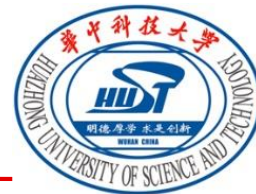


计算机网络 Computer Networks

直连网络：共享链路

提纲



□ 问题: 物理上相连的主机

➤ 物理层

- 数据编码

➤ 数据链路层

- 帧定界
- 差错检测
- 可靠传输

➤ 介质访问控制子层

- 多路访问
- 局域网技术
- 以太网 (802.3)
- 无线局域网

**点到点链路的
四个基本问题**

共享链路的问题

□ 问题: 物理上相连的主机

➤ 物理层

- 数据编码

➤ 数据链路层

- 帧定界
- 差错检测
- 可靠传输

➤ 介质访问控制子层

- 多路访问
- 局域网技术
- 以太网 (802.3)
- 无线局域网

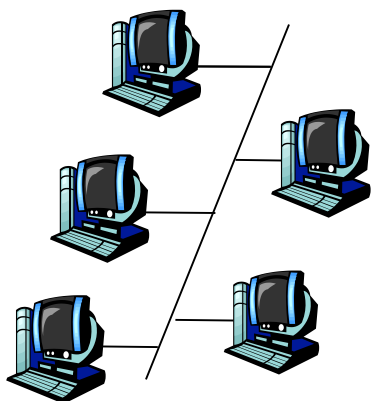
点到点链路的
四个基本问题

共享链路的问题

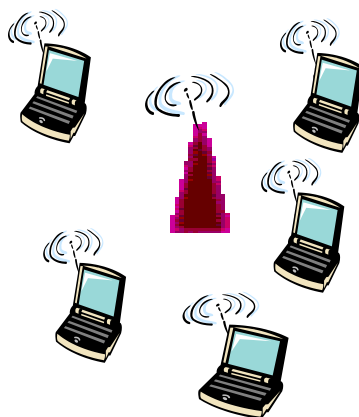
多路访问

□ 两种类型的“链路”

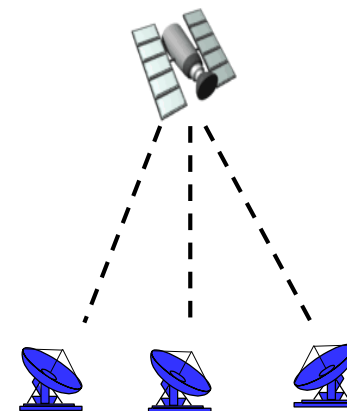
- 点到点链路
- 共享/广播链路 (共享的有线/无线传输媒质)



共享的有线媒质
(例如, 同轴电缆以太网)



共享的无线媒质
(例如, 802.11 WiFi)

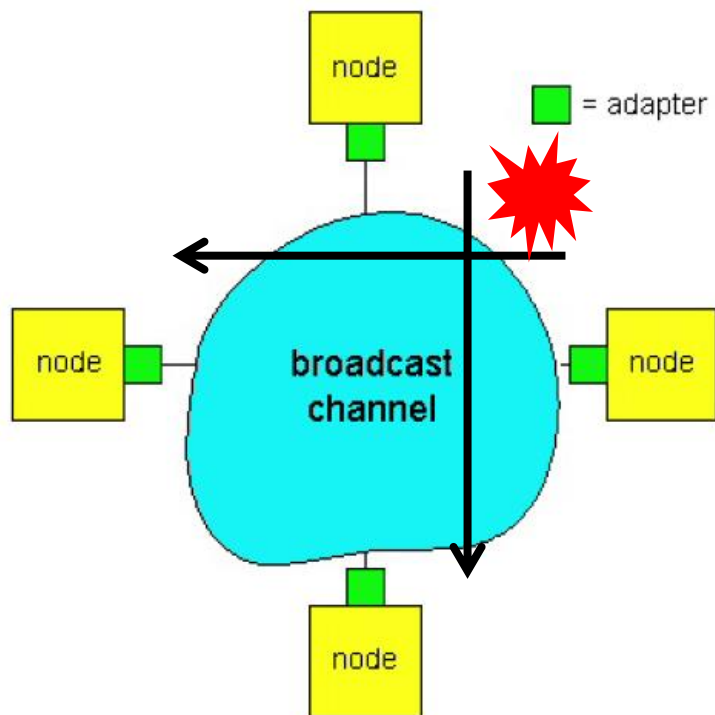


共享的无线媒质
(例如, 卫星通信)

多路访问

□ 共享/广播链路通信的问题

- **干扰**: 如果两个或多个节点同时传输
- **冲突**: 如果节点同时收到两个或多个信号



多路访问问题:

如何协调多个发送节点和多个节点的接入访问一条共享的广播链路?

多路访问

□ 解决方案

➤ 第一步：寻址

- 识别谁在说话

➤ 第二步：多路访问控制

- 分布式的算法决定节点之间如何共享信道, 例如, 决定每一个节点什么时候可以发送数据
- 分布式MAC协议简单, 应用广泛, i.e., WiFi
- 信道共享信息的通信只能使用通信信道本身!
 - 不存在专门的协调信道

MAC 协议

□ 静态信道划分

- 将信道划分为较小的“pieces” (时隙, 频率, 编码)
- 每一个piece被分配给某一节点专用
- 广泛应用于数字通信
- 例如: TDMA, CDMA, FDMA

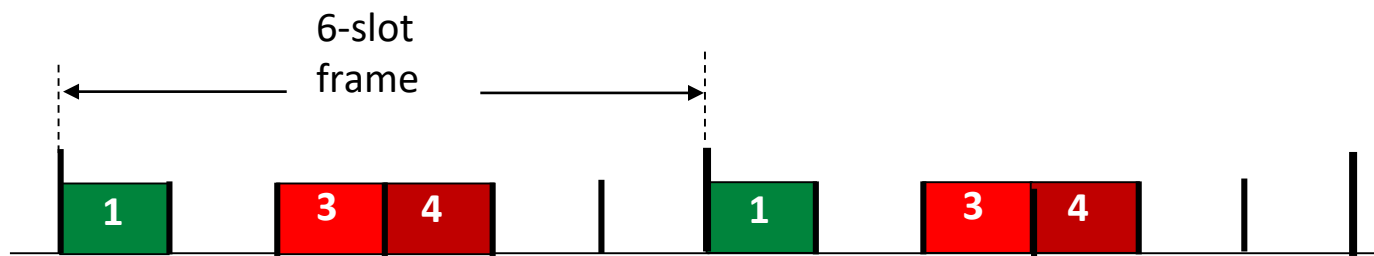
□ 随机接入

□ 轮转接入

信道划分: TDMA

TDMA: 时分多路复用

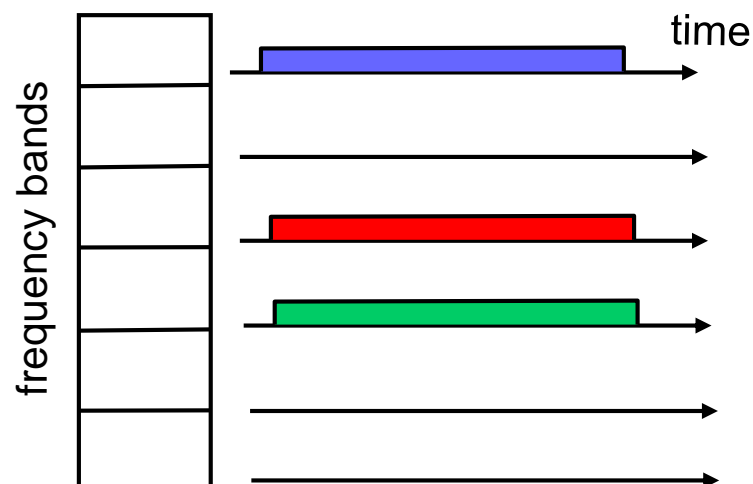
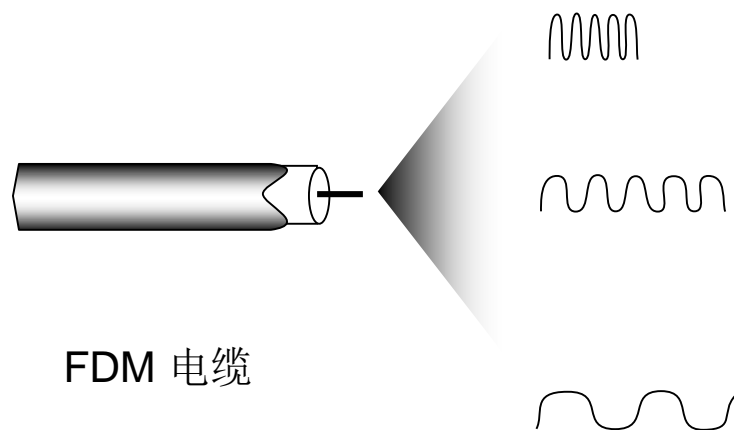
- ❑ “循环”接入信道
- ❑ 在每次循环中每一个节点占用信道固定时长 (时隙, 长度 = 数据帧传输时延)
- ❑ 未使用的时隙保持空闲
- ❑ 示例: 6个站点的LAN, 时隙1,3,4 有帧发送, 时隙2,5,6空闲



信道划分: FDMA

FDMA: 频分多路复用

- ❑ 信道频谱划分为多个频带
- ❑ 每个站点分配固定的频带
- ❑ 频带未使用时为空闲
- ❑ 示例: 6个站点的LAN, 频带1,3,4 有帧发送, 频带2,5,6空闲



静态信道划分的特点

□ 问题

- 资源分配不合理，不满足用户对资源占用的不同需求
- 有资源浪费，效率低
- 延迟时间增大 N 倍

□ 适用情况

- 适于用户数量少且用户数目固定的情况
- 适于通信量大且流量稳定的情况
- 不适用于突发性业务的情况

□ 设计动态分配的方法

- 目的1：更好地满足需求
- 目的2：提高信道利用率

MAC 协议

□ 静态信道划分

□ 随机接入

- 不划分信道, 允许冲突发生
- “避免” 冲突 或 冲突“恢复”
- 更适合于基于分组的数据通信
- 例如 Aloha, CSMA, ...

□ 轮转接入

随机接入方式

□ 当节点有数据发送时

- 以信道带宽 R 发送数据
- 节点之间不存在事前的协调

□ 两个或多个节点同时发送数据 → “冲突”

□ 随机接入MAC协议

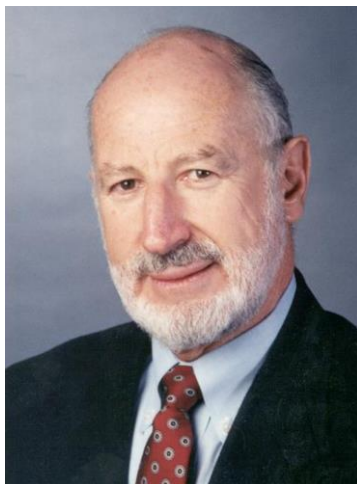
- 如何检测冲突
- 发生冲突后如何恢复 (例如, 延迟重传)

□ 随机接入MAC协议的实例

- ALOHA, 时隙ALOHA
- CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA

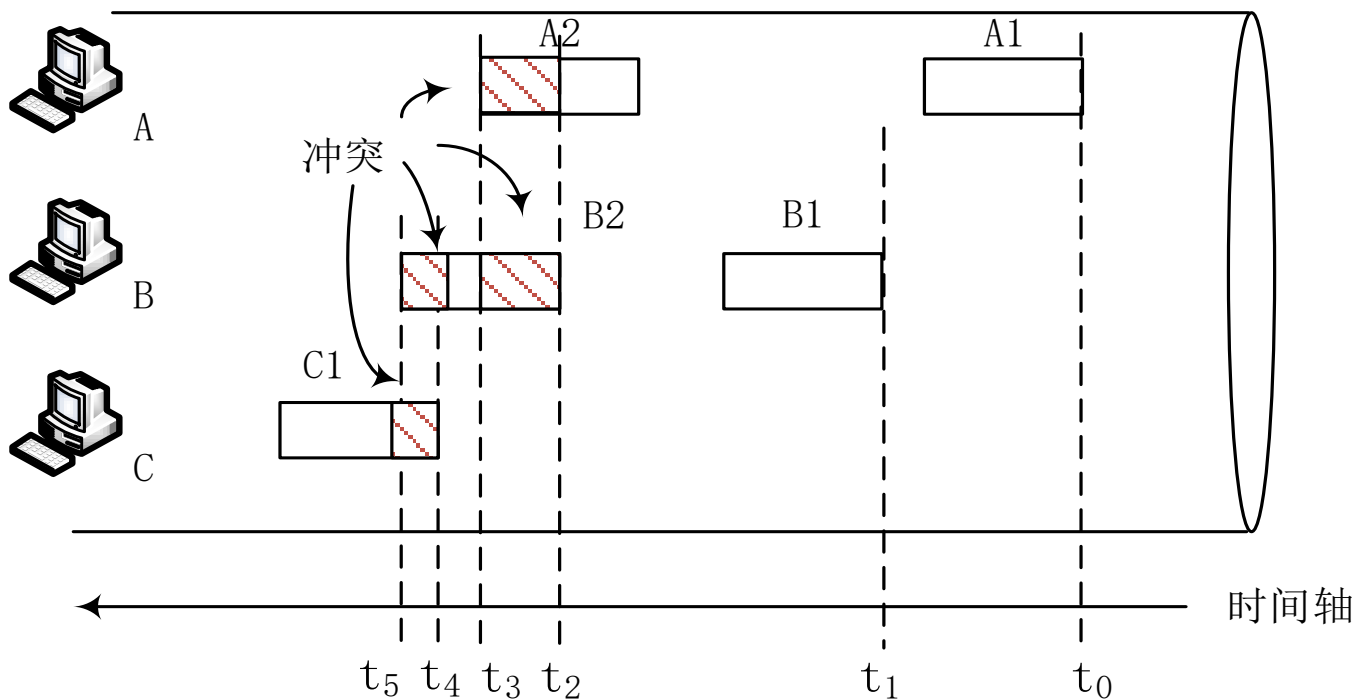
随机接入: ALOHA

- ❑ 夏威夷大学Norman Abramson及他的同事设计
- ❑ ALOHANet: 连接檀香山和其它岛屿
- ❑ 两个版本
 - 纯ALOHA协议
 - 时隙ALOHA协议

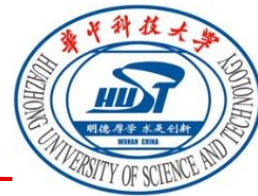


随机接入: 纯ALOHA

- ❑ 纯Aloha: 想发就发, 简单任性
- ❑ 一旦数据帧到达, 立即发送
- ❑ 如果发生冲突, 节点等待随机时间后重发数据直到发送成功



纯 ALOHA 协议



随机接入: 时隙ALOHA

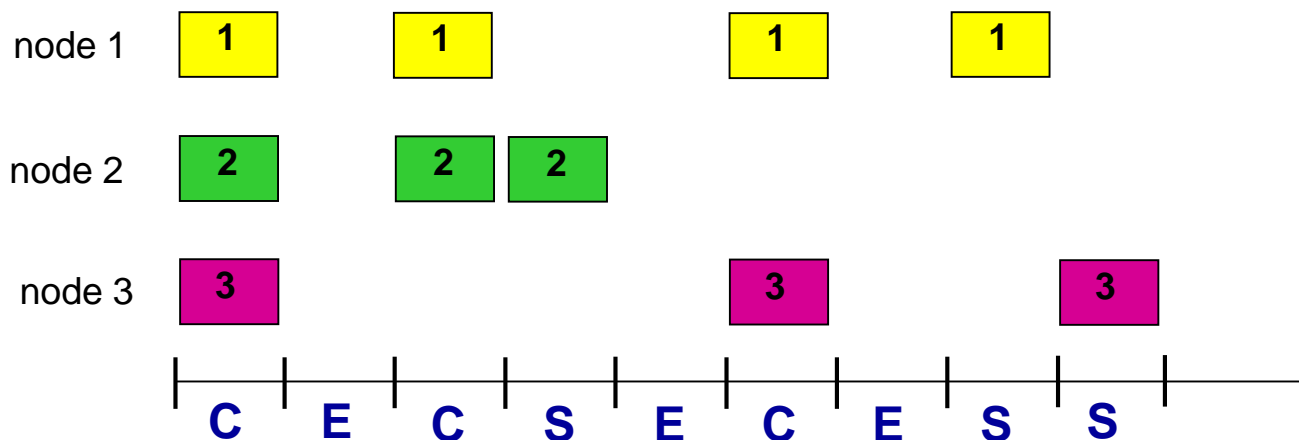
□ 假设:

- 所有的数据帧长度相同
- 时间轴被划分为等时长的时隙 (时长为发送1个数据帧的时延)
- 节点只能在时隙到达时开始发送数据
- 节点之间同步
- 如果2个或多个节点在同一时隙内发送数据, 所有节点均能检测到冲突的发生

□ 操作:

- 当节点获得新的数据帧, 等待下一时隙到达开始发送
- 如果不存在冲突: 节点可以在下一时隙到达发送新的数据帧
- 如果发生冲突: 节点以概率 p 在每一个后续时隙内发送数据直到发送成功

