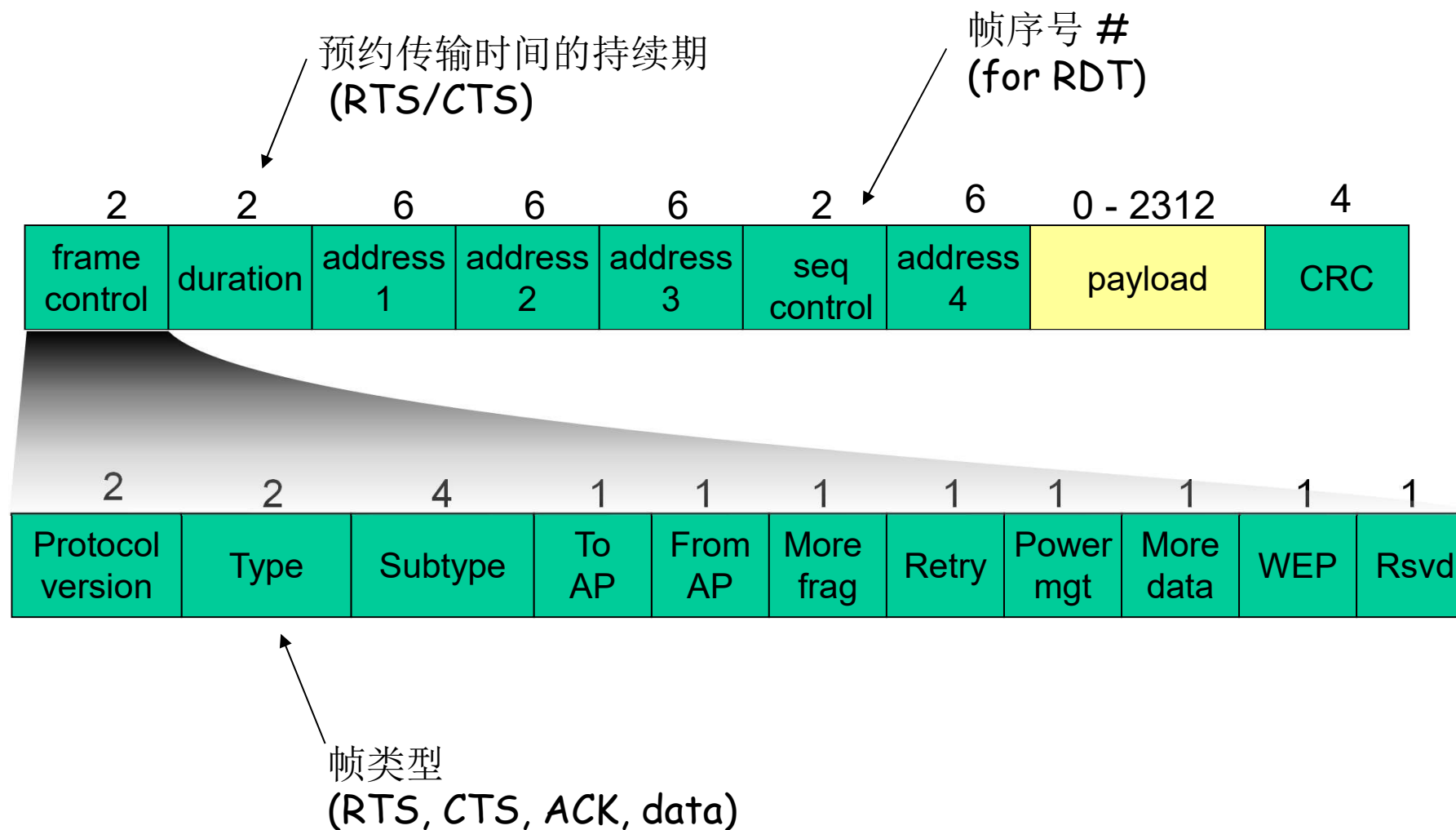
Address 3: AP连接的路由器接口的MAC地址

Address 4: 只在自组织模式中使用

802.11 帧: 地址



802.11 帧: 续



计算机网络-补课内容

- 1 无线链路及其特点
- 2 IEEE 802.11 无线 LANs (wi-fi)
- 3 信道容量的2个定理
- 4 一些网络互连设备的称呼和DL子层
- 4 拥塞控制和令牌桶算法
- 5 CRC 性能分析

信道容量2个定理

□ Nyquist 定理:

- 低通信道: 理想低通信道的极限码元传输速率 = $2 * W$; 其中 W 为低通信道的带宽
- 带通信道: 理想带通信道的极限码元传输速率 = W ; 其中 W 为带通信道的带宽
- 码元的单位是波特, 一个波特可以包含多个bits

