



西北工业大学  
NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY



# 网络技术基础

高智刚

M.P. & WeChat: 13572460159

E-mail: [gaozhigang@nwpu.edu.cn](mailto:gaozhigang@nwpu.edu.cn)



西北工业大学  
NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY



# 第四章：局域网

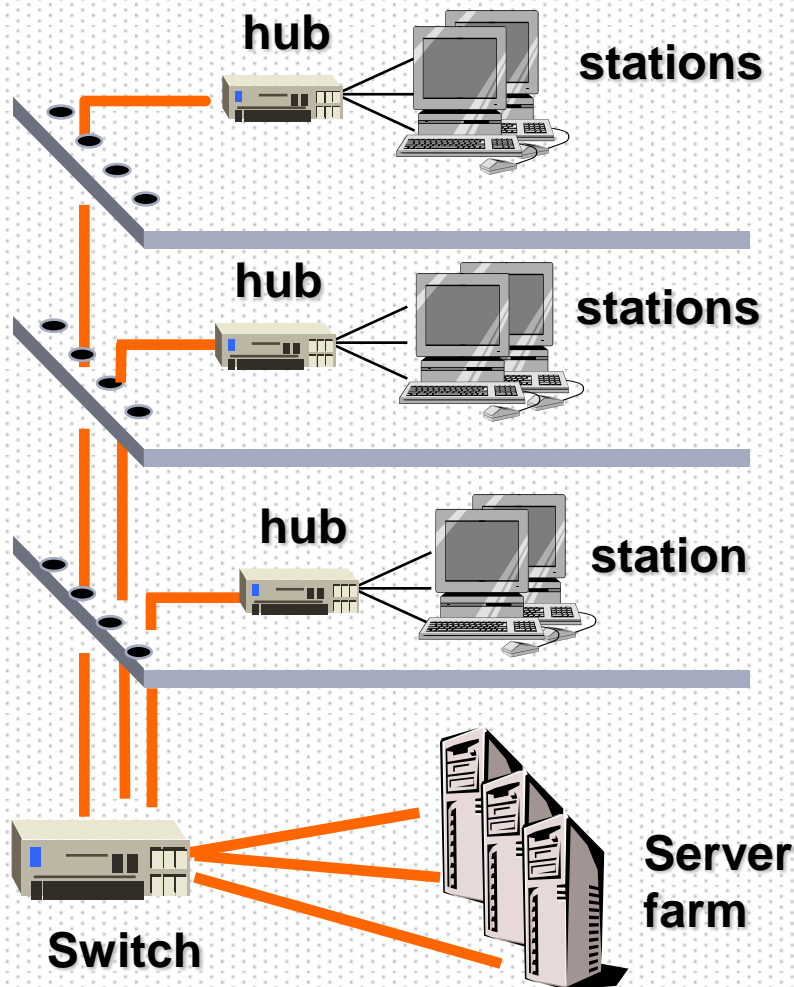
- 局域网概述
- IEEE 802局域网体系结构
  - 局域网参考模型
  - MAC子层
  - LLC子层
- 以太网工作原理-CSMA/CD
- 局域网实例：以太网

## 4.1 局域网概述



### • 特点

- 覆盖范围小
  - 房间、建筑物、园区范围
  - 距离 $\leq 25\text{km}$
- 高传输速率
  - $10\text{Mb/s} \sim 1000\text{Mb/s}$
- 低误码率
  - $10^{-8} \sim 10^{-11}$
- 拓扑：总线、星形、环形
- 介质：UTP、Fiber、COAX
- 私有性：自建、自管、自用



## 4.1 局域网概述



- 局域网关键技术

- 拓扑结构（逻辑、物理）

- 总线型、星形、环形、树形

- 介质访问方法

- CSMA/CD、Token-passing

- 信号传输形式

- 基带、宽带

- 以上三种技术决定了局域网的特征

## 4.2 IEEE802局域网体系结构

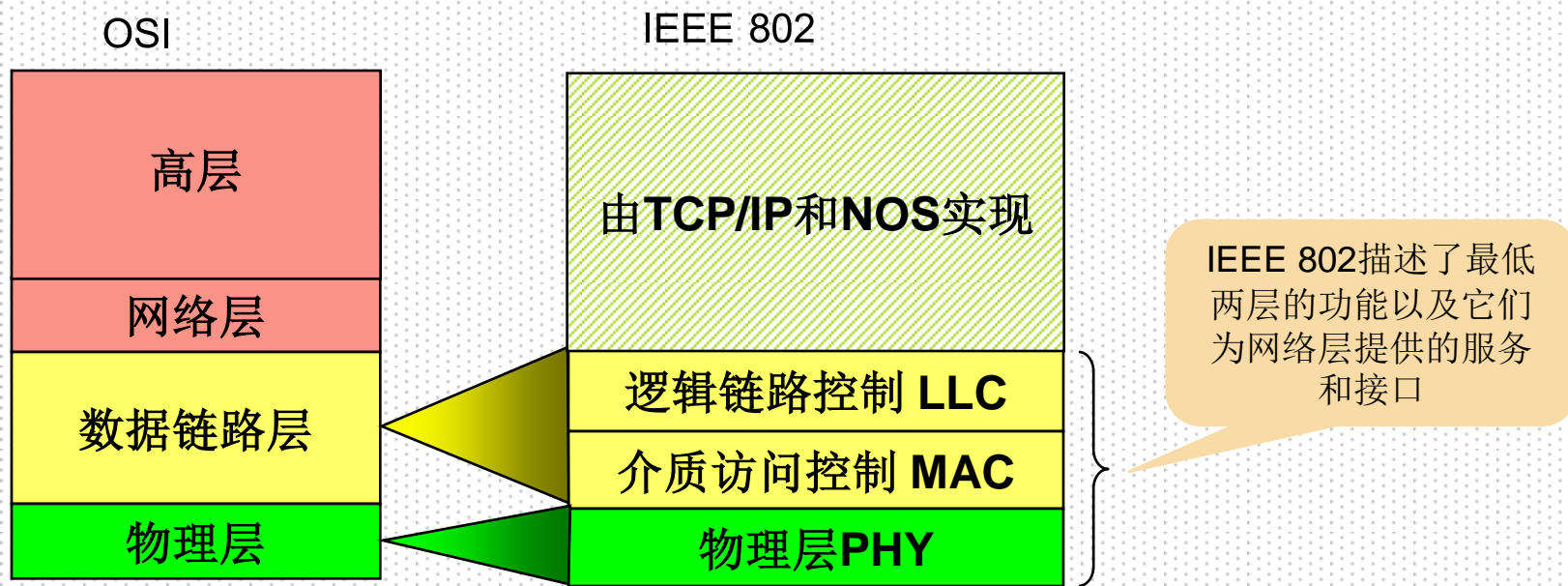


- 局域网的标准：IEEE 802 (ISO 8802)
  - IEEE 802是一个标准系列：IEEE 802.1~IEEE 802.14
- IEEE于1980年2月成立了IEEE 802委员会，  
制定有关LAN的参考模型和各种标准
- 目的是推动局域网技术的应用，规范局域网产品的开发