随机接入: 时隙ALOHA



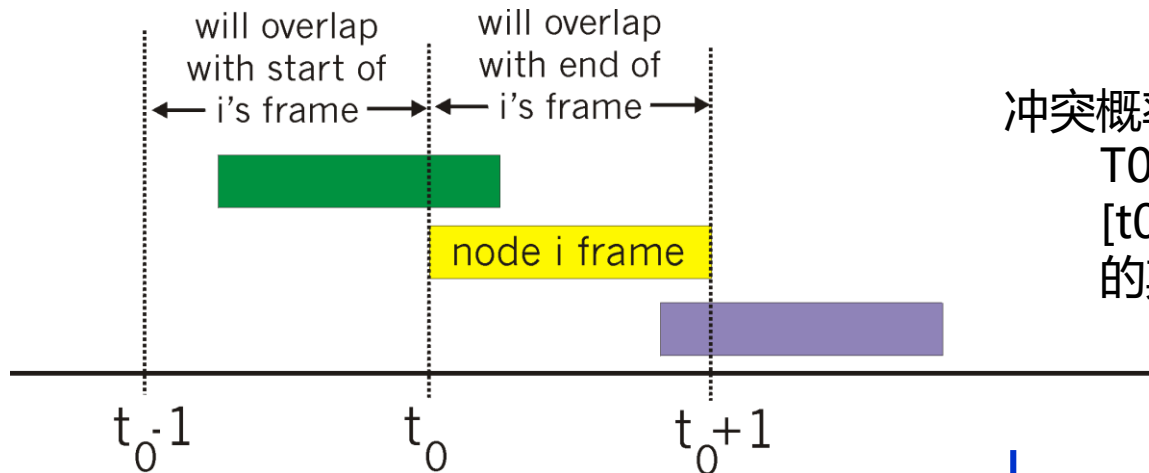
优点

- ❑ 一个活动节点可以持续以全速 (信道带宽) 发送数据帧
- ❑ 高度去中心化: 无需中央调度
- ❑ 简单

缺点

- ❑ 冲突, 浪费时隙
- ❑ 空闲时隙
- ❑ 节点可能花费较长的时间进行冲突监测与退避重传
- ❑ 要求时钟同步

随机接入: 纯ALOHA的性能



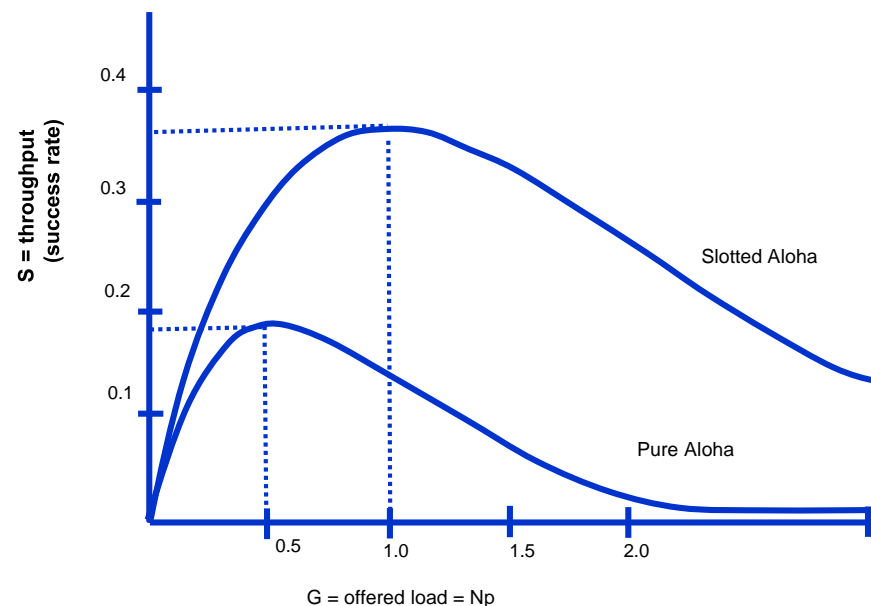
冲突概率增加:

T0时刻发送的数据帧会与
[t0-1,t0+1]时间范围内发送
的其他数据帧发生冲突

$$\begin{aligned}
 &\text{Prob(节点成功发送)} \\
 &= \text{Prob(节点发送)} \times \\
 &\text{Prob}([t_0-1, t_0] \text{ 时间范围内无其他节点发送}) \times \\
 &\text{Prob}([t_0, t_0+1] \text{ 时间范围内无其他节点发送}) \\
 &= p \cdot (1-p)^{N-1} \cdot (1-p)^{N-1} \\
 &= p \cdot (1-p)^{2(N-1)}
 \end{aligned}$$

... 选择最优的参数 p , 设置 $n \rightarrow \infty$...

$$= 1/(2e) = 0.18$$

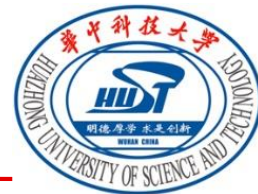


随机接入: 时隙ALOHA的性能

效率: 成功发送的时隙数在整个发送过程所占的比例
(多个节点, 所有节点均有数据帧待发送)

- ❑ 假设: N 个节点有数据帧待发送, 并以概率 p 发送
- ❑ 一个时隙内特定节点成功发送的概率= $p(1-p)^{N-1}$
- ❑ 所有节点成功发送的概率= $Np(1-p)^{N-1}$
- ❑ 最大效率: 寻找 p^* 使得 $Np(1-p)^{N-1}$ 最大化
- ❑ 对多个节点而言, 当 N 取无穷大时, $Np^*(1-p^*)^{N-1}$ 达到极限值, 从而得到效率最大值= $1/e = 0.37$

至多: 信道只有37%的时间被用于有效数据帧传输!



随机接入: CSMA

❑ 载波监听多路访问(Carrier Sense Multiple Access)

- 发送前监听信道
- 如果信道空闲, 发送整个数据帧
- 如果信道忙, 延迟发送

❑ 类比人类行为: 不打扰其他人!

- 说话之前先听是否有人说话 → 载波监听
- 如果有其他人同时说话, 停止讲话 → 冲突检测

❑ 问题

- 如果所有的节点均执行载波监听, 为什么还会发生冲突

随机接入: CSMA中的冲突

冲突依然会发生:

传播时延导致两个节点无法监听到对方的发送

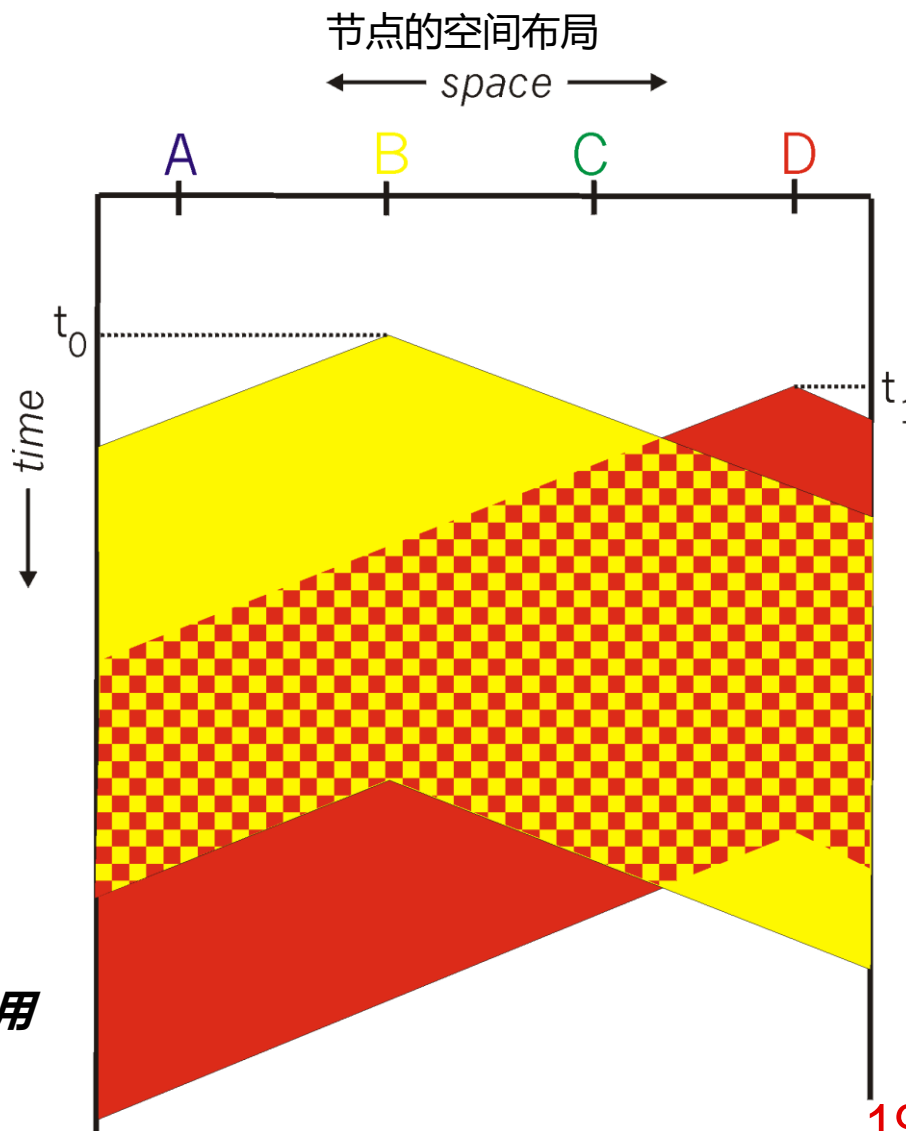
冲突:

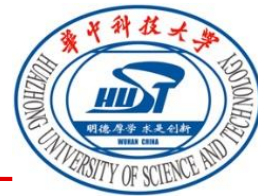
整个数据帧传送时间被浪费

注意:

距离和传播时延对冲突检测概率的影响

该问题的解决方案(Ethernet 和 WiFi中采用的CSMA的变种协议)将在后续内容中说明





MAC 协议

□ 静态信道划分

□ 随机接入

□ 轮转接入

- 节点轮流发送
- 待发送数据量大的节点占用信道更长时间
- 无冲突

轮转接入

□ 信道静态划分

- 高负载情况下可有效且公平的共享信道
- 低负载时效率低下: 信道接入时延(TDMA), 只有一个节点发送数据时只有 $1/N$ 的带宽被利用(FDMA)!

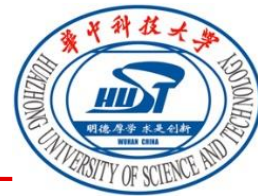
□ 随机接入

- 低负载情况下效率较高: 单个节点可以利用整个信道资源
- 高负载: 冲突开销很大

□ 轮转接入

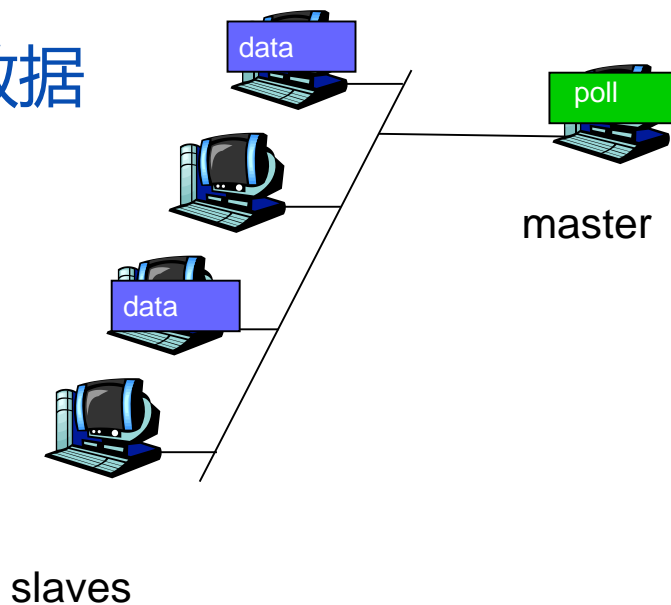
- 克服了冲突
- 不同负载条件下, 希望取得链路效率与通信开销的平衡

轮转接入

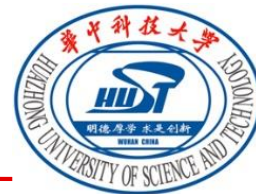


中央受控轮询:

- ❑ 主节点“邀请”从节点轮流发送数据
- ❑ 典型应用于“dumb”从设备
- ❑ 关注点
 - 轮询开销
 - 时延
 - 主节点失效



轮转接入



令牌传递:

❑ 控制令牌在节点之间依序传递

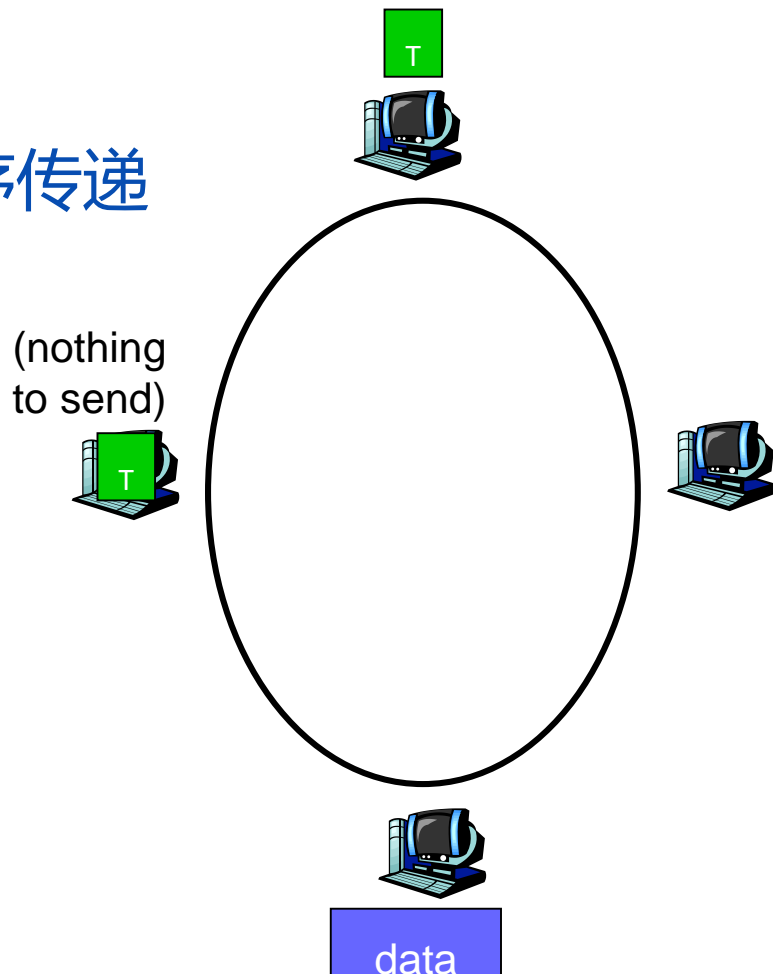
❑ 令牌帧

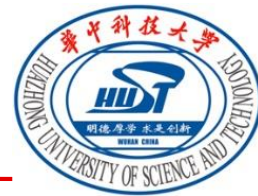
❑ 关注点

➤ 令牌开销

➤ 时延

➤ 令牌丢失





小结: 多路访问控制问题

□ 寻址

- 识别谁说话

□ MAC(介质访问控制)协议的设计

- 信道静态分配

- 时间, 频率, 编码
- 时分, 频分, 码分

- 随机接入(动态)

- ALOHA, S-ALOHA, CSMA

- 轮转接入(受控)

- 中央受控轮询, 令牌传递

□ 问题: 物理上相连的主机

➤ 物理层

- 数据编码

➤ 数据链路层

- 帧定界
- 差错检测
- 可靠传输

➤ 介质访问控制子层

- 多路访问
- 局域网技术
- 以太网 (802.3)
- 无线局域网

点到点链路的
四个基本问题

共享链路的问题


802.x 标准背景介绍

□ IEEE, 电气和电子工程师学会(IEEE, I-Triple-E)

□ IEEE 802 标准委员会

➤ 成立于Aug., 1979, 起初主要集中与局域网标准研究, 目前已扩展到LAN/MAN领域



 **IEEE**

Standards Project Authorization

1. <u>August 25, 1979</u> Date of Request	Project No <u>802</u> Approved: <u>3/13/80</u> Date
For Standards Committee Use Only	
2. <input checked="" type="checkbox"/> New Standard <input type="checkbox"/> Revision of _____ Standard No _____	<input type="checkbox"/> Reaffirmation of _____ <input type="checkbox"/> Withdrawal of _____ Standard No _____
3. Project Title: <u>Local network for Computer Interconnection.</u>	
4. Scope and Purpose: <u>The proposed standard will apply to Data Processing devices which need to communicate with each other at a moderate data rate (1 M bit/sec) and within a local area (physical data path up to 4 km). The purpose of the proposed standard is to provide compatibility between devices of different manufacture so that the hardware and software customization necessary for effective data communication is minimized or eliminated.</u>	
5. Sponsor: <u>Computer Standards</u> Technical Committee: _____	<u>Computer Society</u> Society: _____

IEEE 802 Standards	
802.1	Bridging & Management
802.2	Logical Link Control
802.3	Ethernet - CSMA/CD Access Method
802.4	Token Passing Bus Access Method
802.5	Token Ring Access Method
802.6	Distributed Queue Dual Bus Access Method
802.7	Broadband LAN
802.8	Fiber Optic
802.9	Integrated Services LAN
802.10	Security
802.11	Wireless LAN
802.12	Demand Priority Access
802.14	Medium Access Control
802.15	Wireless Personal Area Networks
802.16	Broadband Wireless Metro Area Networks
802.17	Resilient Packet Ring