□ Shannon定理:

- 带宽有限, 信道有噪声
- 极限信息传输速率 $C = W * \log_2(1+s/n)$ b/s
- W : 信道带宽; s 为信号功率; n 为噪声功率; s/n 信噪比

计算机网络-补课内容

- 1 无线链路及其特点
- 2 IEEE 802.11 无线 LANs (wi-fi)
- 3 信道容量的2个定理
- 4 一些网络互连设备的称呼和DL子层
- 4 拥塞控制和令牌桶算法
- 5 CRC 性能分析

网络互联设备

- ❑ 将**2**个不同的网络连接到一起的设备，在**2**种不同网络之间协议转换和 转发
- ❑ 按照工作的层次可以分成
 - 物理层：中继器，集线器
 - 链路层：网桥
 - 网络层：多协议路由器
 - 传输层和应用程序：网关

DL层划分

□ **LLC: MAC**和网络层的接口

- 多路复用解复用
- 流量控制和差错控制

□ **MAC**:屏蔽信道的差别

- 帧的识别和定界
- 寻址，检错
- 传送LLC PDU
- 共享信道的介质访问控制，仲裁信道的使用

计算机网络-补课内容

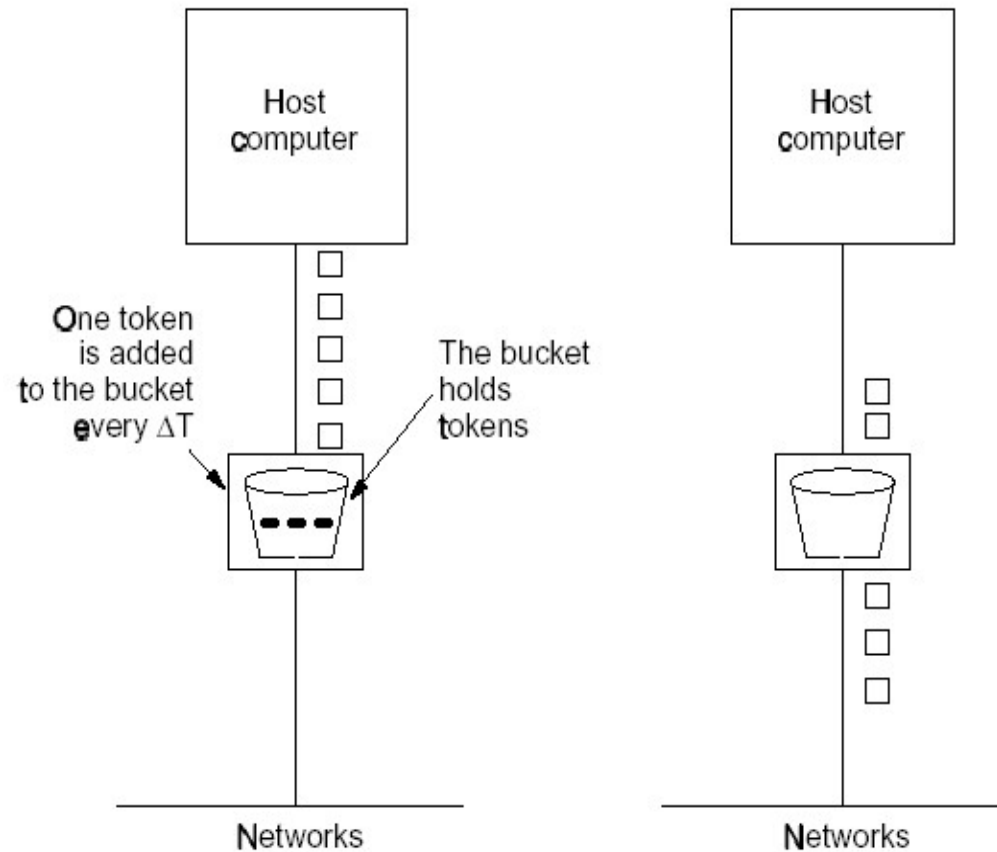
- 1 无线链路及其特点
- 2 IEEE 802.11 无线 LANs (wi-fi)
- 3 信道容量的2个定理
- 4 一些网络互连设备的称呼和DL子层
- 4 拥塞控制和令牌桶算法
- 5 CRC 性能分析

拥塞控制

- ❑ 拥塞控制可以在多个层次上进行：网络层和传输层，可能涉及到网络核心
- ❑ 拥塞控制一般方法
 - 拥塞避免：采用策略防止拥塞发生
 - 拥塞控制：检测拥塞，拥塞控制
- ❑ 对于网络是无连接网络：拥塞控制倾向于在端系统中的传输层做，如**IP**网络
- ❑ 网络是虚电路网络：一般在网络层去做
 - 如**ATM**网络