## 4.2 IEEE802局域网体系结构



- 体系结构只包含两层：数据链路层，物理层
  - 数据链路层又分为逻辑链路控制和介质访问控制两层





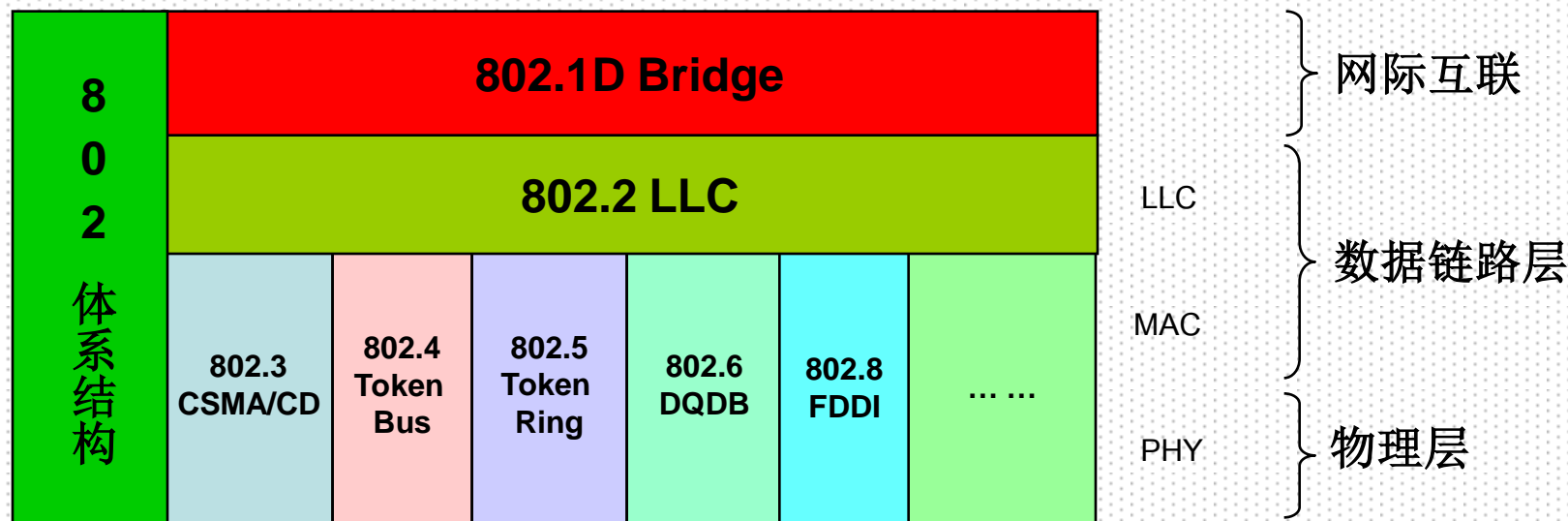
## 4.2 IEEE802局域网体系结构



- IEEE802标准系列中的主要标准
  - 802.2 - 逻辑链路控制
  - 802.3 - CSMA/CD (以太网)
  - 802.4 - Token Bus (令牌总线)
  - 802.5 - Token Ring (令牌环)
  - 802.6 - 分布队列双总线DQDB -- MAN标准
  - 802.8 - FDDI (光纤分布数据接口)
  - 802.11 - WLAN (无线局域网)



## 4.2 IEEE802局域网体系结构



- 数据链路层在不同的子标准中定义，分别对应于LLC子层和MAC子层

### • 局域网的物理层

#### — 功能

- 位流的传输
- 同步前序的产生与识别
- 信号编码和译码

#### — IEEE 802定义了多种物理层，以适应不同的网络介质和不同的介质访问控制方法

#### — 两个接口

- 连接单元接口（**AUI**）——可选，仅用于粗同轴电缆
- 介质相关接口（**MDI**）——屏蔽不同介质的特性，使之不影响**MAC**子层的操作



- 局域网的数据链路层

- 按功能划分为两个子层：LLC和MAC

- 功能分解的目的

- 将功能中与硬件相关的部分和与硬件无关的部分分开，以适应不同的传输介质
    - 解决共享信道(如总线)的介质访问控制问题，使帧的传输独立于传输介质和介质访问控制方法
      - LLC: 与介质、拓扑无关
      - MAC: 与介质、拓扑相关