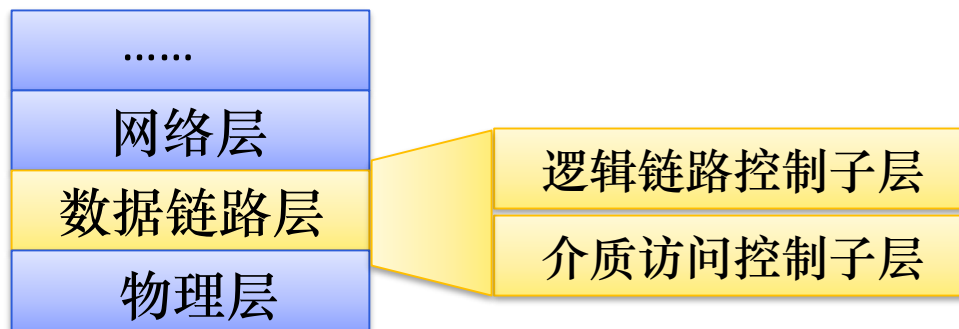
802.x 标准背景介绍

❑ 1980s, IEEE 802成立了多个不同的工作组分别研究不同的局域网技术:

- 802.3: 以太网, DIX (DEC, Intel, Xerox)
- 802.4: 令牌总线网, GM
- 802.5: 令牌环形网, IBM

❑ IEEE 802将数据链路层功能划分为两个子层

- LLC (逻辑链路控制) 子层
- MAC (介质访问控制) 子层



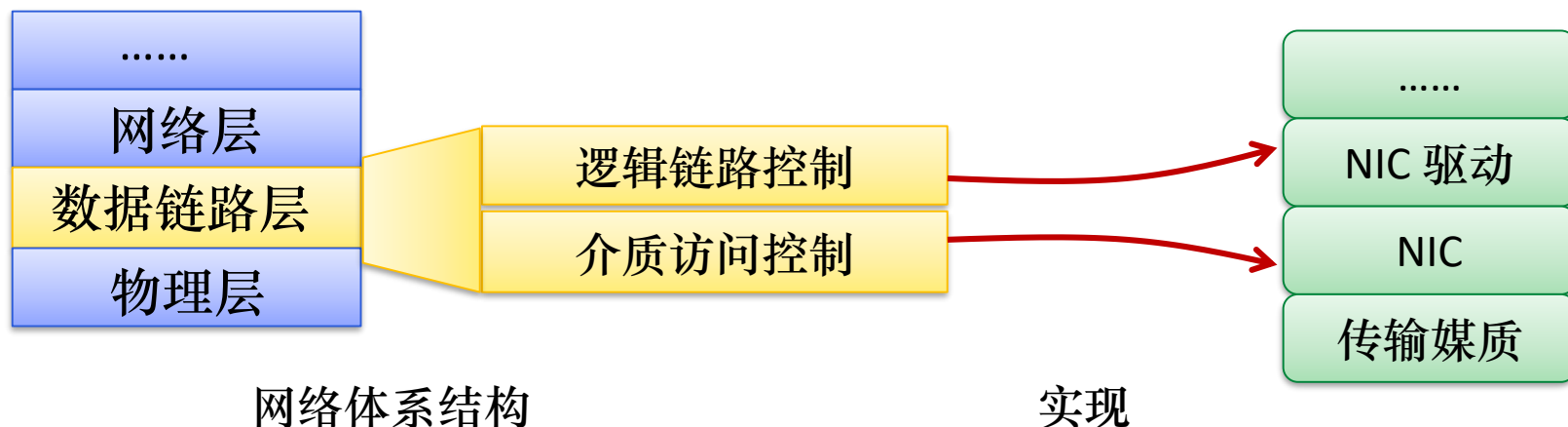
数据链路层的两个子层

□ LLC (逻辑链路控制) 子层

- 功能: 差错检测, 可靠传输
- 驱动程序实现

□ MAC (介质访问控制) 子层

- 功能: 帧定界, 寻址, 多路访问控制
- 与传输媒质特点和网络适配器的设计目前相关, NIC (网卡) 硬件实现



802.x 标准近展(2010)

IEEE 802 ORGANIZATION

802.2 (LLC): 不再被关注

802.4 (Token Bus): 解散

802.5 (Token Ring): 解散

802.6 (DQDB): 解散

802.3 (Ethernet): 幸免

802.11 (Wireless LAN): 兴起

802.15 (Wireless PAN): 兴起



802.2 LLC (Dave Carlson)
802.12 Demand Priority (Pat Thaler)

802.4 Token Bus
802.7 Broadband TAG
802.9 ISLAN
802.14 CATV

802.6 DQDB
802.8 Fiber Optic TAG
802.10 Security
802.5 Token Ring

Emerg Svcs
ECSG
Geoff
Thompson

□ 问题: 物理上相连的主机

➤ 物理层

- 数据编码

➤ 数据链路层

- 帧定界
- 差错检测
- 可靠传输

➤ 介质访问控制子层

- 多路访问
- 局域网技术
- 以太网 (802.3)
- 无线局域网

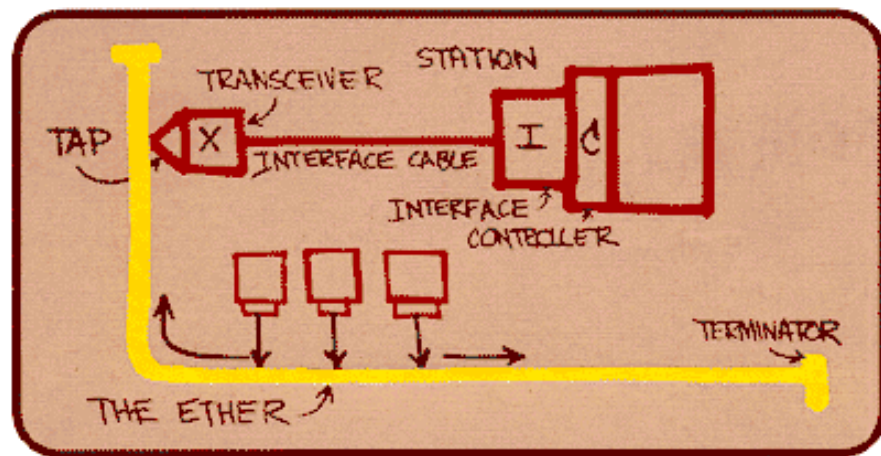
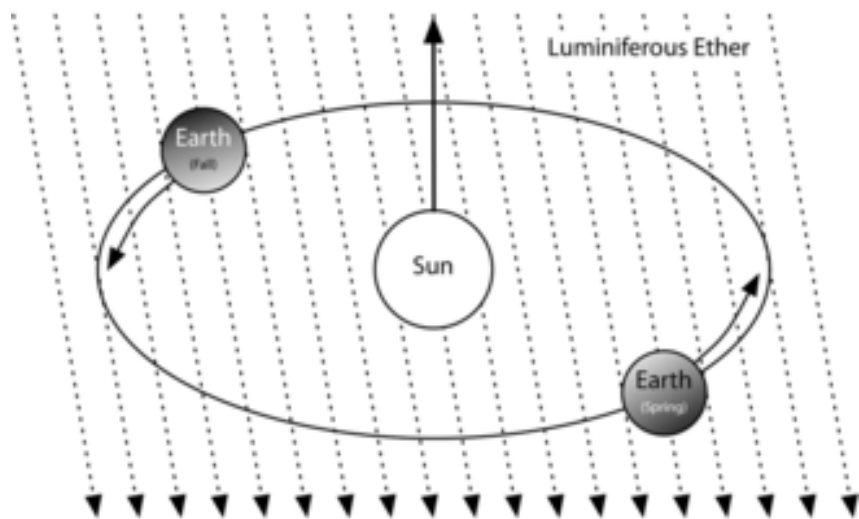
点到点链路的
四个基本问题

共享链路的问题

以太网的发展

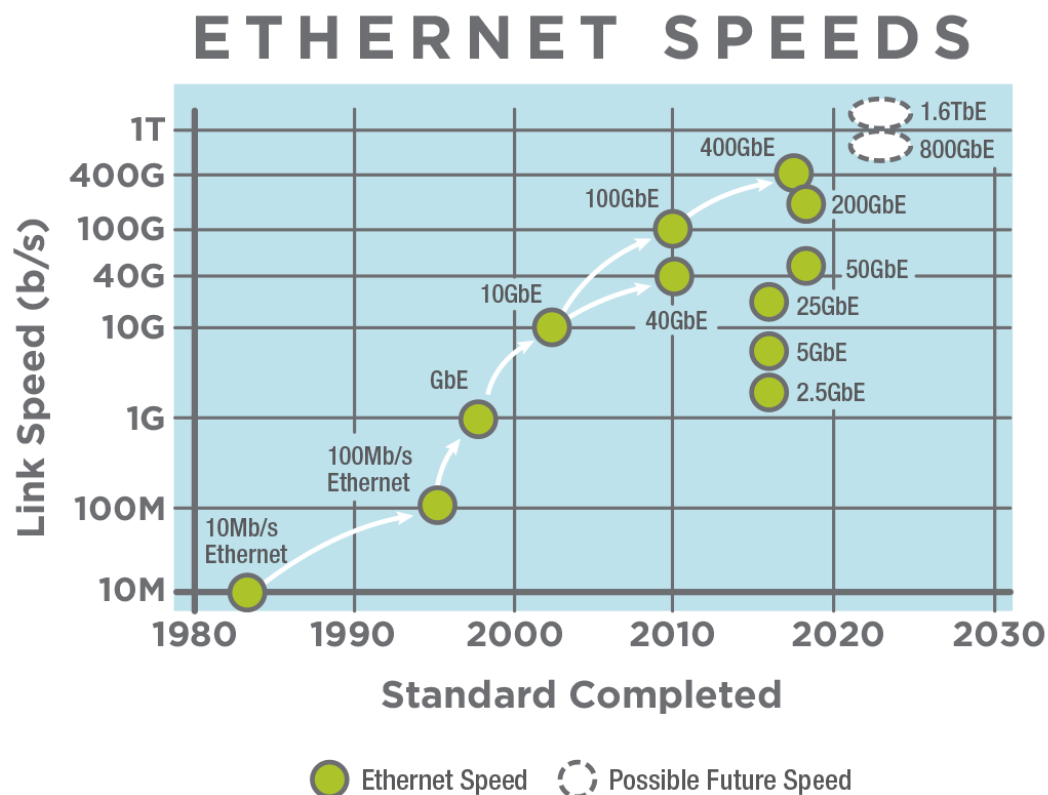
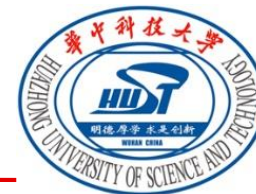
□ Ether = ?

- 以太是希腊语，原意为上层的空气，指在天上的神所呼吸的空气
- 物理：以太
 - 占据天体空间的物质。
- Ether in “EtherNet”
 - 用于描述共享媒质的某些共同特征



1973 年提出的Ethernet 的草案

以太网的发展



首个以太网交换机



10Base-T以太网



100Base-T以太网



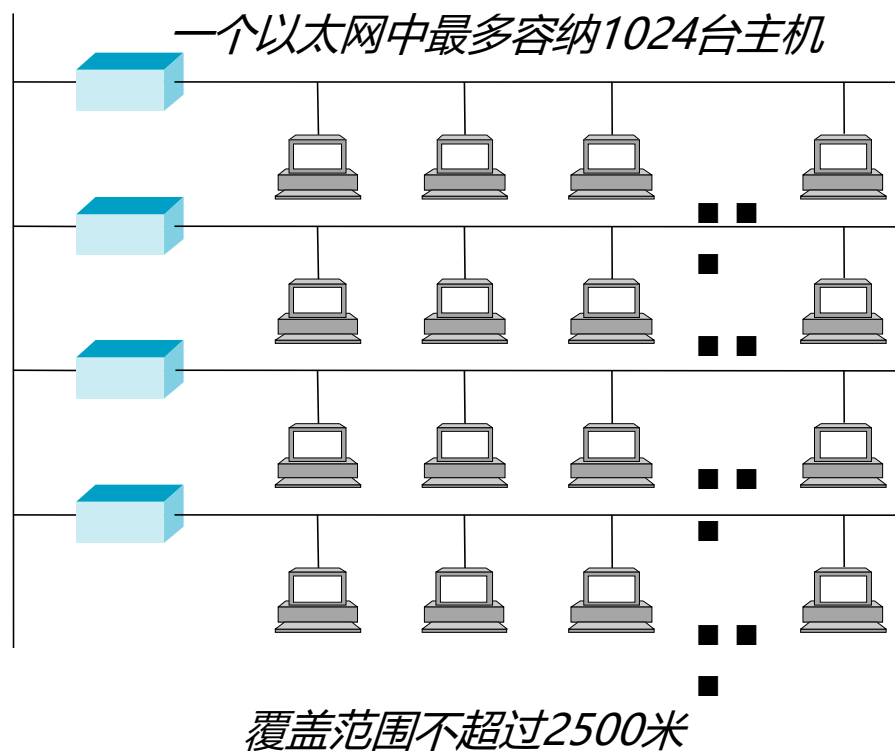
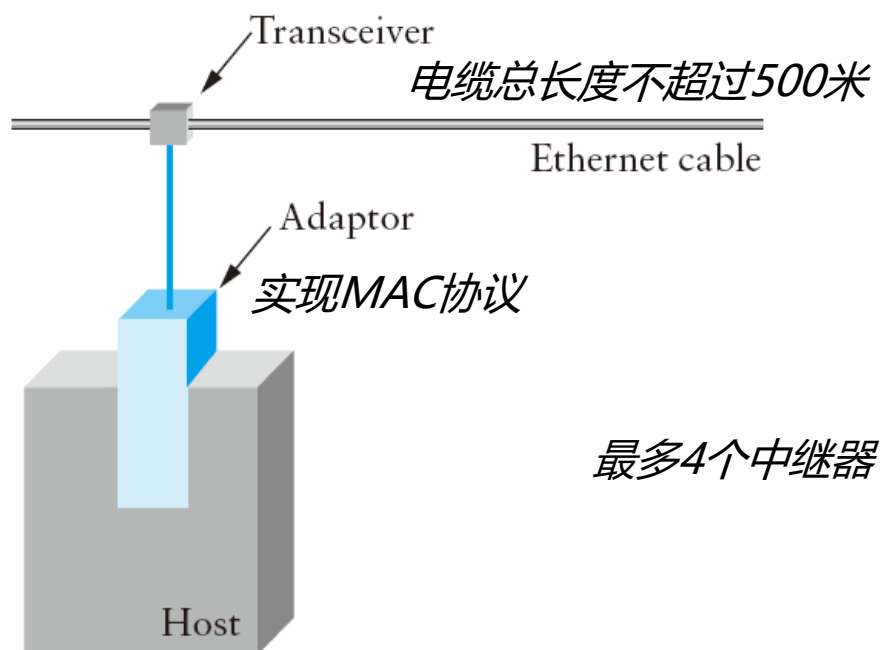
1000Base-T以太网



物理属性

□ 早期Ethernet的设计采用总线拓扑结构

检测信道是否空闲,
收发信号



物理属性

□ 收发器和传输媒质

- 10Base5 (粗缆)
- 10Base2 (细缆)
- 10BaseT/100BaseT (T: 5类双绞线)



10BASE5 - "Thicknet"