拥塞避免

- 网络整形：一种常用的拥塞避免措施
- 漏桶和令牌桶



令牌桶算法

- 与漏桶算法的区别：

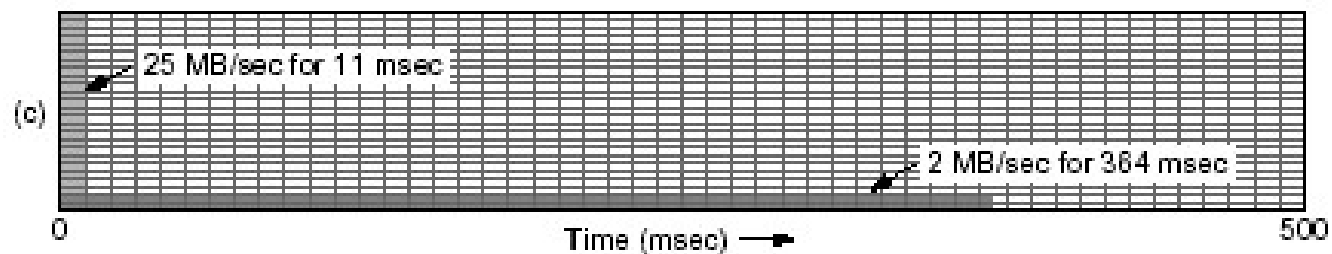
- ⑩允许主机在空闲积攒令牌，以便有突发通信量时使用

- ⑩令牌桶会丢失令牌，但不会丢失分组；漏桶算法会丢失分组

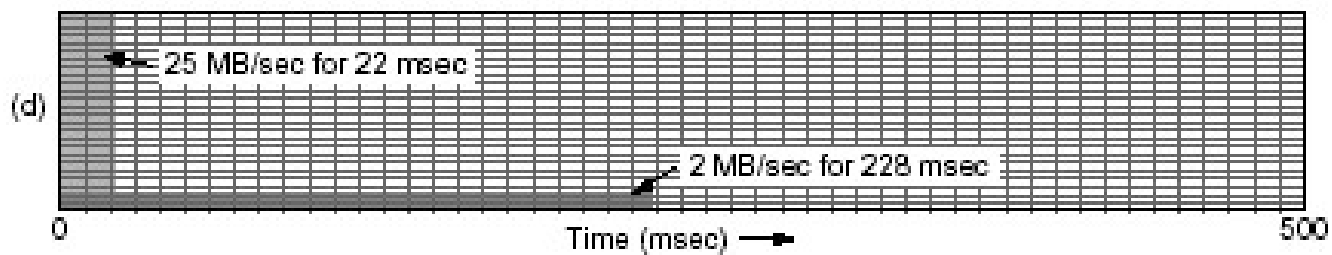
- 分组是变长时，一个令牌可以发送若干个字节

□令牌桶算法

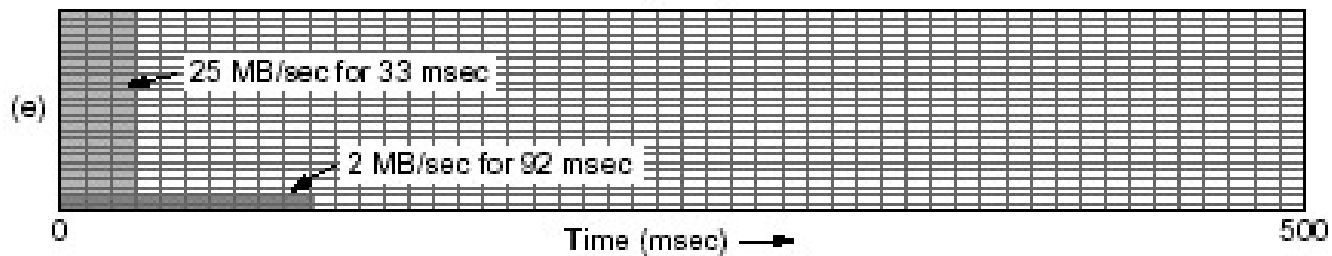
○一个例子



令牌桶容量
500KB



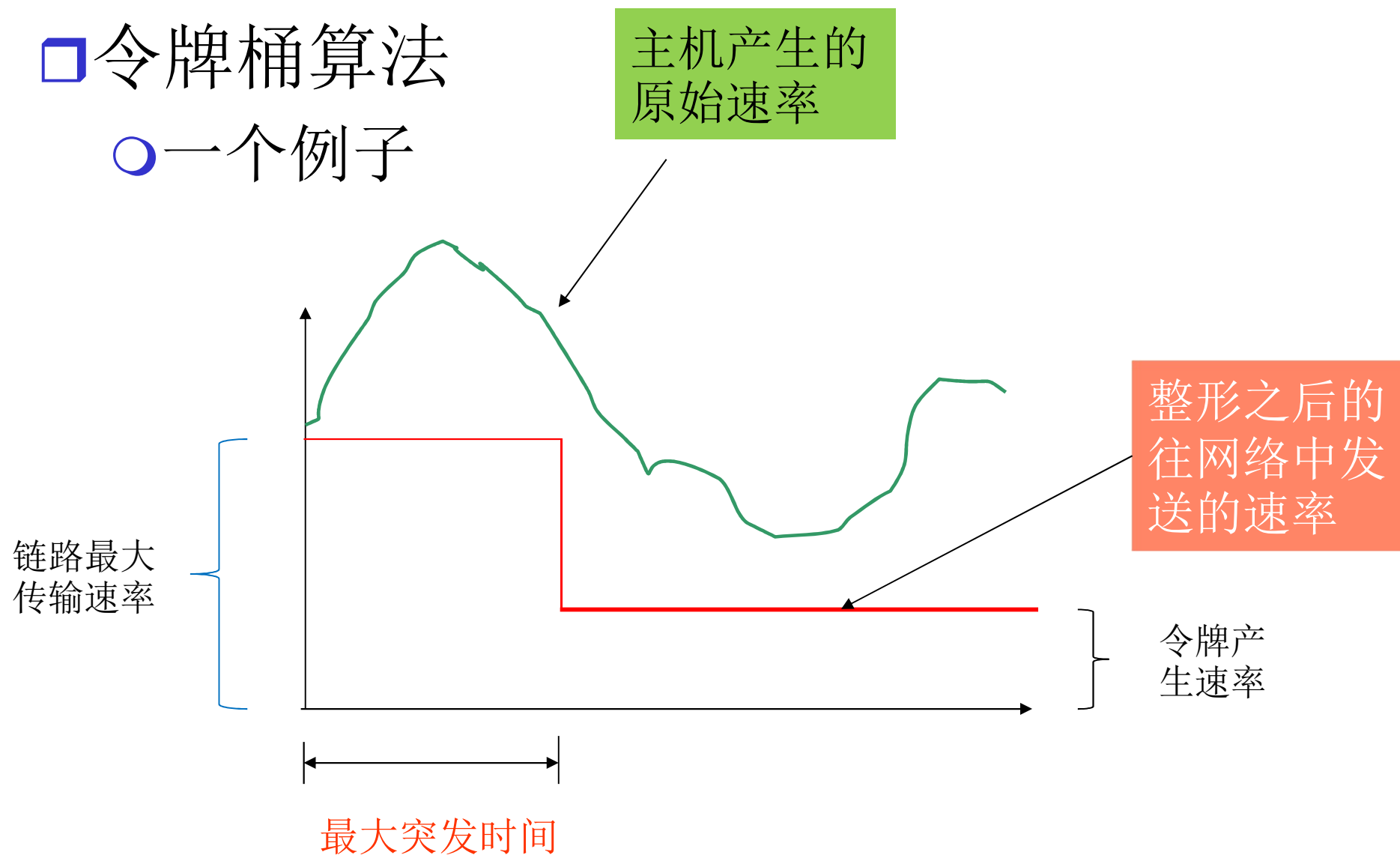
令牌桶容量
750KB



令牌桶容量
1MB

□ 令牌桶算法

○ 一个例子



□令牌桶算法

○最大突发时间的计算

⑩突发时间： S 秒；令牌桶容量为： C 字节

⑩令牌到来的速率为： ρ 字节/秒

⑩线路最大传输速率： M 字节/秒

⑩ $MS = C + \rho S$

⑩ $S = C / (M - \rho)$

⑩在突发时间内，又有一些令牌到来可以被用于数据的发送

计算机网络-补课内容

- 1 无线链路及其特点
- 2 IEEE 802.11 无线 LANs (wi-fi)
- 3 信道容量的2个定理
- 4 一些网络互连设备的称呼和DL子层
- 4 拥塞控制和令牌桶算法
- 5 CRC 性能分析

CRC性能分析

❑ 突发错误和突发长度

❑ CRC检错性能描述

- 能够检查出所有的**1bit**错误
- 能够检查出所有的双**bits**的错误
- 能够检查出所有长度 $=r$ 或者 $<r$ 位的错误
- 出现长度为 $r+1$ 的突发错误，检查不出的概率是

$$\frac{1}{2^{r-1}}$$

- 出现长度大于 $r+1$ 的突发错误，检查不出的概率

$$\frac{1}{2^r}$$