- 局域网的数据链路层

- MAC子层功能

- 实现、维护**MAC**协议，差错检测，**寻址**

- LLC子层功能

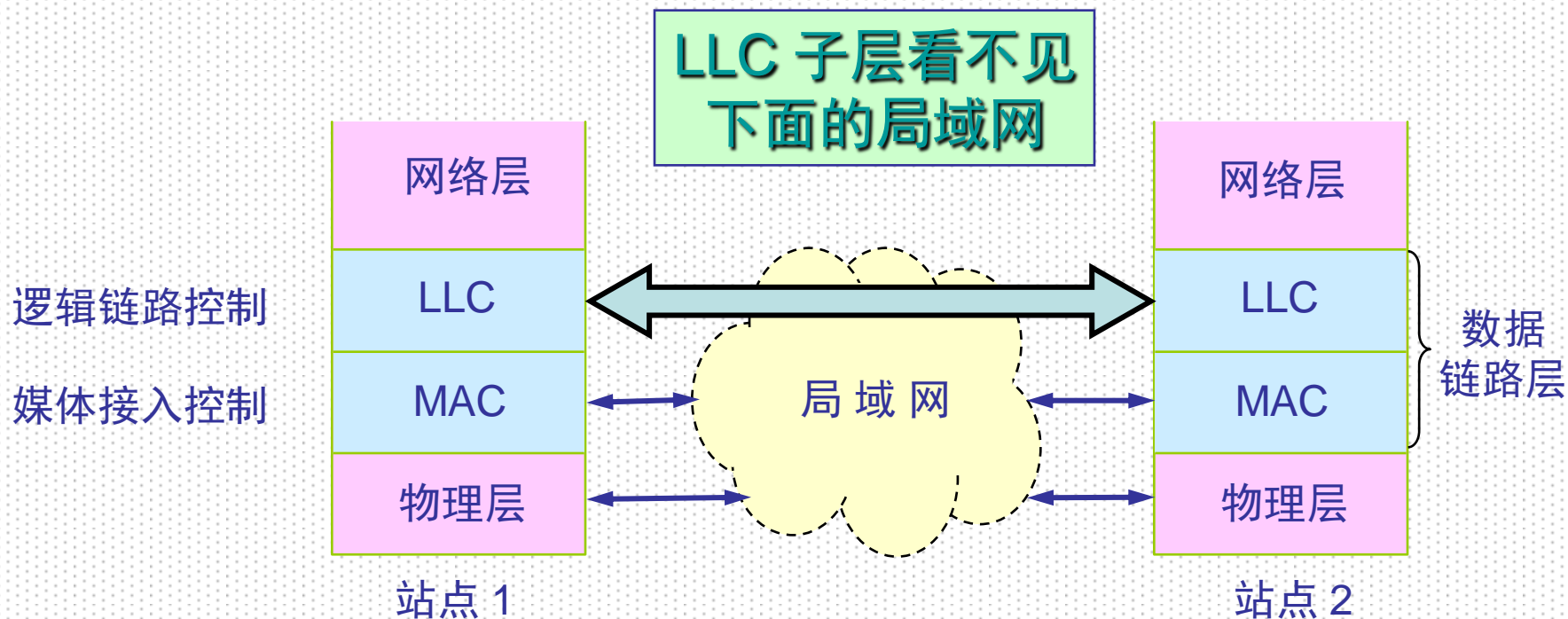
- 向高层提供**统一**的链路访问形式，组帧/拆帧、建立/释放逻辑连接，差错控制，帧序号处理，提供某些网络层功能

- 对不同LAN标准，它们的**LLC子层相同**，**区别仅在MAC子层（和物理层）**

## 4.2 IEEE802局域网体系结构



- 局域网对 LLC 子层是透明的



与接入到传输媒体有关的内容都放在MAC子层，而LLC子层则与传输媒体无关，不管采用何种协议的局域网对LLC子层来说都是**透明的**

- 媒体接入控制子层-MAC地址

- MAC地址：使用源地址和目标地址来标识本结点和要访问的结点，封装在帧中
- MAC地址是固化在网卡的ROM中的，因此也称为物理地址或硬件地址
- MAC地址可采用6个字节或2个字节

现在均使用**6个字节**的地址，其中46个bit用来标识一个特定的MAC地址，约70万亿个地址，可保证全球地址的唯一性

## 4.2 IEEE802局域网体系结构



- MAC地址类型：3种类型

- (1) 单播地址：标识一个目的站点，一对一通信
- (2) 多播地址：标识一组目的站点，一对多通信
- (3) 广播地址：全1地址，对网上所有站点通信

- MAC地址管理

- IEEE注册管理机构RA（Registration Authority）是全球LAN地址的法定管理机构，统一管理分配6个字节全球地址的前3个字节



## 4.2 IEEE802局域网体系结构



### • MAC地址

组织唯一标识符（**OUI**）：前3个字节构成一个号，表示一个地址块， $2^{24}$ （0.168亿）地址。

扩展标识符：地址的后3个字节，由生产厂家指派。

十六进制 MAC 地址：FC 2E 16 1A 70 8B					
组织唯一标识符 OUI			扩展标识符		
第 1 字节	第 2 字节	第 3 字节	第 4 字节	第 5 字节	第 6 字节
FC	2E	16	1A	70	8B
00111111	01110100	01101000	01011000	00001110	00110001

发送顺序：自左至右（字节：第 1—>第 6；字节内：低位—>高位）

图 以太网地址在网上的传送顺序

## 4.2 IEEE802局域网体系结构



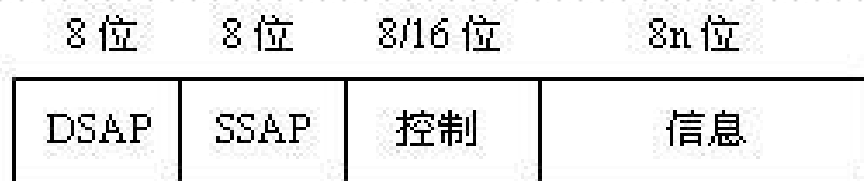
- 逻辑链路控制子层
- 提供的服务
  - (1) 无确认的无连接服务, LLC1
  - (2) 可靠的面向连接的服务, LLC2
  - (3) 带确认的无连接服务, LLC3

LAN误码率低, 且对于广播和多播, 若要求收方都必须发回确认, 会给网络带来很大的负担

## 4.2 IEEE802局域网体系结构



### • 逻辑链路控制子层-LLC帧格式



	1	2	3	4	5	6	7	8
I 帧:	0	N(S)			P/F	N(R)		
S 帧:	1	0	S		P/F	N(R)		
U 帧:	1	1	M		P/F	M		

- 参照HDLC协议设计, 使用相同的帧类型和帧格式
- 3种类型的帧, 可实现差错控制和流量控制
- 数据长度可变
- LLC帧封装在MAC帧中传输

LAN的每个站点中都有可能多个进程在运行, 他们是数据传输的最终端点, 他们可能同时与其他一个或多个站中的一些进程进行通信, 因此, 在LLC层上面设有多个服务访问点, 即SAP, 为多个进程提供服务。

## 4.2 IEEE802局域网体系结构



- 逻辑链路控制子层

- 在IEEE 802LAN数据链路层通信中，除了MAC地址，还定义了另一种地址即SAP地址，作为LLC子层的地址
- SAP分为源SAP地址(SSAP)和目的SAP地址(DSAP)，提供对网络层的接口，标识网络层的通信进程

- IEEE 802 LAN中的寻址分为两步

- (1) 用MAC帧MAC地址信息找到网络中的某一个站点
- (2) 用LLC帧SAP地址信息找到该站点网络层的一个进程

## 4.3 介质访问控制方法



- 局域网使用广播信道（特点：多点访问，随机访问），多个站点共享同一信道

问题 – 各站点如何访问共享信道？

– 如何解决同时访问造成的冲突（信道争用）？

- 解决以上问题的方法称为介质访问控制方法
- 两类介质共享技术
  - 静态分配（FDM、WDM、TDM、CDM）——不适用于局域网
  - 动态分配（随机接入、受控接入）——CSMA/CD、Token-Passing