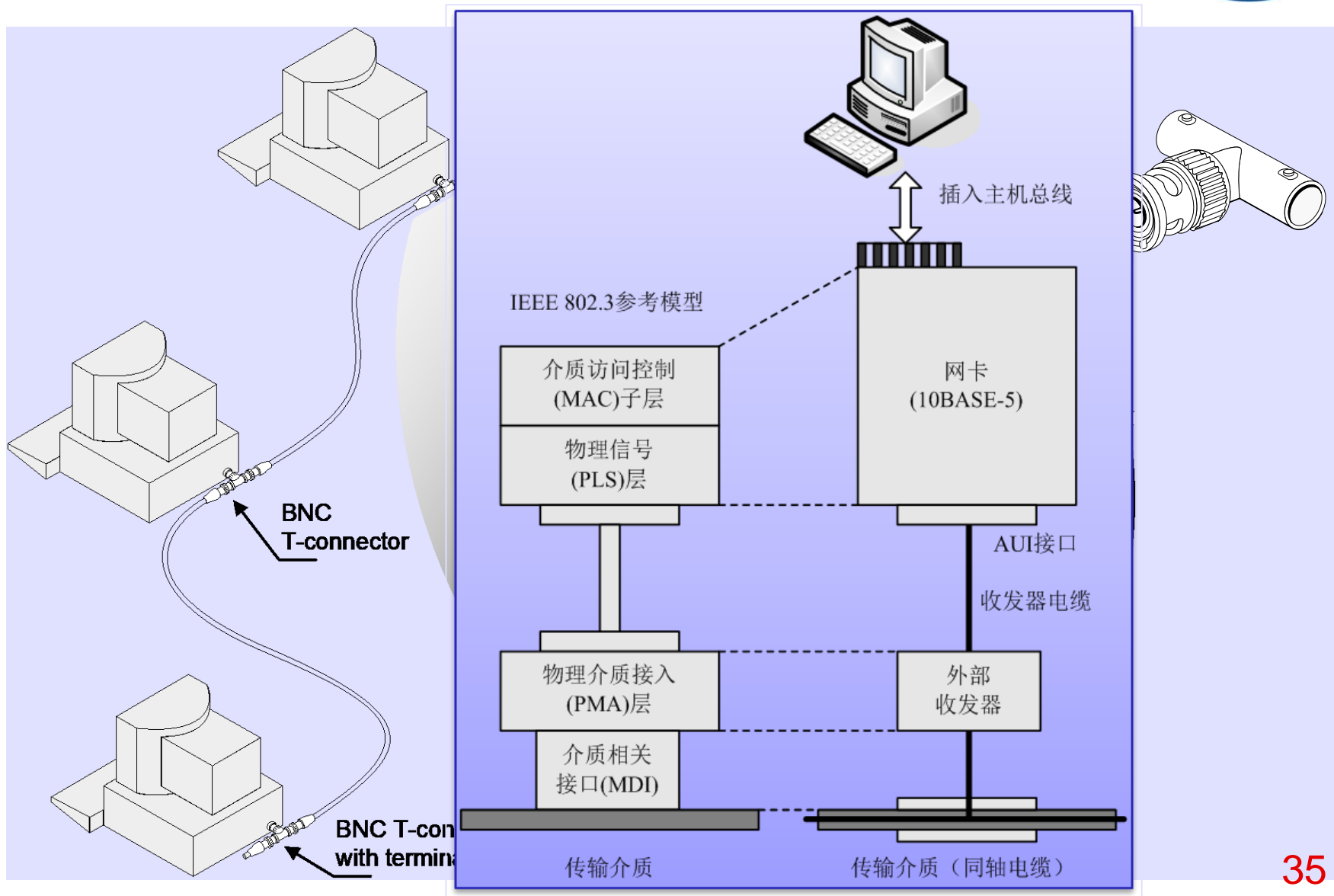
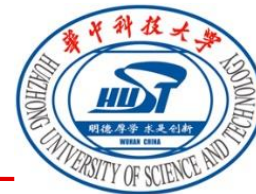
10BASE2 - "Thinnet"



10BASE-T



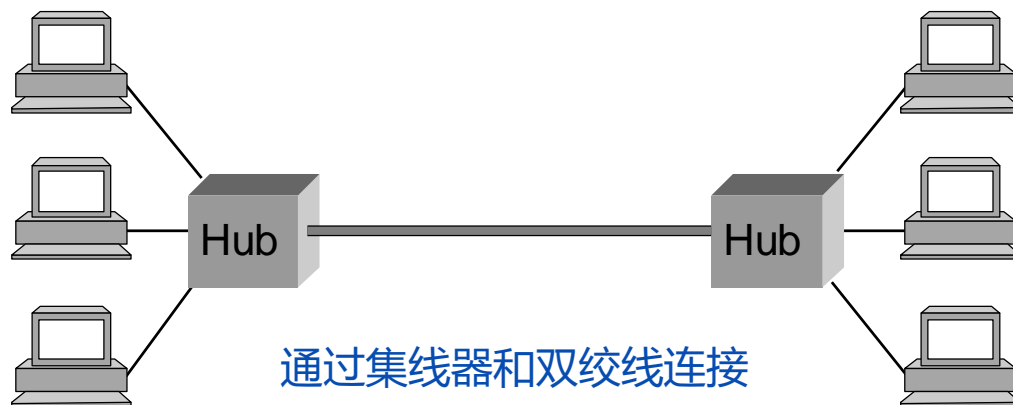
总线拓扑结构: 传统Ethernet



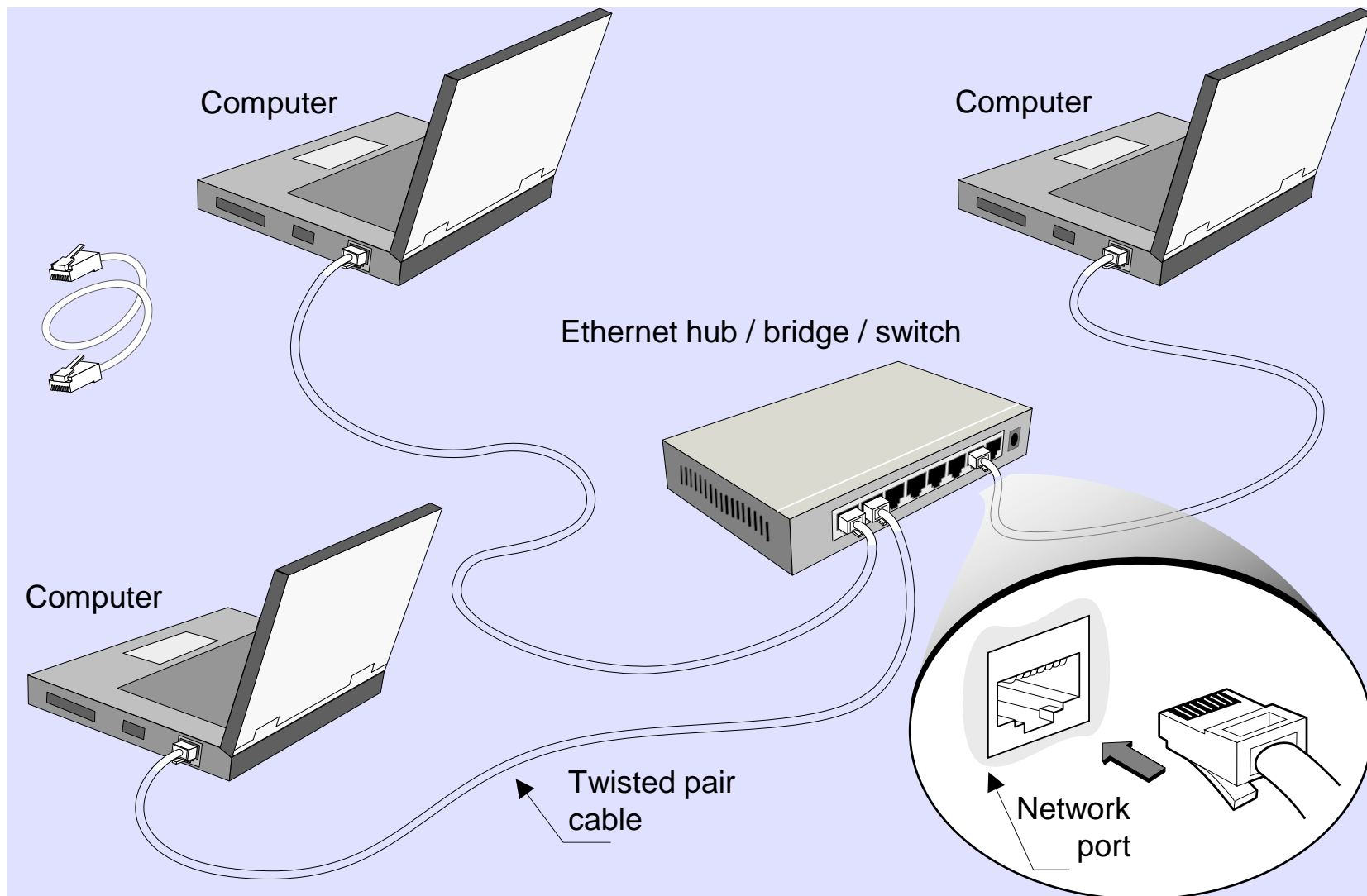
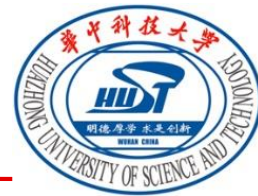
星型拓扑结构: 集线器/交换设备

□ 现行的Ethernet, 盛行星型拓扑结构

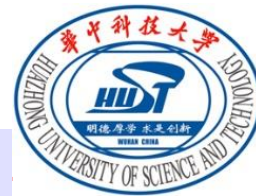
- 在总线型拓扑结构中: 所有节点在同一个冲突域内, 相互之间可能产生冲突
- 星型拓扑结构
 - **基于集线器**: 所有节点在一个冲突域内, 仍可能产生冲突
 - **基于交换机**: 每一个“spoke”执行独立的MAC协议, 节点之间无冲突



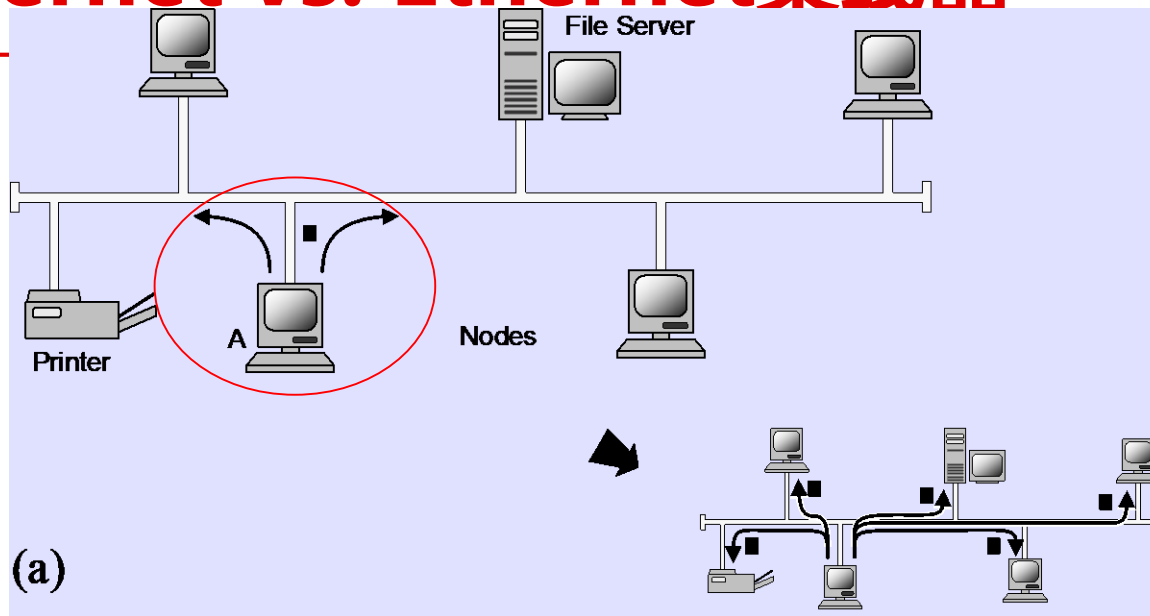
星型拓扑结构: 集线器/交换设备



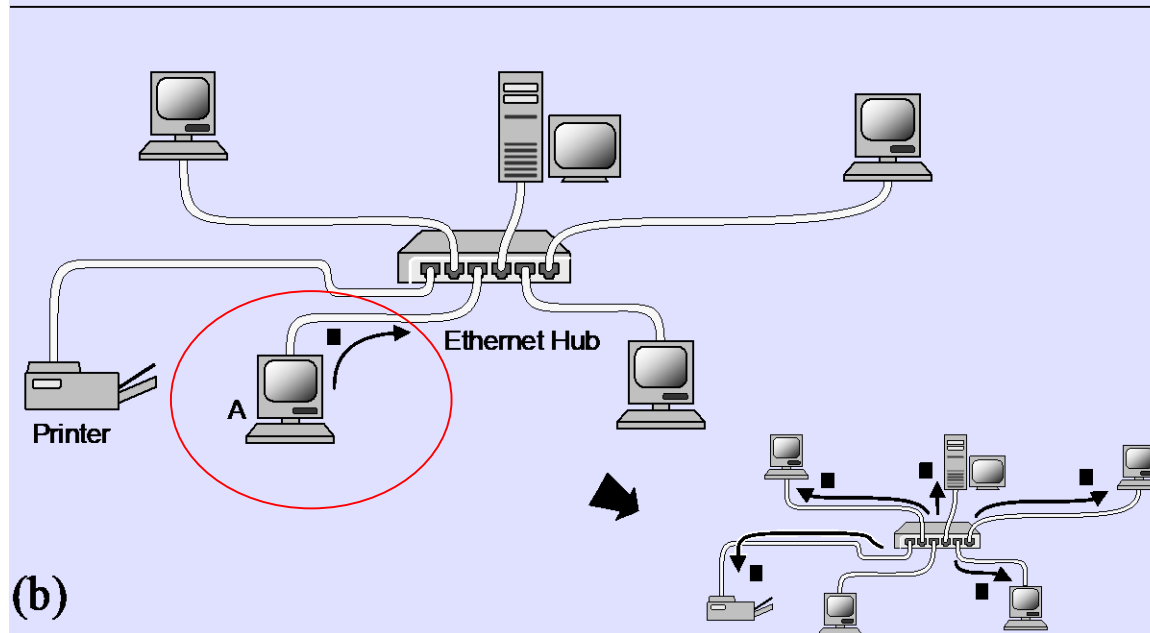
传统Ethernet vs. Ethernet集线器



细缆Ethernet

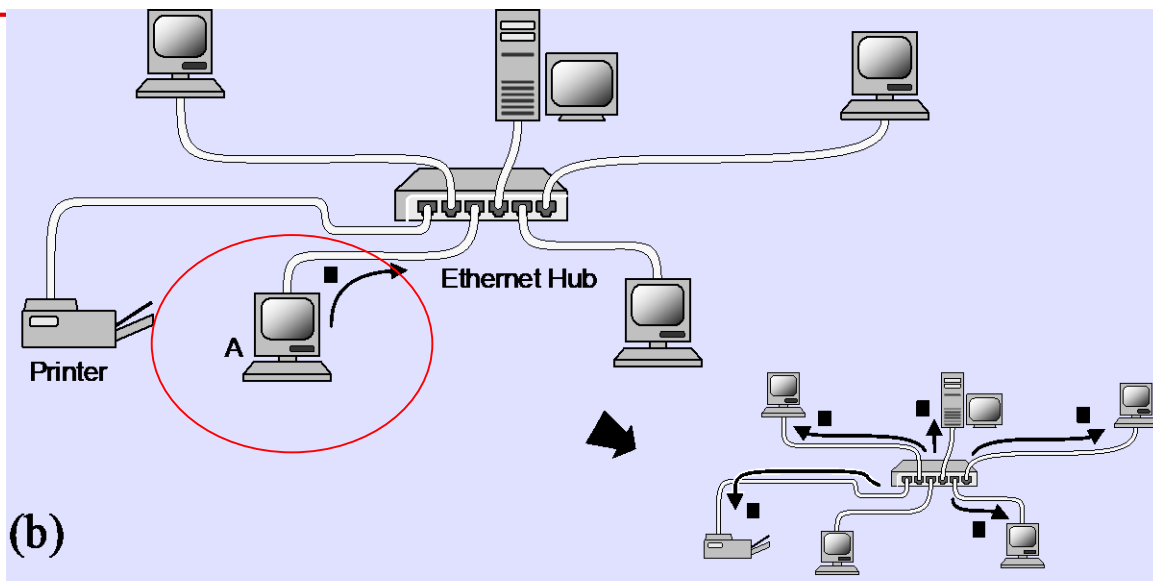


Ethernet 集线器

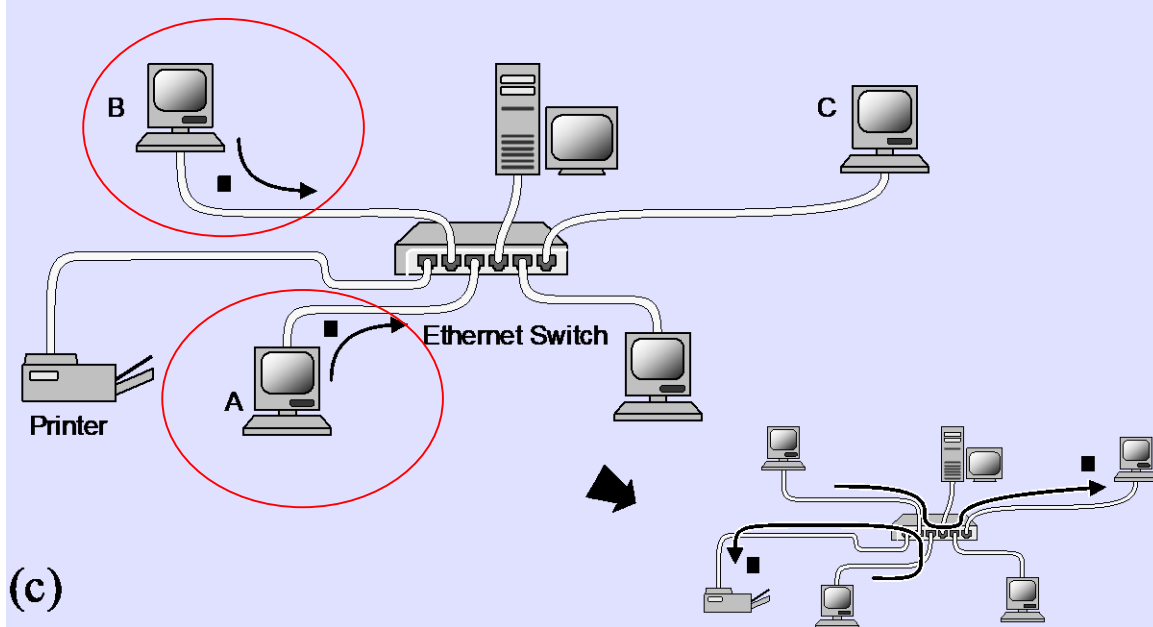


Ethernet集线器 vs. Ethernet交换机

Ethernet 集线器



Ethernet 交换机



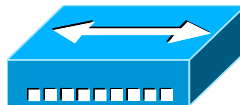
Ethernet集线器 vs. Ethernet交换机

□ Ethernet集线器

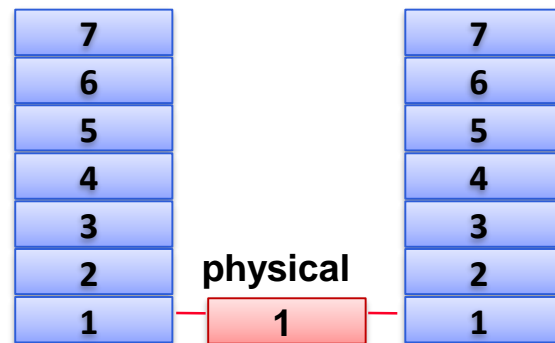
- 层1设备
- 简单的信号中继器
- 为节点提供共享链路



100baseT hub



10baseT hub

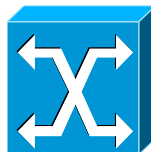


□ Ethernet交换机

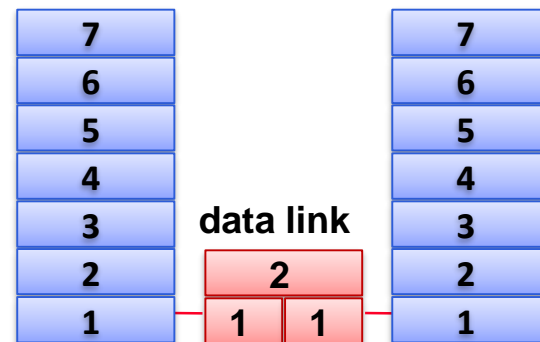
- 层2设备
- 识别数据帧的地址, 完成数据帧的存储转发
- 为节点提供独立的链接