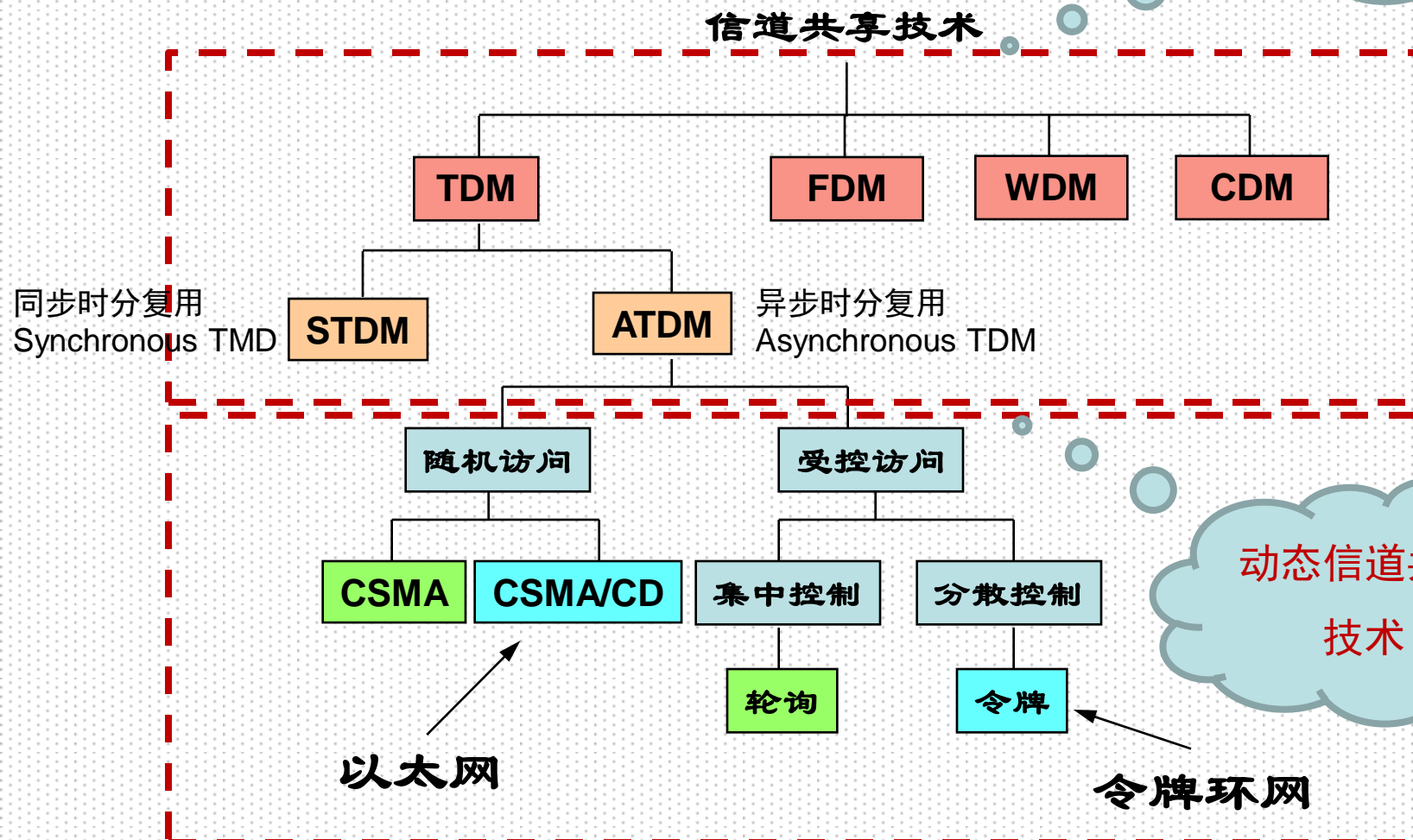
## 4.3 介质访问控制方法



静态信道共享  
技术

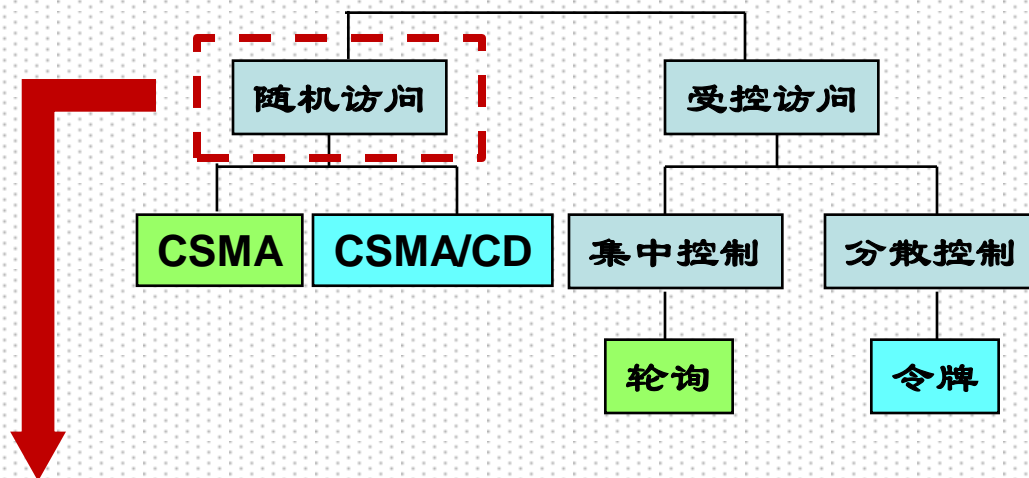
### • 信道共享技术分类

#### 信道共享技术



动态信道共享  
技术

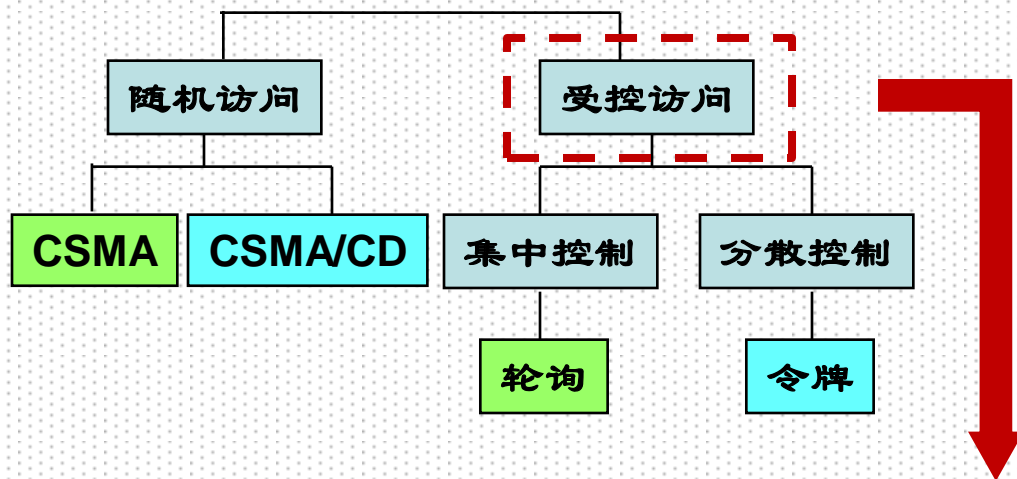
## 4.3 介质访问控制方法



- **随机接入**：各结点可根据自己意愿随机接入信道
- **存在的问题**：若两个或两个以上结点同时发送信息则会产生冲突，因此，需要避免冲突，并解决冲突带来的问题



## 4.3 介质访问控制方法



- **受控接入：**受到一定接入信道的制约。通常每一时刻一个结点接入信道
  - 集中式控制：
    - 在网络上设置一个主控结点，由它控制站点的接入权
  - 分散式控制：
    - 网络上不设置主控结点，各结点平等参与接入控制过程

## 4.3 介质访问控制方法



### • 常见的局域网中介质访问控制方法

#### — 载波监听多路访问/冲突检测 (CSMA/CD)

- Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect

- 采用随机访问技术的竞争型介质访问控制方法

#### — 令牌传递 (Token Passing)

- (1) Token Ring

- (2) Token Bus

- (3) FDDI

- 采用受控访问技术的分散控制型介质访问控制方法

## 4.3 介质访问控制方法



### • 多个站点如何安全地使用共享信道？

- 最简单的思路：发送前先检测一下其它站点是否正在发送（即信道忙否）
  - 若信道空闲，是否可以立即发送？
    - 若有多个站点都在等待发送，必然冲突！
    - 解决：等待一段**随机时间**后再发（降低了冲突概率）
  - 若信道忙，如何处理？
    - 继续监听：
      - » 等到信道空闲后立即发送
      - » 等到信道空闲后等待随机时间后再发送
    - 等待一段随机时间后再重新检测信道
- 一旦出现两个站点同时发送的情况，如何处理？
  - 以上方法均无法处理！

## 4.3 介质访问控制方法

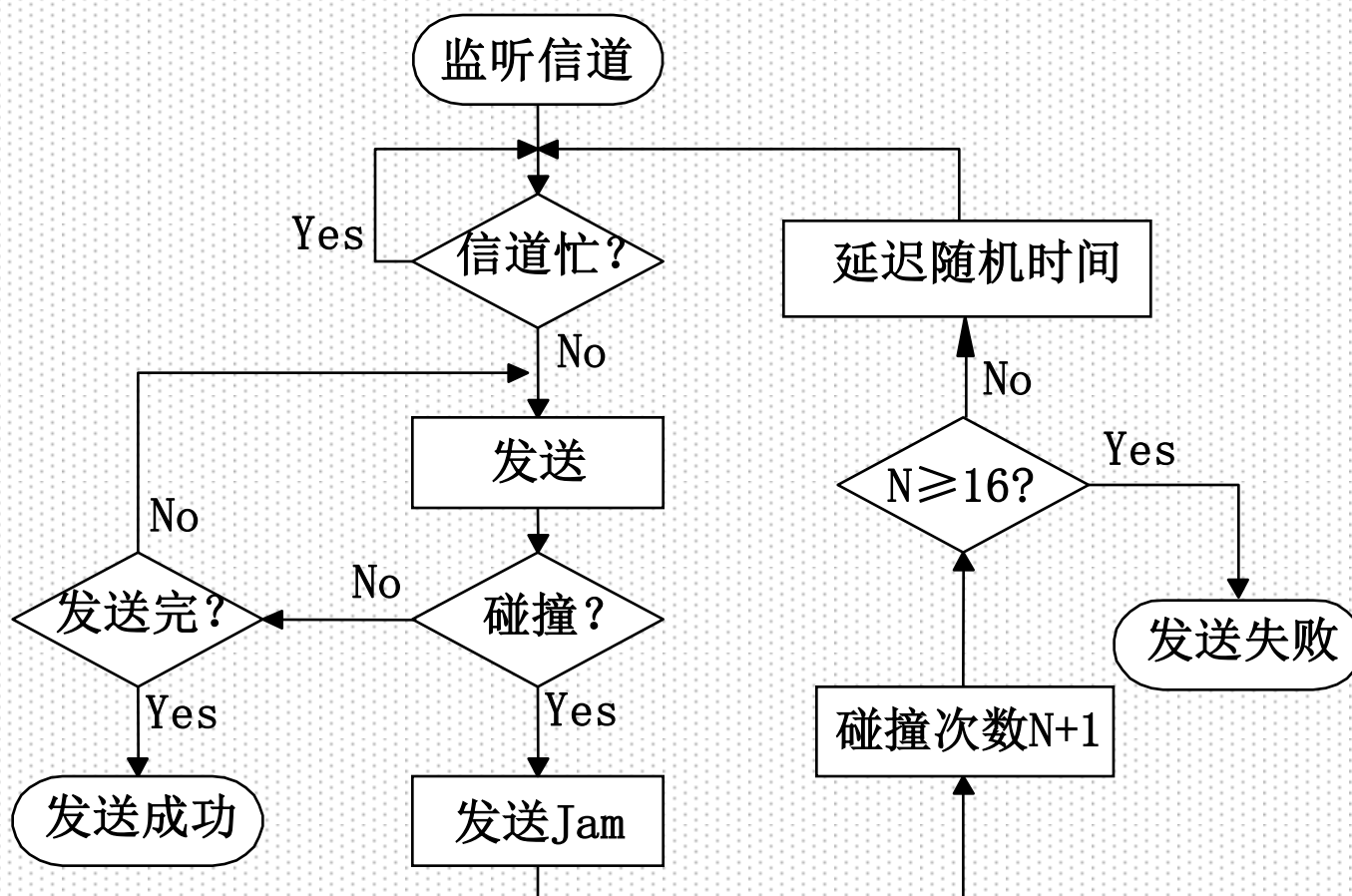


- CSMA/CD – 带冲突检测的载波监听多路访问
  - 用于IEEE 802.3以太网
  - 工作原理
    - 发送前先监听信道是否空闲，若空闲则立即发送
    - 如果信道忙，则继续监听，一旦空闲就立即发送
    - 在发送过程中，仍需继续监听。若监听到冲突，则立即停止发送数据，然后发送一串干扰信号（Jam）（发送Jam信号的目的是强化冲突，以便使所有的站点都能检测到发生了冲突）
    - 等待一段随机时间（称为退避）以后，再重新尝试
  - 归结为四句话
    - 先听后发，空闲即发送，边发边听，冲突时退避