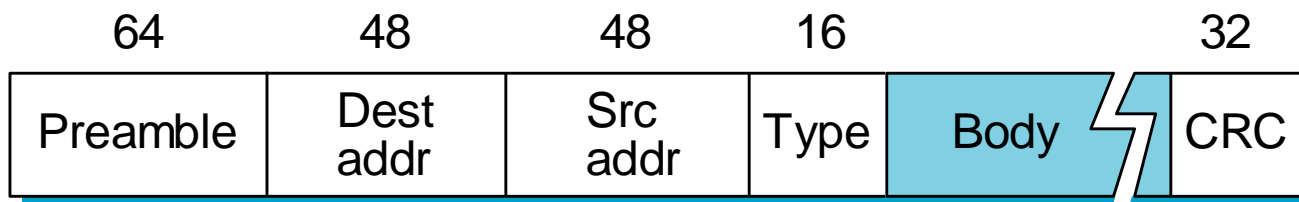
Ethernet Switch



Ethernet/ATM Switch



MAC协议：帧定界和差错检测



□ 帧定界

- 面向比特, 数据字段(Body)大小为46 ~ 1500字节
- 前导码: 同步, 7个连续的10101010位串, 后续1个10101011位串
- 寻址: 目的地址和源地址, 各占48比特
- 帧长: 64 ~ 1518字节

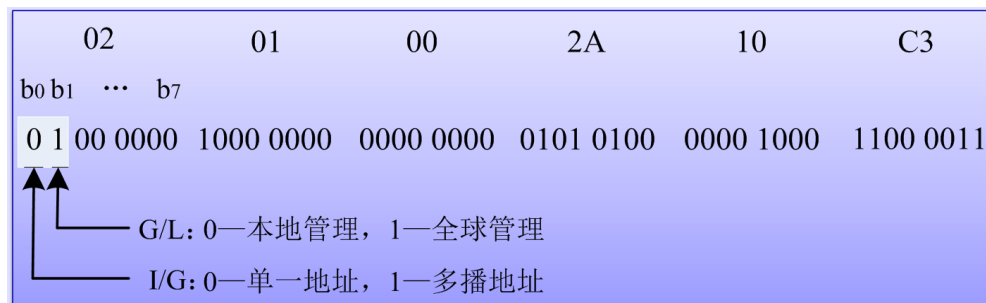
□ 差错检测

- CRC: 接收方检测
- 如果检测出错误, 丢弃数据帧

MAC协议：寻址

□ MAC地址，又称物理地址

- 为每一个NIC分配一个全球唯一的48比特单播地址
- 示例: 02:01:00:2A:10:C3
- 广播: 全1
- 多播: 第一个比特为 1



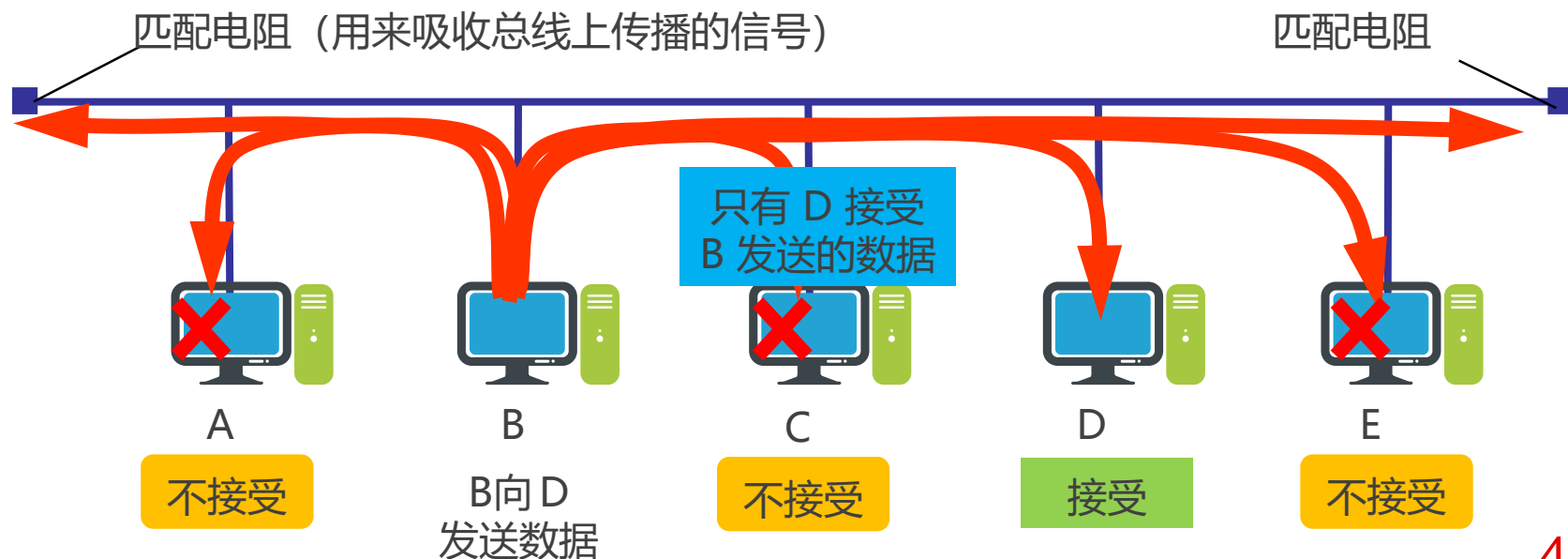
□ 地址操作

- NIC收到所有的数据帧, 但仅接收处理目的地址为本机地址的数据帧:
 - 目的地址为本机的单播地址 (unicast, 一对一)
 - 广播地址 (broadcast, 一对全体)
 - 多播地址(要求支持多播) (multicast, 一对多)
 - 混杂模式

MAC协议：多路访问控制算法

□ 以太网的广播方式发送

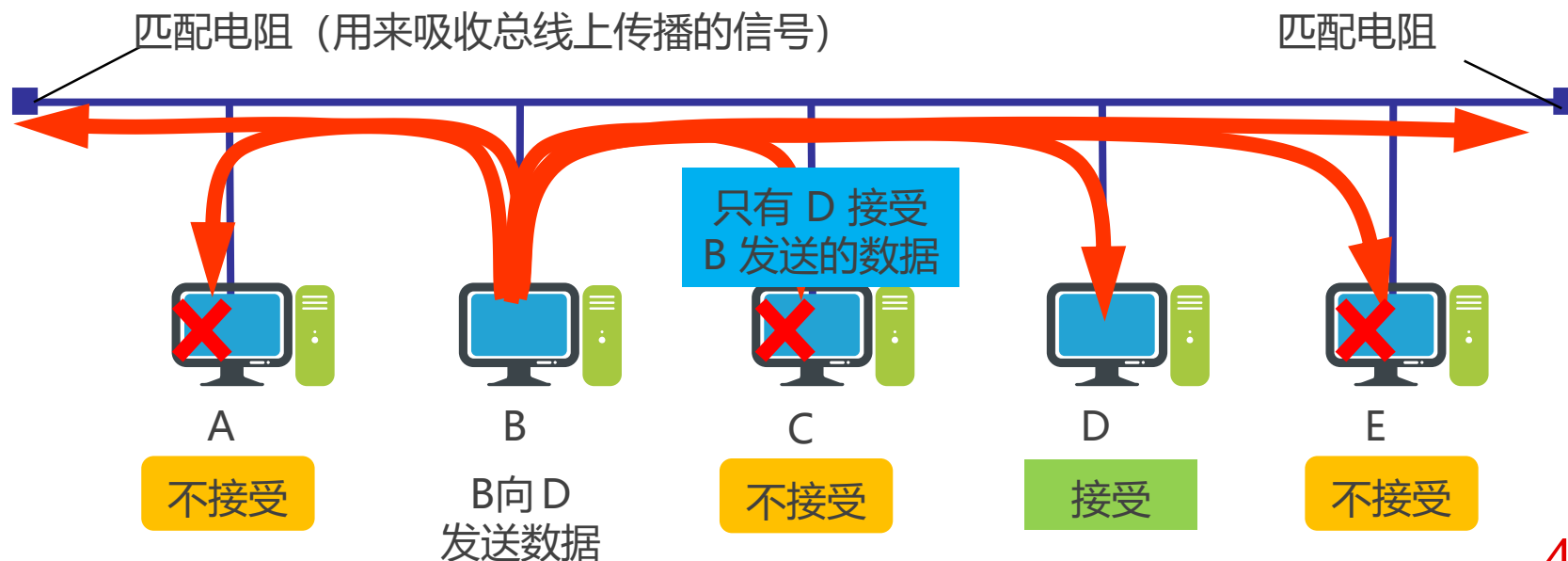
- 总线上的每一个主机都能检测到 B 发送的数据信号。
- 只有主机 D 的地址与数据帧首部写入的地址一致，因此只有 D 才接收这个数据帧。
- 其他所有的计算机（A, C 和 E）都检测到不是发送给它们的数据帧，因此就丢弃这个数据帧而不能够收下来。

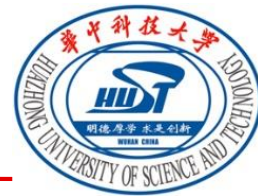


MAC协议：多路访问控制算法

□ 以太网的广播方式发送

- 采用**无连接**的工作方式，即不必先建立连接就可以直接发送数据。
- 以太网提供的服务是**不可靠的交付**，即尽最大努力的交付。
- 以太网对发送的数据帧不进行编号，也不要求对方发回确认。
 - 原因：局域网信道的质量很好，因信道质量产生差错的概率很小。





MAC协议：多路访问控制算法

□ 带有冲突检测的载波监听多路访问控制 (CSMA/CD)

➤ 基本思路

- 先听后发，边听边发，冲突停发，随机重发

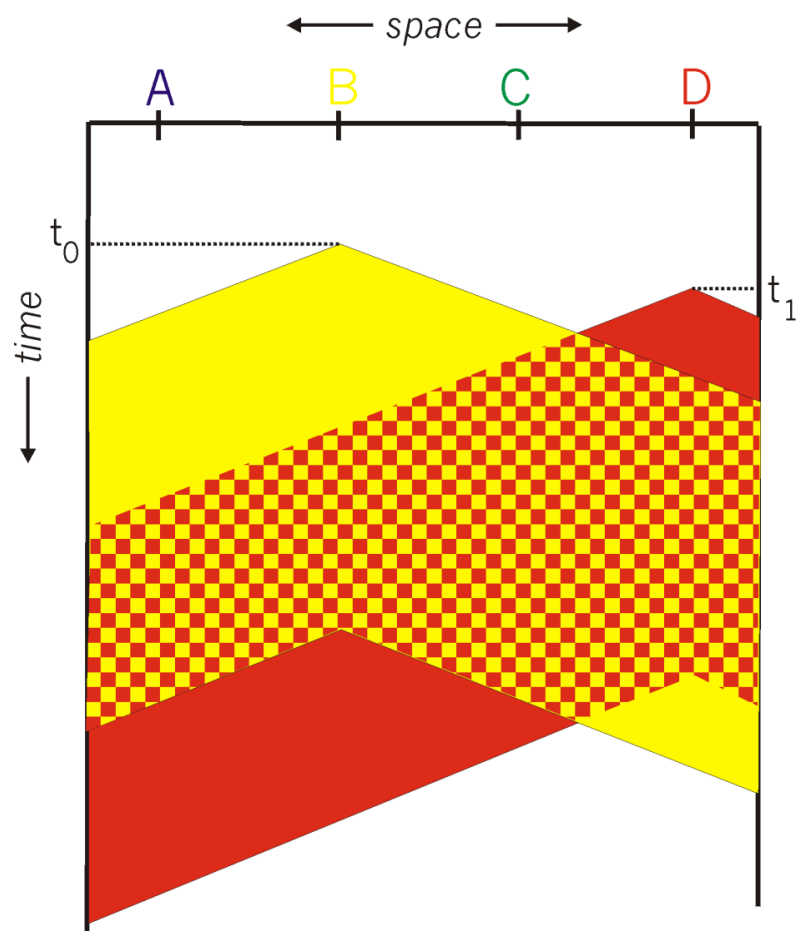
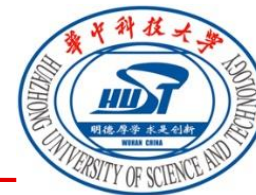
➤ 载波监听

- 所有节点可以区分信道是否空闲
- 发送前监听信道, 且不影响现有通信
- 监测是否已有其他人正在发送数据
- ... 等待直到对方发送完毕

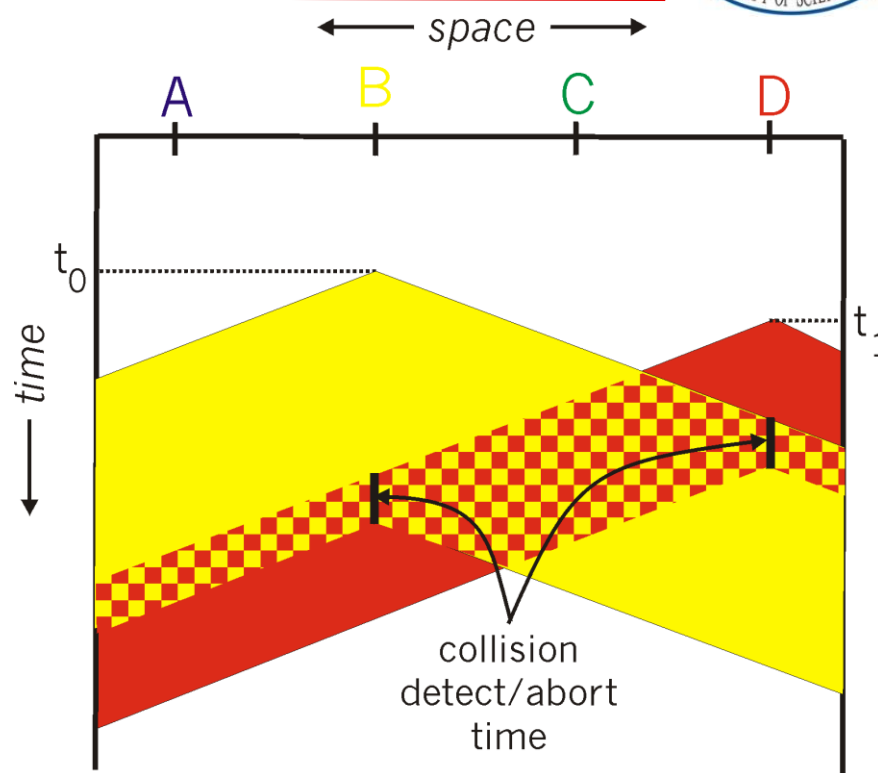
➤ 冲突监测

- 节点可以检测数据帧发送过程是否发生冲突
- 如果其他人同时开始发送, 则停止发送行为

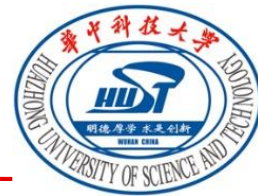
CSMA/CD 冲突检测



Original CSMA



CSMA/CD



802.3 MAC的争用期与最小帧长

□ 802.3 MAC的冲突检测

- 采用CSMA/CD的以太网处于**半双工模式**，边听边发
- 约定一段固定的时间（争用期）内没有检测到冲突，后续发送就不会发生冲突

□ 争用期

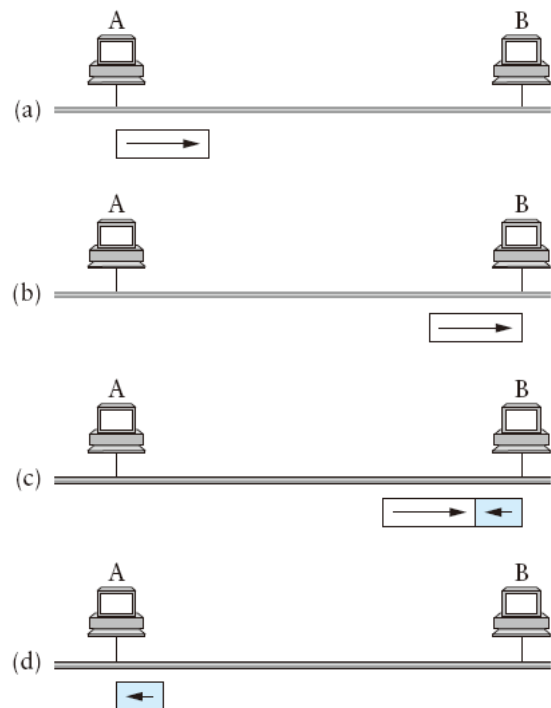
- 根据介质传播特性，以端到端往返时延设置“争用期”（或称冲突窗口、碰撞窗口）
- 802.3 规定 $51.2\mu\text{s}$ 争用期，10Mbps以太网可以发送512bit，即64byte
- 换言之，如果发生冲突，就只会在前64B中

□ 最小帧长(64B)

- 站点收到小于最小帧长的视之为无效帧而丢弃
- 待发送的有效数据帧必须大于最小帧长，不足则补齐

802.3MAC的争用期与最小帧长

Why 51.2 μ s & 64B?