## 4.3 介质访问控制方法



### • CSMA/CD操作的流程图

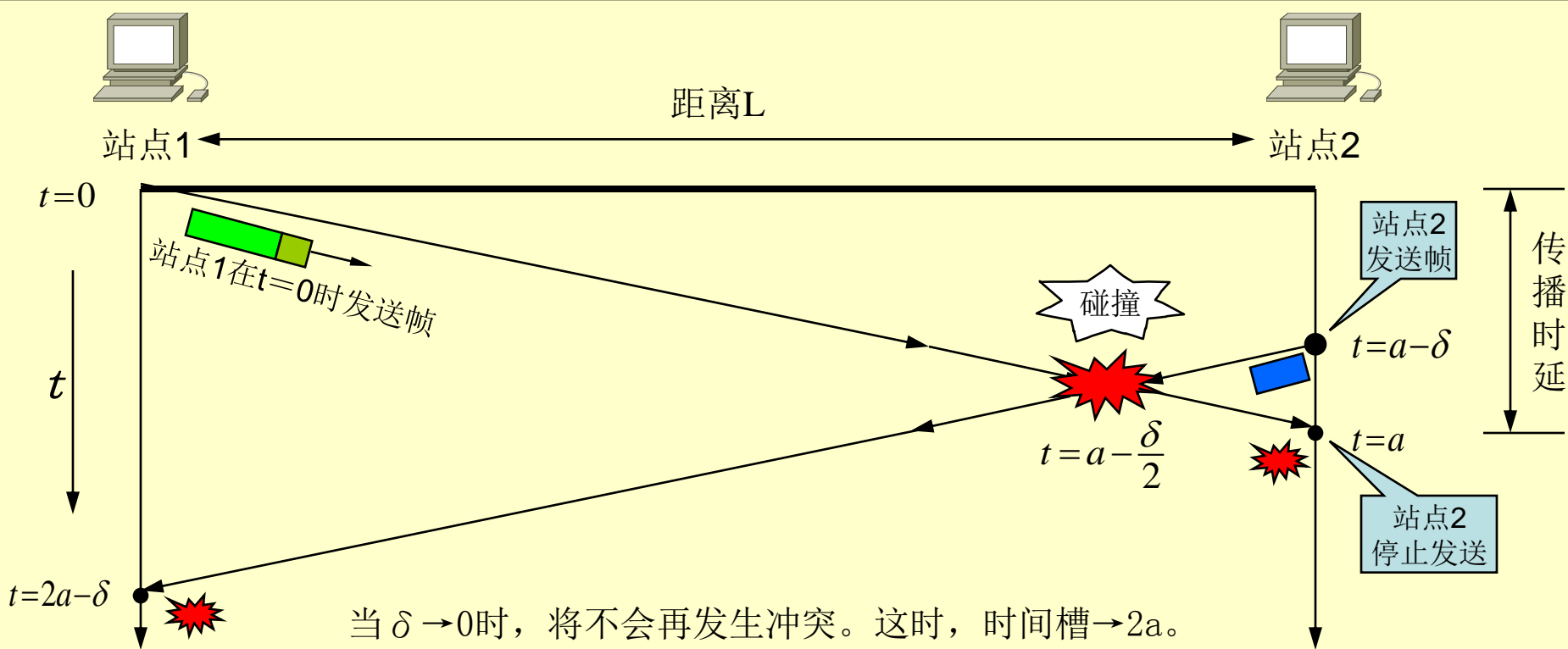


## 4.3 介质访问控制方法



### • CSMA/CD协议的时间槽

- **时间槽**——能够检测到冲突的时间区间（也称为**碰撞窗口**）
- 若两站点之间传播时延为 $a$ ，则时间槽 $=2a$ 。如下图所示：



## 4.3 介质访问控制方法



- 时间槽的意义：

- 一个站点开始发送后，若在时间槽内没有检测到冲突，则本次发送不会再发生冲突
- 时间槽与网络跨距、传输速率、最小帧长有密切的关系

- 以太网中，时间槽 =  $51.2\mu\text{s}$

- 传输速率 =  $10\text{Mb/s}$  时，一个时间槽内可发送  $512\text{bits}$ ，即 64 字节（所以也称一个时间槽长度为 64 字节）

- 由此可知

- 冲突只可能在一帧的前 64 字节内发生
- 帧长度小于 64 字节时，将无法检测出冲突
  - ∴ 以太网规定，最小帧长度为 64 字节
- 长度小于 64 字节的帧（碎片帧）都是无效帧



## 4.3 介质访问控制方法



- 采用CSMA/CD的局域网中，由于时间槽的限制，**传输速率 $R$ 、网络跨距 $S$ 、最小帧长 $F_{min}$** 三者之间必须满足一定的关系

$$F_{min} = kSR \quad k: \text{系数}$$

– 可以看出

- 最小帧长度不变时，传输率越高，网络跨距就越小
- 传输率固定时，网络跨距越大，最小帧长度就应该越大
- 网络跨距固定时，传输率越高，最小帧长度就应该越大

## 4.3 介质访问控制方法



- CSMA/CD的优缺点

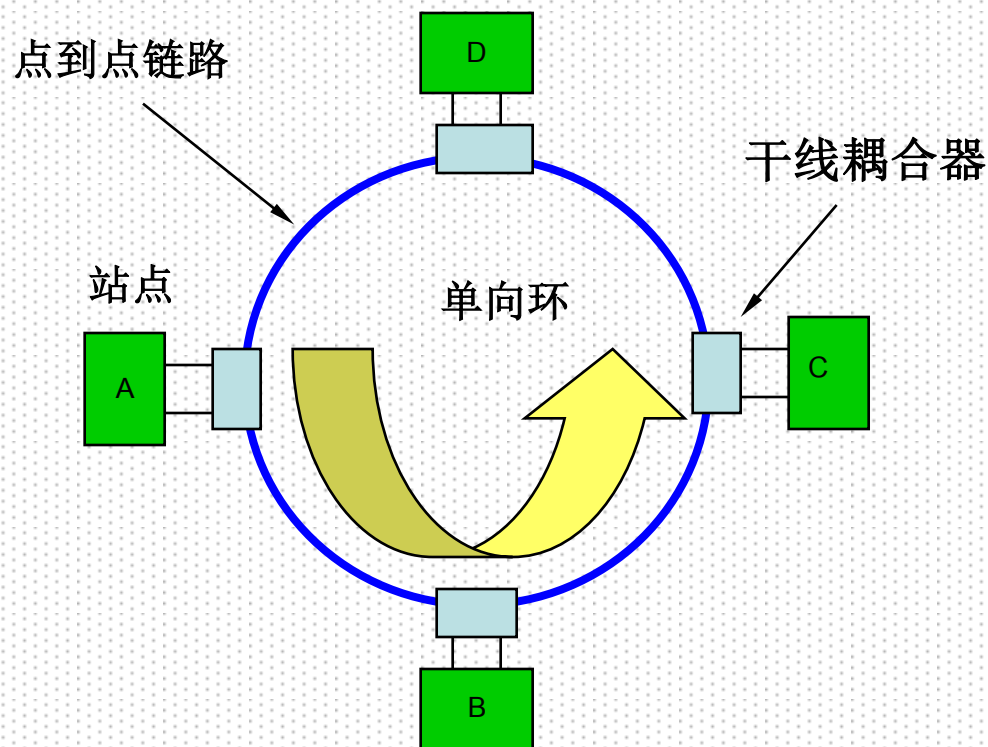
- 控制简单，易于实现
- 网络负载轻时，有较好的性能
  - 30%—40%以内
  - 延迟时间短、速度快
- 网络负载重时，性能急剧下降
  - 70%—80%以上
  - 冲突数量的增长使网络速度大幅度下降

## 4.3 介质访问控制方法



### • 令牌传递 (Token Passing)

- 主要用于IEEE 802.5令牌环网
- 拓扑结构：点到点链路连接，构成闭合环



## 4.3 介质访问控制方法



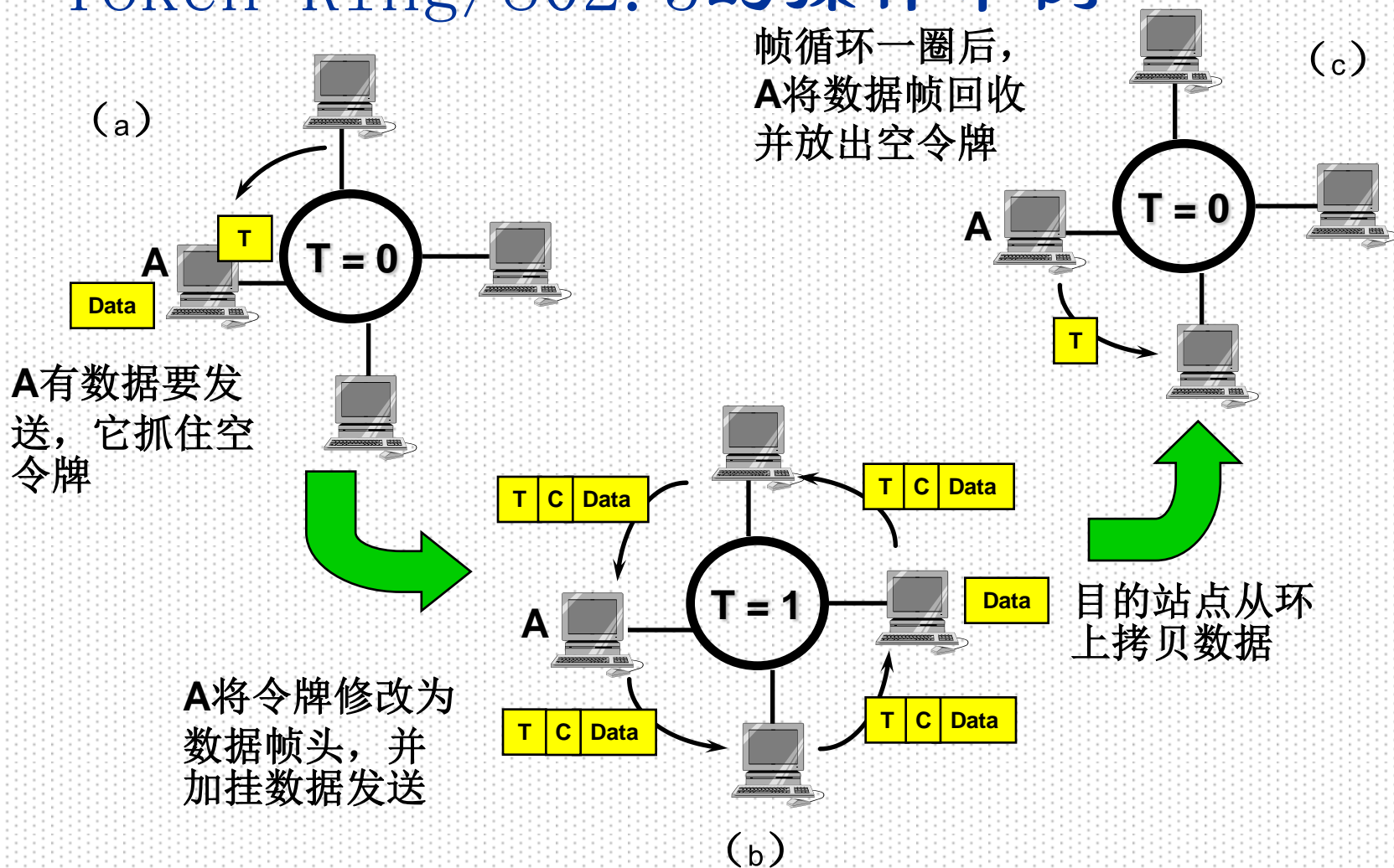
### • Token Ring/802.5的操作

- 哪个站点可以发送帧，是由一个沿着环旋转的称为“令牌” (TOKEN) 的特殊帧来控制的。只有持有令牌的站可以发送帧，而没有拿到令牌的站只能等待
- 拿到令牌的站将令牌转换成数据帧头，后面加挂上自己的数据进行发送
- 目的站点从环上复制该帧，帧则沿环继续往下循环
- 数据帧循环一周后由源站点回收，并送出一个空令牌，使其余的站点能获得帧的发送权