最坏情况:

(a) A在 t 时刻发送数据帧;

(b) A发送的数据帧在 $t+d$ 时刻到达B;

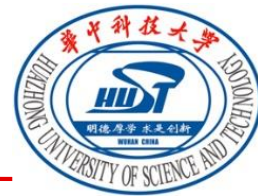
(c) B在 $t+d$ 时刻开始发送数据帧, 则会与A发送的数据帧发生冲突;

(d) B的残缺帧在 $t+2d$ 时刻才能到达A.

主机A必须传输 $2d$ 的时延才能确保检测到所有的冲突.

考虑初始设计中, 最大覆盖范围的以太网(2500米)的往返时延为**51.2 μ s (争用期)**.

在10Mbps的以太网中, **最短帧长为** $10 \text{ Mbps} \times 51.2 \mu\text{s} = \text{512 bits (64 B)}$.



Ethernet CSMA/CD 协议

1. NIC 接收来自于网络层的数据, 构造数据帧
2. NIC 监听信道: 如果发现信道空闲, 则开始发送数据帧. 如果信道忙, 则等待直到信道空闲再发送数据帧
3. 如果整个数据帧的发送过程未检测到其他数据发送过程, 则完成数据帧的发送!
4. 如果在数据帧发送过程中监测到其他数据发送过程, 则退出并发送**干扰序列**
 - 通知所有其他节点冲突的发生
5. 退出数据帧发送后, NIC执行**二进制退避算法**: 发生第 m 次冲突后, NIC 从 $\{0, 1, 2, \dots, 2^m - 1\}$ 随机选择 K . NIC 等待 $K * 51.2\mu s$ 时延后, 重新执行第2步
 - 采用尝试重传来估计当前的负载
 - 第一次冲突: 从 $\{0, 1\}$ 中选择 K ; 等待时延为 $K * 51.2\mu s$ 传输时延
 - 第二次冲突: 从 $\{0, 1, 2, 3\}$ 中选择 K ...
 - 第十次冲突: 从 $\{0, 1, 2, 3, \dots, 1023\}$ 中选择 K
 - K 最多为 1023, 对应 52.4ms; $m > 16$ 时认为线路故障, 结束退避

CSMA/CD 退避算法示例

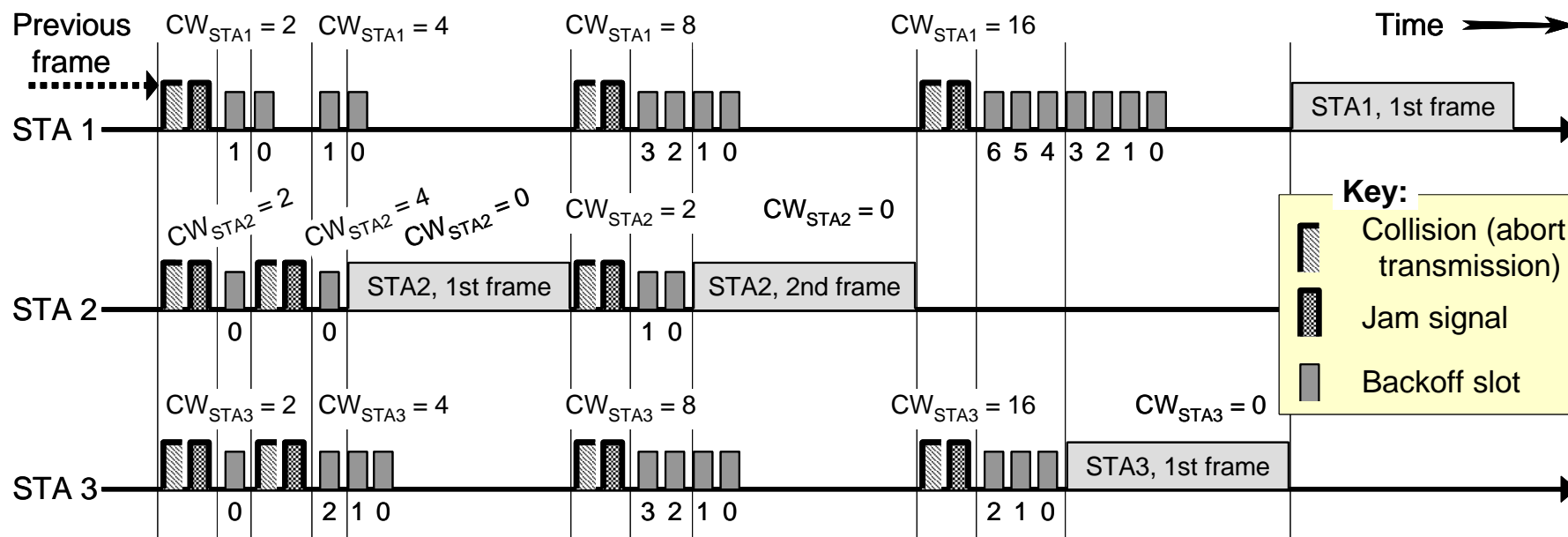
STA1和STA3有一个数据帧待发送, STA2有两个待发送数据帧
假设所有数据帧长度相同

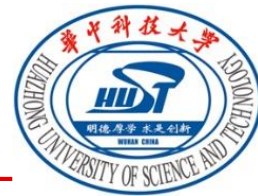
第一次冲突各站点的退避值: STA1 = 1; STA2 = 0; STA3=0

第二次冲突各站点的退避值: STA1 = 1; STA2 = 0; STA3=2

第三次冲突各站点的退避值: STA1 = 3; STA2 = 1; STA3=3

观察退避窗口的大小(CW)变化





Ethernet的经验

❑ “占主导地位”的有线局域网技术

- NIC的价格: \$20
- 第一个广泛使用的局域网技术
- 通信带宽: 10 Mbps~10 Gbps

❑ 实际规模

- 大部分以太网上连接的主机数比200少, 远小于最大值1024
- 大部分以太网的覆盖范围远小于2500米, 往返时延接近5 μs 而不是51.2 μs .

❑ 成功的原因

- 首先, 以太网易于维护和管理, 易于新的节点加入.
- 其次, 成本低廉: 电缆价格便宜, 网卡普及.

□ 问题: 物理上相连的主机

➤ 物理层

- 数据编码

➤ 数据链路层

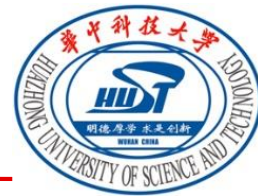
- 帧定界
- 差错检测
- 可靠传输

➤ 介质访问控制子层

- 多路访问
- 局域网技术
- 以太网 (802.3)
- 无线局域网

点到点链路的
四个基本问题

共享链路的问题



无线局域网概述

□ 无线局域网 (Wireless Local Area Network, WLAN)

- 指以无线信道作为传输介质的计算机局域网

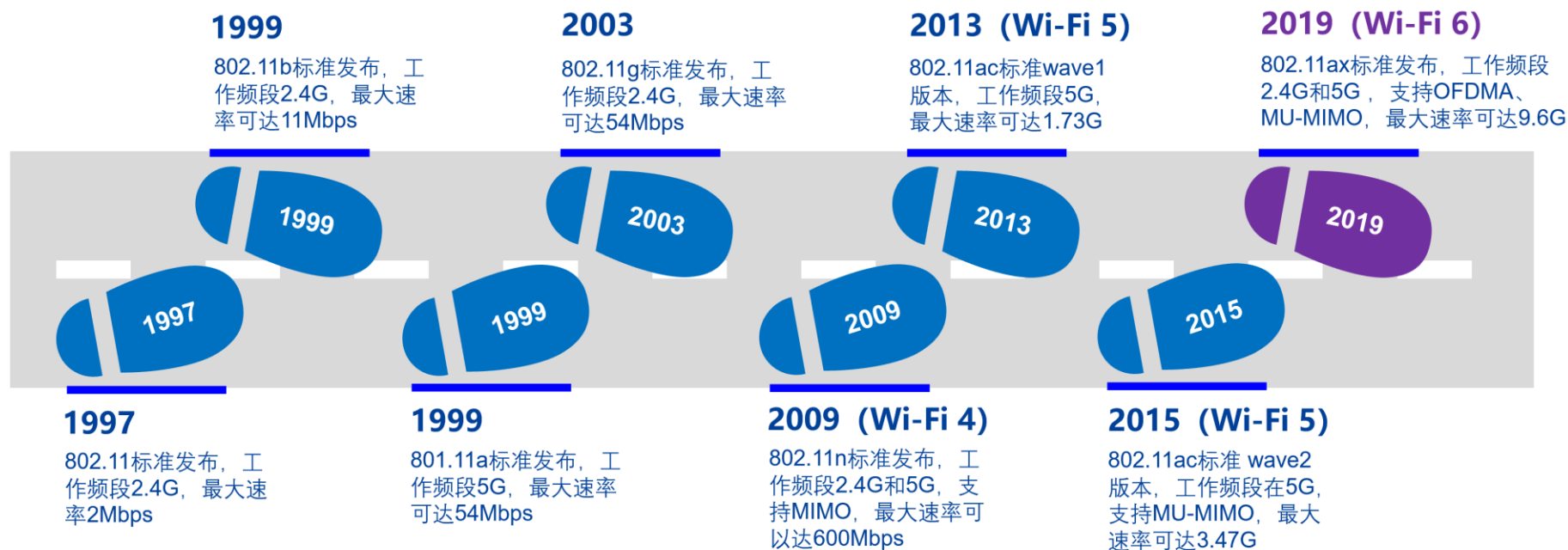
□ 设计目标

- 针对小的覆盖范围 (受限的发射功率)
- 使用无需授权的频谱 (ISM频段)
- 面向高速率应用
- 能够支持实时和非实时应用

两个重要组织: IEEE 802.11工作组、Wi-Fi联盟

无线局域网概述

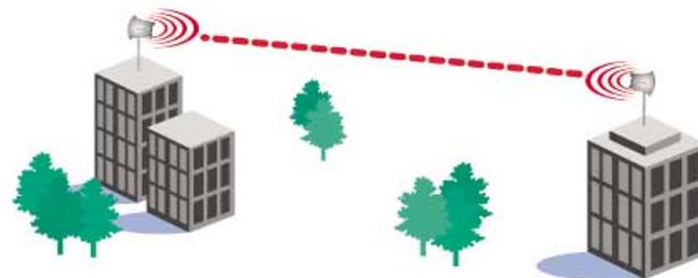
IEEE 802.11无线局域网发展历程



无线链路: 高比特误码率

□ 信号强度衰减

- 随着传播距离衰减
- 穿透其他物质时信号减弱



□ 其他源的干扰

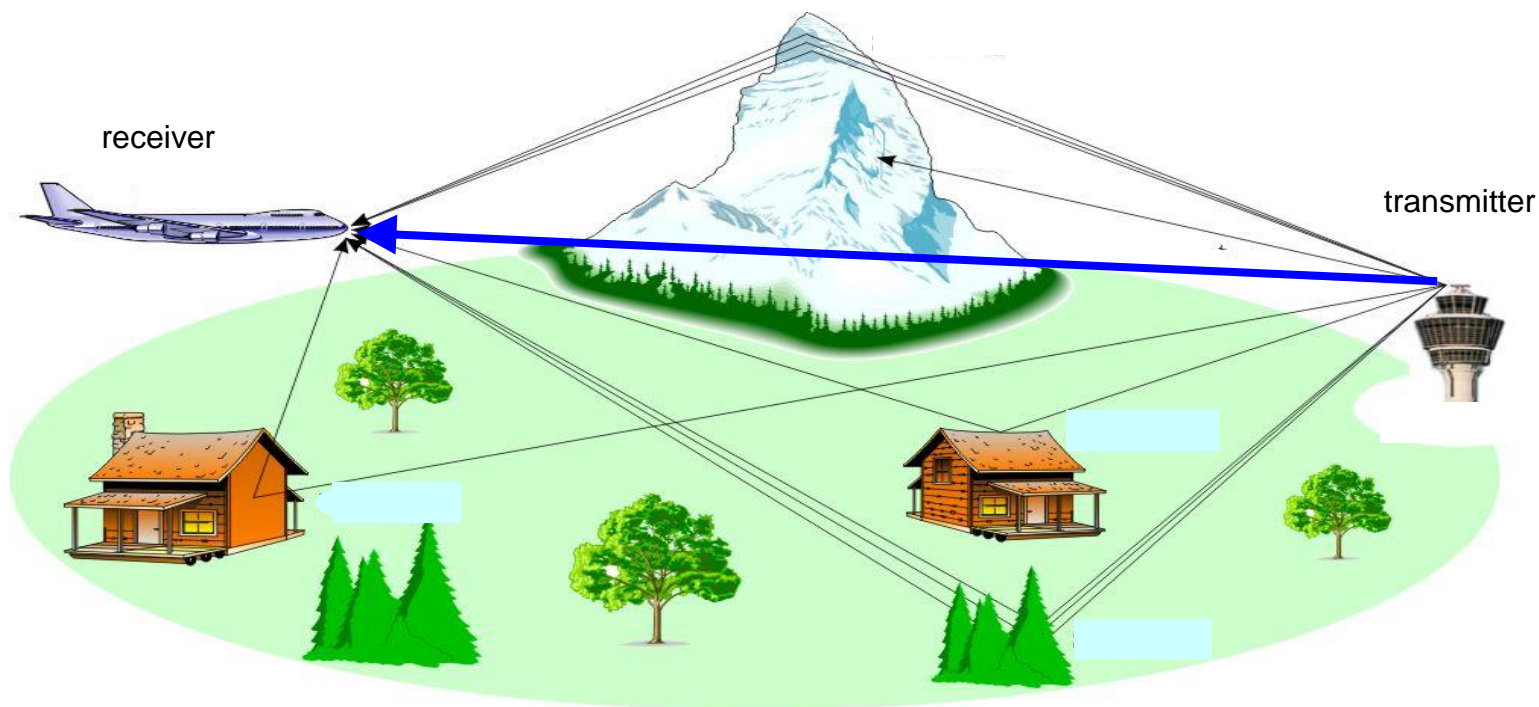
- 同频发射源
- E.g., 2.4 GHz 无绳电话会对802.11b WLAN产生干扰
- 电磁噪声(e.g., 微波炉)



无线链路: 高比特误码率

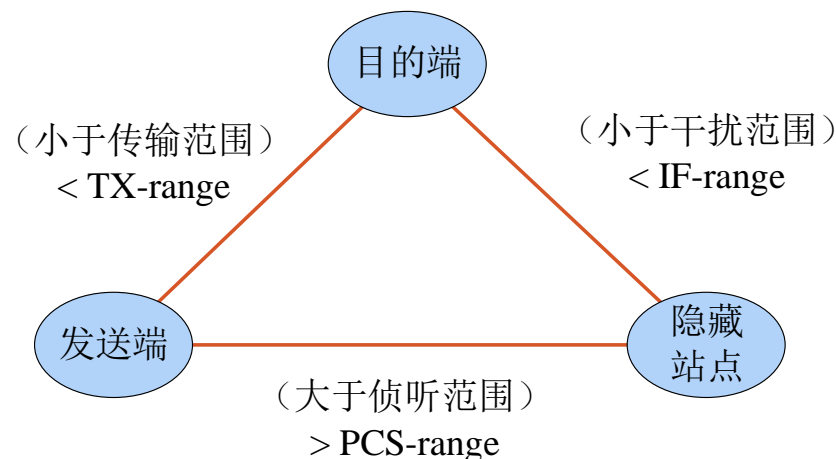
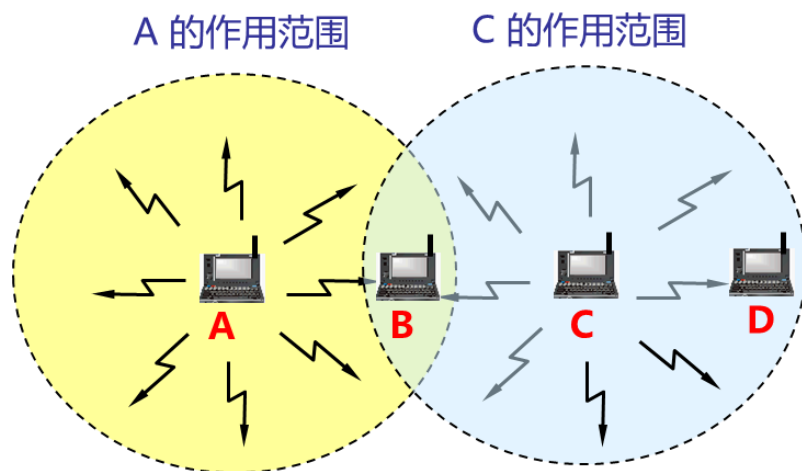
□ 多径传播

- 电磁波的反射
- 产生多条不同长度的传播路径
- 在接收方产生模糊信号



无线链路: 隐藏终端问题

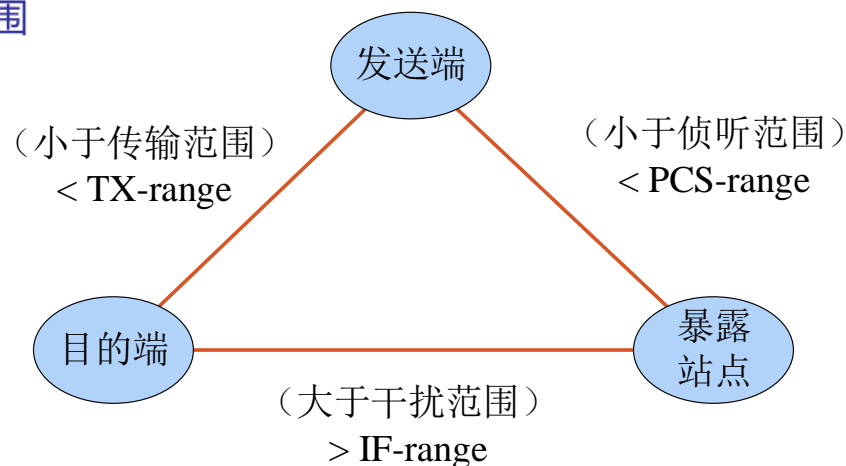
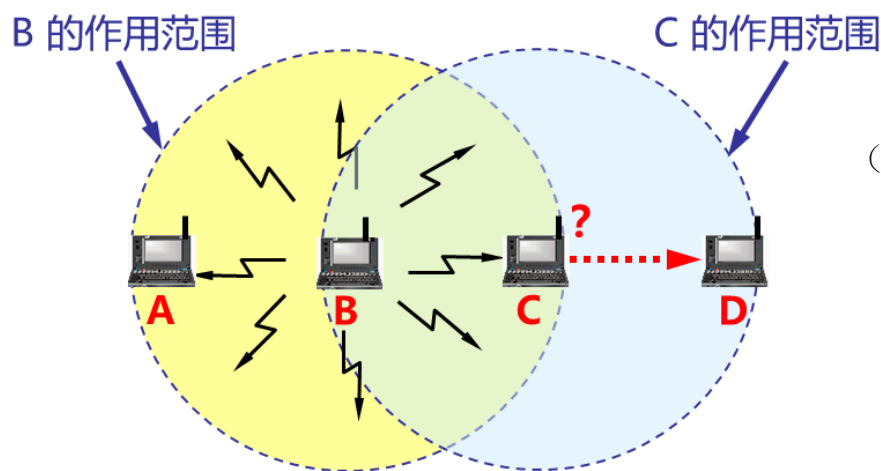
- ❑ 由于距离太远(或障碍物)导致无法检测到竞争对手的存在
- ❑ 隐藏站点不能侦听到发送端但能干扰接收端



- A 和 C 无法监听到对方, 同时向 B 发送数据
- 依赖于物理载波监听, 可能产生隐藏终端问题

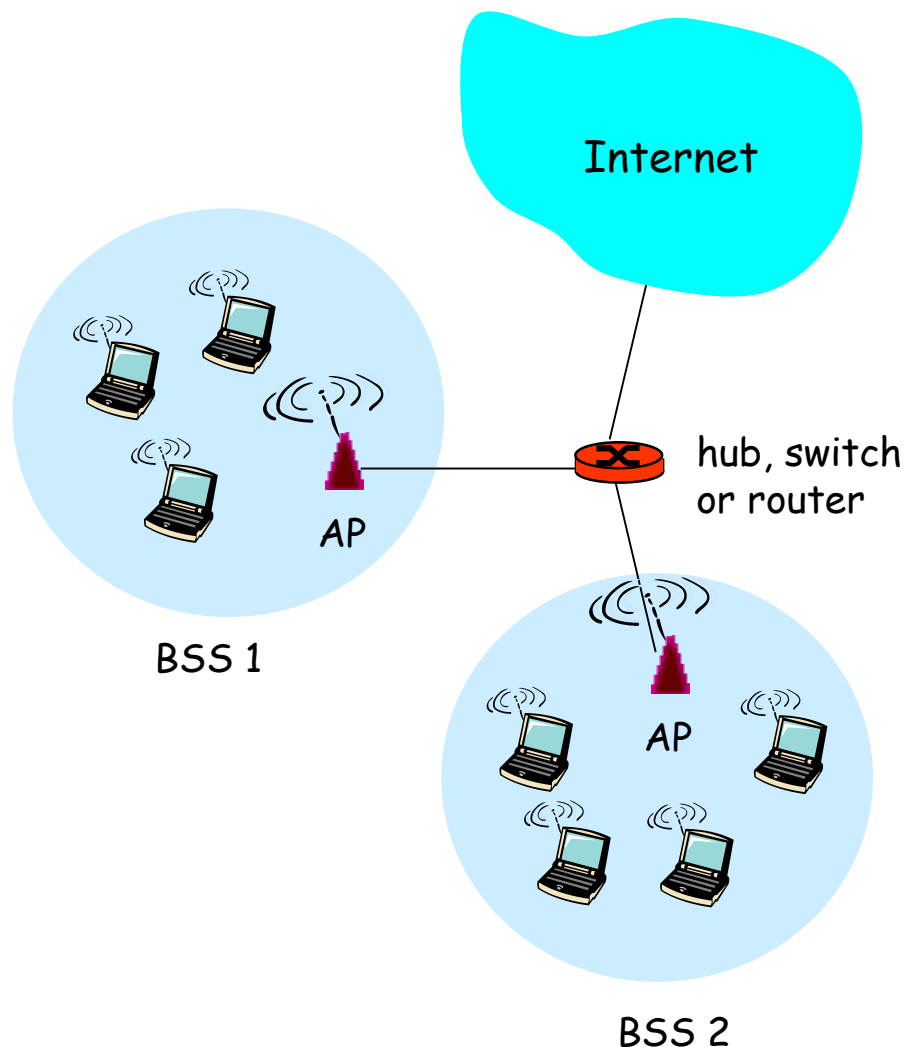
无线链路: 暴露终端问题

- ❑ 由于侦听到其他站点的发送而误以为信道忙导致不能发送
- ❑ 暴露站点能侦听到发送端但不会干扰接收端



- B向A发送数据, C同时向D发送数据
- 一旦 C 收到 B的数据帧, 载波监听机制会禁止其向D发送数据, 即使不会产生干扰

802.11 LAN体系结构



- 接入点(AP)
 - 与无线主机通信的基站
- 基本服务集 (BSS)
 - AP的覆盖范围
 - AP 发挥master作用
 - “网络名” 通过SSID识别

SSID: 服务集标识

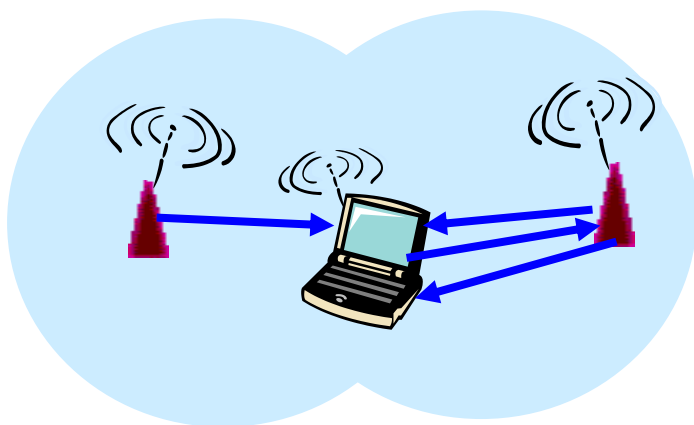
信道和关联

□ 多个不同中心频点的信道

- 网络管理员设置AP的工作信道
- 如果临近AP工作信道相同则会产生干扰

□ 接入点定期发送beacon帧

- 包括AP的 (SSID) 以及MAC地址
- 主机扫描信道, 监听beacon帧
- 主机选择接入点并与之关联



- Beacon frames from APs
- Associate request from host
- Association response from AP

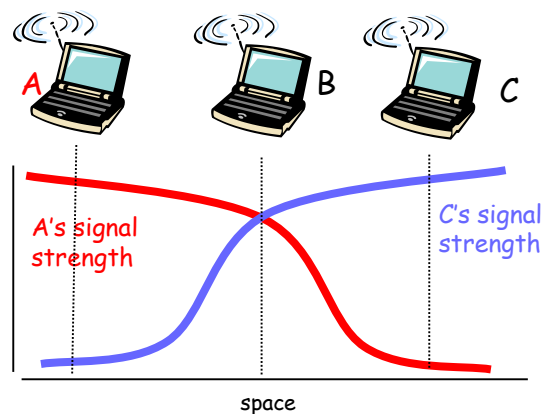
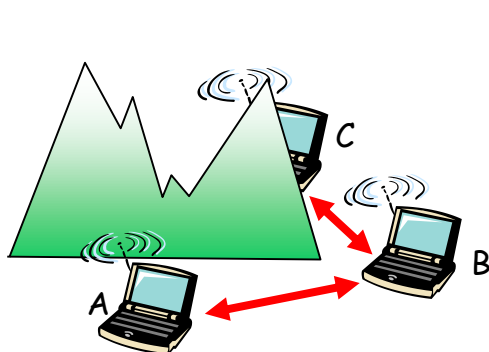
CSMA: 载波监听, 多路访问

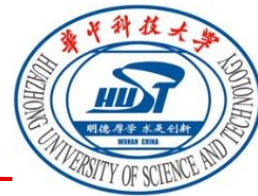
□ 多路访问: 无线信道是共享媒质

- 站点: 无线主机和AP
- 多个站点可能同时发送数据

□ 载波监听: 发送前监听信道

- 如果信道忙则不发送数据
- 避免冲突
- 但是, 不一定能够很好的检测冲突发生





CA: 冲突避免, 而不是检测

□ 有线以太网的冲突检测

- 站点在传输过程中监听信道
- 如果存在其他站点发送数据则检测到冲突发生
- 终止当前数据发送过程并尝试重传

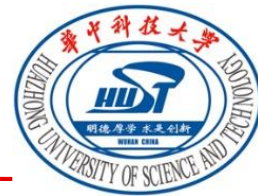
□ Problem #1: 无法检测所有的冲突

- 隐藏终端问题
- 信号衰落(fading)

□ Problem #2: 难以同时收发

- 接收信号强度明显弱于发送信号强度
- 硬件限制, 大多仅支持半双工, 无法在发送的同时检测冲突

□ 因此, 802.11采用冲突避免机制, 而非冲突检测



基于RTS/CTS的冲突避免

□ 冲突避免 Collision Avoidance

- 又称为**虚拟载波侦听**(Virtual Carrier Sense), 即希望通过信令协商达到实际载波侦听的效果
- 目的: **利用短帧预约信道, 避免长帧(数据帧)冲突**
- 在发送数据帧之前交换控制信息
 - 发送方 询问 “Request to Send” (**RTS**), 包括数据帧的长度
 - 接收方 响应 “Clear to Send” (**CTS**)
 - 如果发送方收到 CTS, 则开始发送数据 (指定长度)
 - 其他节点收到 CTS, 则保持指定长度数据帧发送时延的空闲状态
 - 如果其他节点收到 RTS, 则禁止发送数据
- RTS和CTS帧很短, 即使产生冲突, 信道浪费较少

IEEE 802.11: CSMA/CA

□ 802.11 发送端

➤ 如果监听到信道空闲

- 它将在一个被称作分布式帧间间隔(DIFS)的短时间段后发送该帧

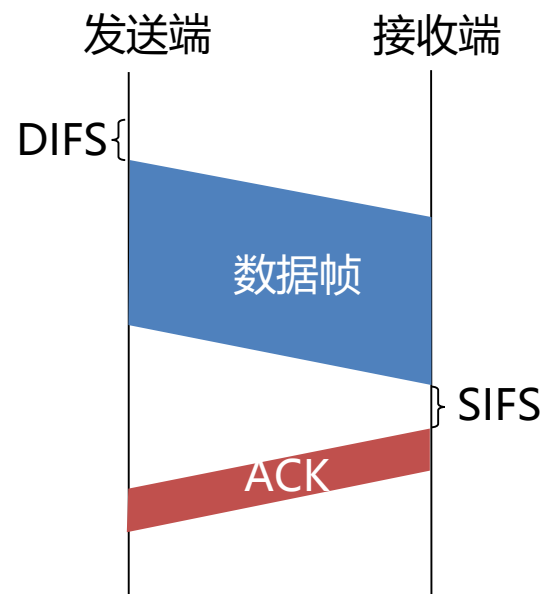
➤ 如果监听到信道正忙

- 选取一个随机回退值计时
- 当信道空闲时递减该值
- 当计数值减为0时, 该站点发送整个数据帧并等待确认
- 如果未收到确认, 增加回退值, 重复第2步

□ 802.11接收端

➤ 如果数据帧接收成功

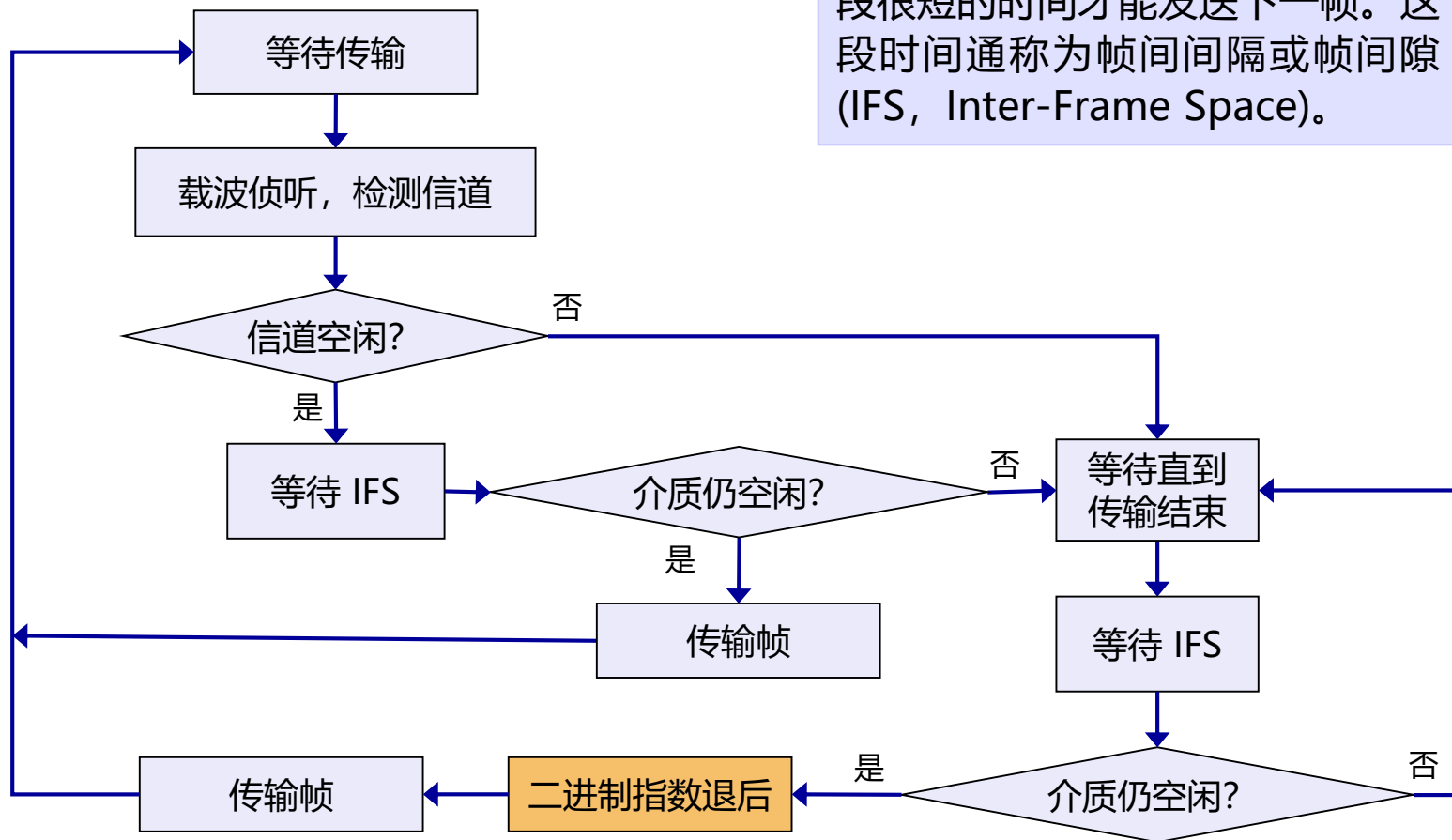
- 在SIFS时间后返回确认信息(确认信息在隐藏终端问题中是必须的)



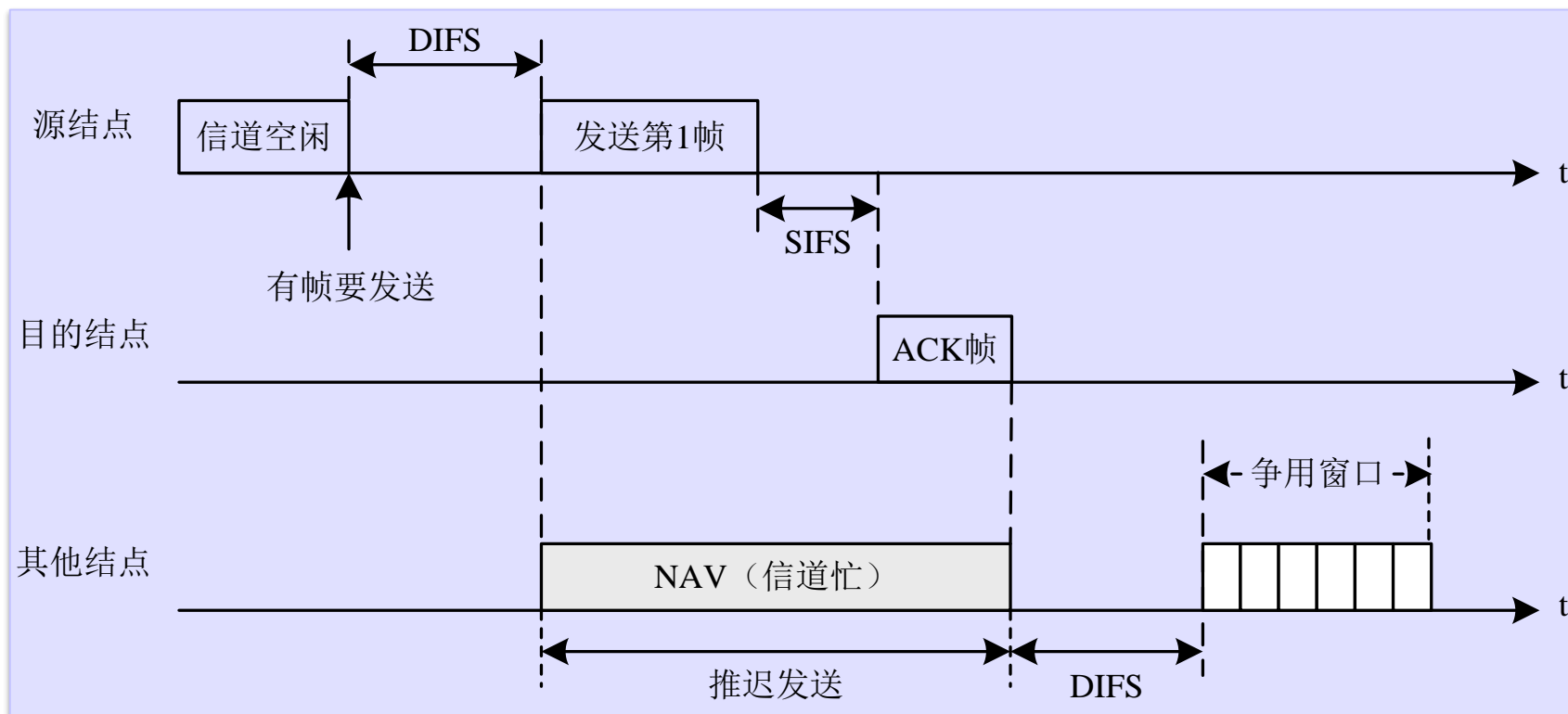
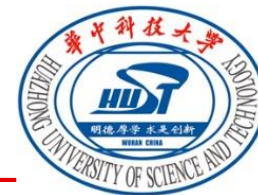
IEEE 802.11: CSMA/CA

□ CSMA/CA 发送流程

所有站点完成发送后，必须等待一段很短的时间才能发送下一帧。这段时间通称为帧间间隔或帧间隙 (IFS, Inter-Frame Space)。

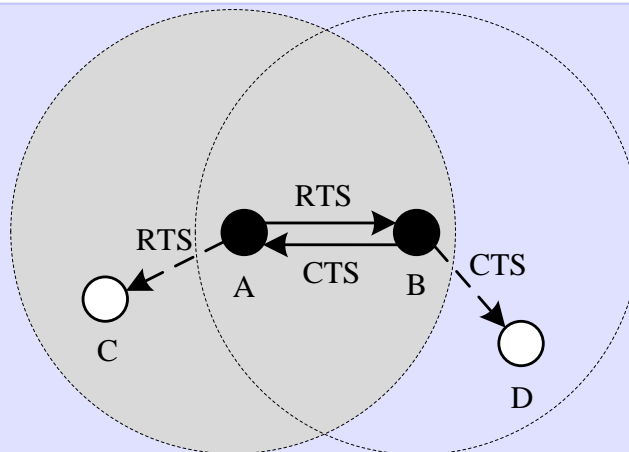


IEEE 802.11: CSMA/CA

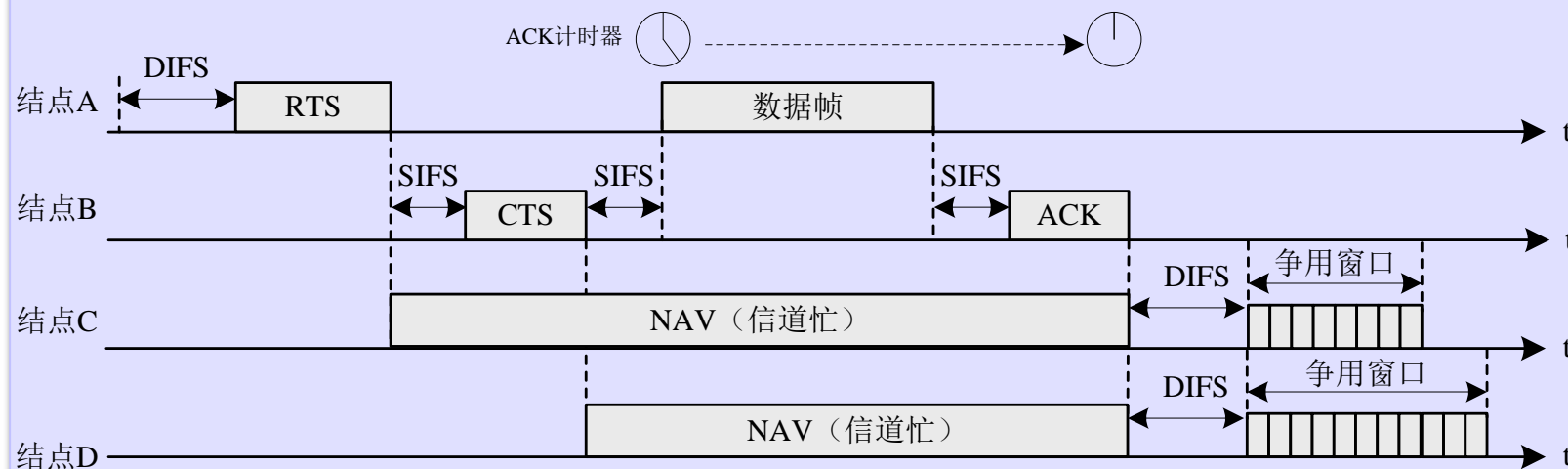


短帧间间隔 (SIFS)
点协调功能帧间间隔 (PIFS)
分布协调功能帧间间隔 (DIFS)
扩展帧间间隔 (EIFS)

IEEE 802.11: CSMA/CA



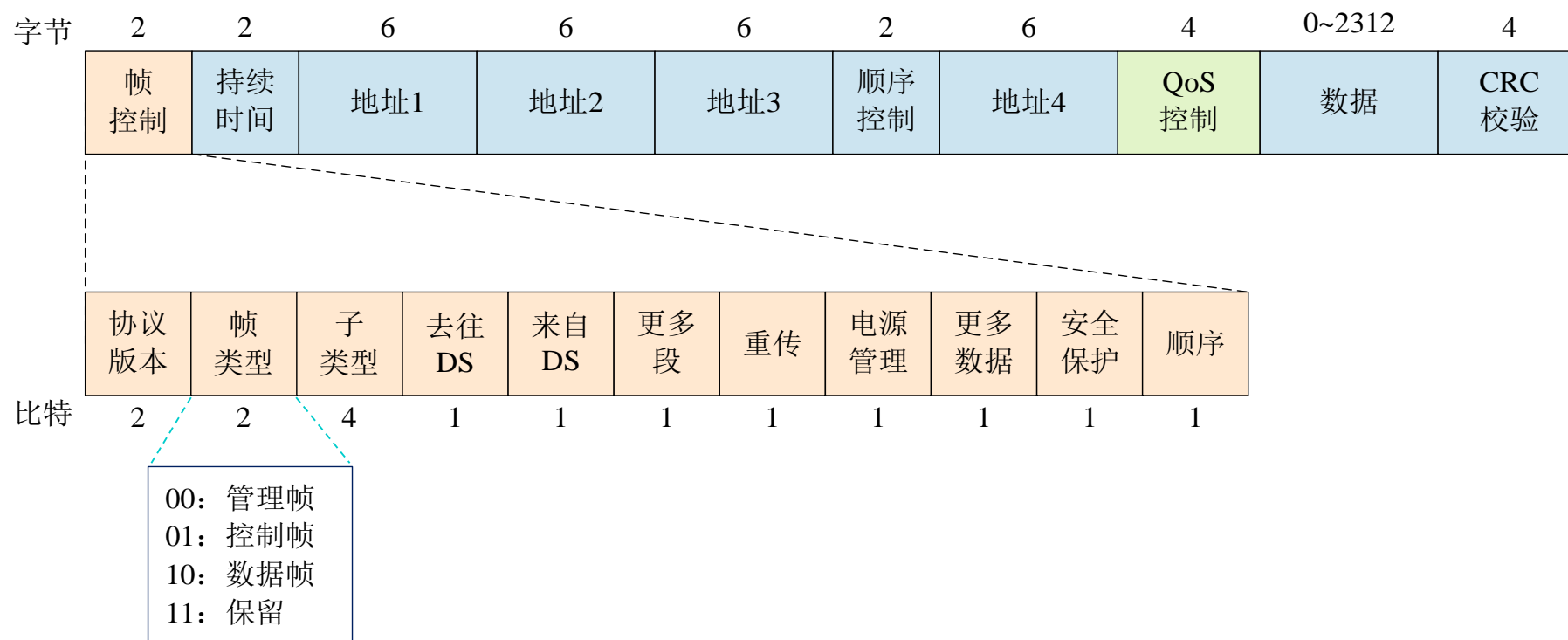
(a) 结点位置关系

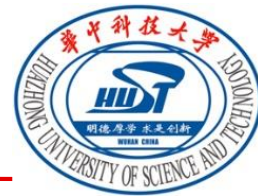


(b) 帧发送与预约过程

Wireless LAN寻址

802.11帧格式一般结构





Wireless LAN寻址

□ 帧控制域段解释

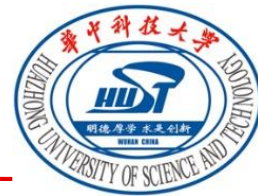
- 协议版本：通常为0
- 帧类型和子类型：如果子类型的最后一位设置为1，表示是QoS数据帧
- 更多段：用于长帧被分段的情况，1表示不是最后一段
- 重传：表明当前帧是以前帧的重传
- 电源管理：1表示节能模式；0表示活跃状态
- 更多数据：指明有更多的数据要发送（缓存）
- 安全保护：1表明采用802.11标准的安全机制，对数据进行保护
- 顺序：1指示接收者必须严格按照顺序处理

Wireless LAN寻址



□ 主要管理帧

类型	子类型	名称
00	0000	关联请求 (Association Request)
00	0001	关联响应 (Association Response)
00	0010	重新关联请求 (Reassociation Request)
00	0011	重新关联响应 (Reassociation Response)
00	0100	探测请求 (Probe Request)
00	0101	探测响应 (Probe Response)
00	1000	信标帧 (Beacon)
00	1001	通知传输指示消息 (ATIM)
00	1010	解除关联 (Disassociation)
00	1011	认证 (Authentication)
00	1100	解除认证 (Deauthentication)

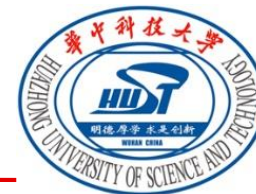


Wireless LAN寻址

□ 主要控制帧

类型	子类型	名称
01	1010	PS-Poll
01	1011	RTS
01	1100	CTS
01	1101	确认帧 (ACK)
01	1000	块确认请求帧 (Block ACK Request)
01	1001	块确认帧 (Block ACK)

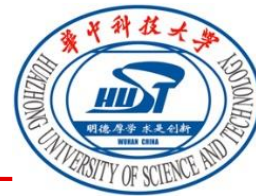
Wireless LAN寻址



□ 主要数据帧

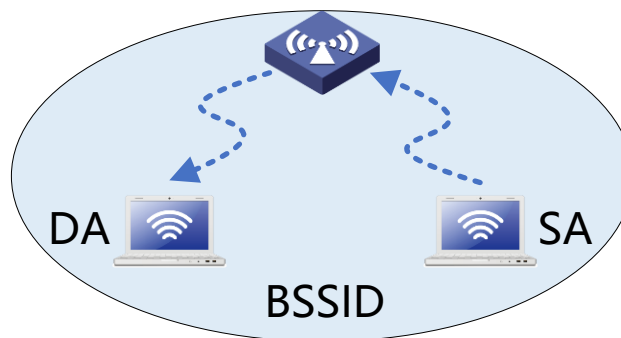
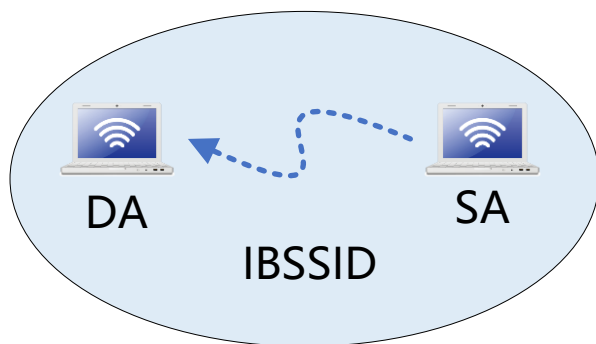
类型	子类型	名称
10	0000	数据帧 (Data)
10	0100	无数据帧 (Null)
10	1000	QoS数据帧 (QoS-Data)
10	1100	QoS无数据帧 (QoS Null)

Wireless LAN寻址

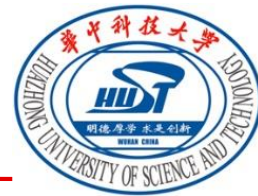


□ 地址域段的使用

BSSID: 基本服务集标识符

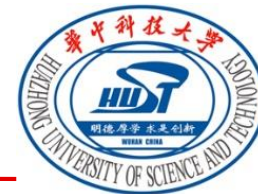


说明	去往DS	来自DS	地址1 (物理接收者)	地址2 (物理发送者)	地址3 (逻辑发送者)	地址4 (逻辑接收者)
自组织模式	0	0	DA	SA	IBSSID	—
接收自AP	0	1	DA	BSSID	SA	—
发送至AP	1	0	BSSID	SA	—	
AP到AP	1	1	接收AP	发送AP	SA	DA



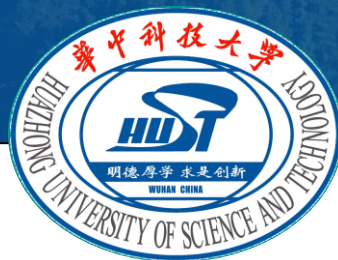
考纲要求

- 理解：以太网MAC协议的设计要点
- 掌握：CSMA/CD协议冲突检测的原理，及相关参数的计算方法
- 理解：无线局域网MAC协议的设计要点
- 理解：CSMA/CA协议冲突避免的原理



总结：协议设计组件

子层	组件	协议			
		HDLC	PPP	Ethernet	WiFi
LLC	可靠传输	滑动窗口ARQ		--	
	差错检测	CRC			
MAC	多路访问控制	--	--	CSMA/CD	CSMA/CA
	帧定界	面向比特	面向字节	面向比特	面向比特
	寻址	8bit+	1byte	48bit	48bit
物理链路特征		点到点		广播	



THANKS
谢谢聆听

Email: chenwang@hust.edu.cn

Website: <http://www.chenwang.net.cn>