## 4.3 介质访问控制方法



### • Token Ring/802.5的操作举例



## 4.3 介质访问控制方法



### • 令牌环网与以太网的比较

- Token Ring技术要比Ethernet技术复杂，令牌传递机制的效率是Ethernet冲突检测机制所无法比拟的，其线路利用率可达90%
- Ethernet拥有很高的市场占有率，Token Ring网却只有很少的市场份额，原因在于
  - 价格：Token Ring产品价格是Ethernet同类型产品的5-10倍
  - 扩展灵活性：用户很容易将现有共享式Ethernet升级为交换式Ethernet。虽然Token Ring也朝着交换式和高速网络方向发展，但价格过于昂贵，无法与Ethernet竞争

## 4.4 局域网组成设备



- 局域网组成部分

- 计算机, Computers
- 网卡, Network interface cards
- 外围设备, Peripheral devices
- 网络介质, Networking media
- 网络设备, Network devices

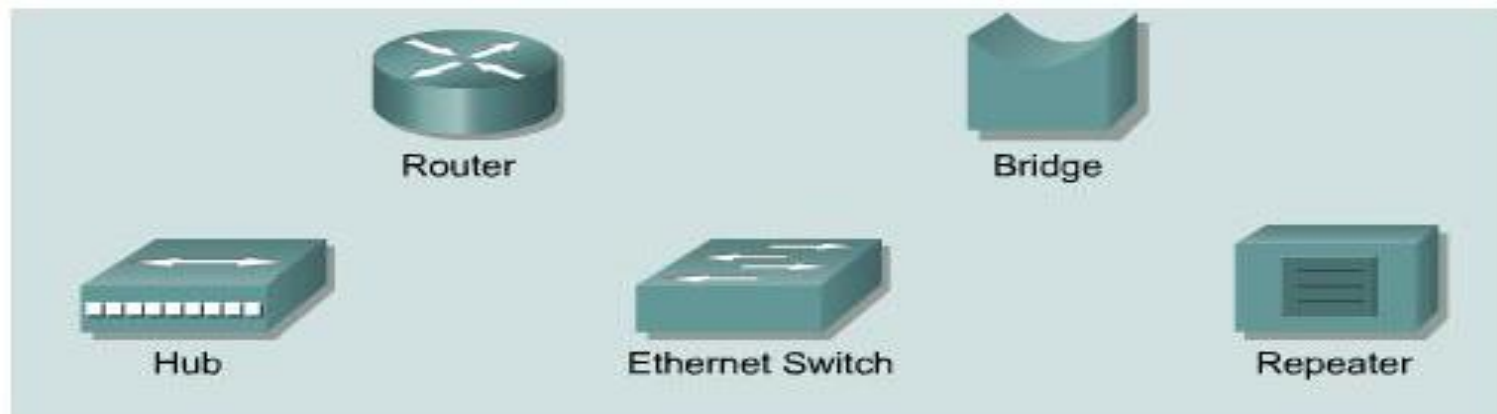


## 4.4 局域网组成设备



### • 局域网组成设备

- 中继器 (Repeater)
- 集线器 (Hub)
- 网桥 (Bridge)
- 交换机 (Switch)



## 4.4 局域网组成设备



### • 中继器 (Repeater)

- 一种简单的工作在物理层的网络设备，可以接收一条链路上的数据，并以同样的速度将数据发送到另一条链路上，而不滞留
- 中继器目的是在比特级对网络信号进行再生和重定，以使其能在介质上传输更长的距离，即放大数据信号，扩展通信距离，特点是简单，不能隔离广播

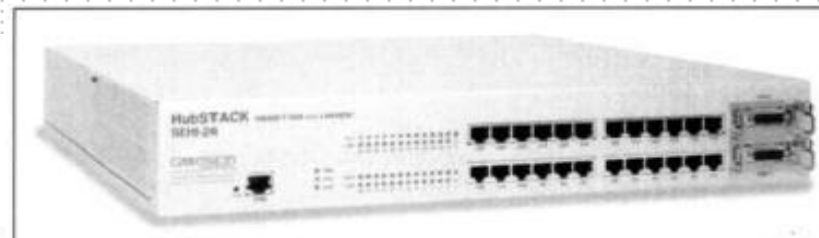
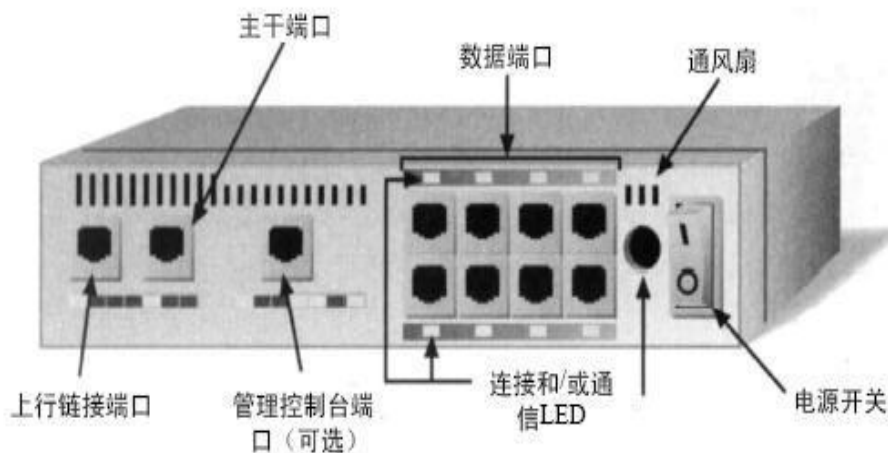
## 4.4 局域网组成设备



### • 集线器 (Hub)

- 集线器就是将网线集中到一起的机器，也就是多台主机和设备的连接器。主要功能是对接收到的信号进行同步整形放大，以扩大网络的传输距离
- 所有节点争用总线收发数据，集线器即总线的变型
- HUB本身不能识别目的地址，当同一局域网内A主机给B主机传输数据时，在以HUB为架构的网络上以广播方式传输，每一台终端通过验证数据包头的地址信息来确定是否接收。此方式下，同一时刻网络上只能传输一组数据帧通讯，如果发生冲突需重试

## 4.4 局域网组成设备



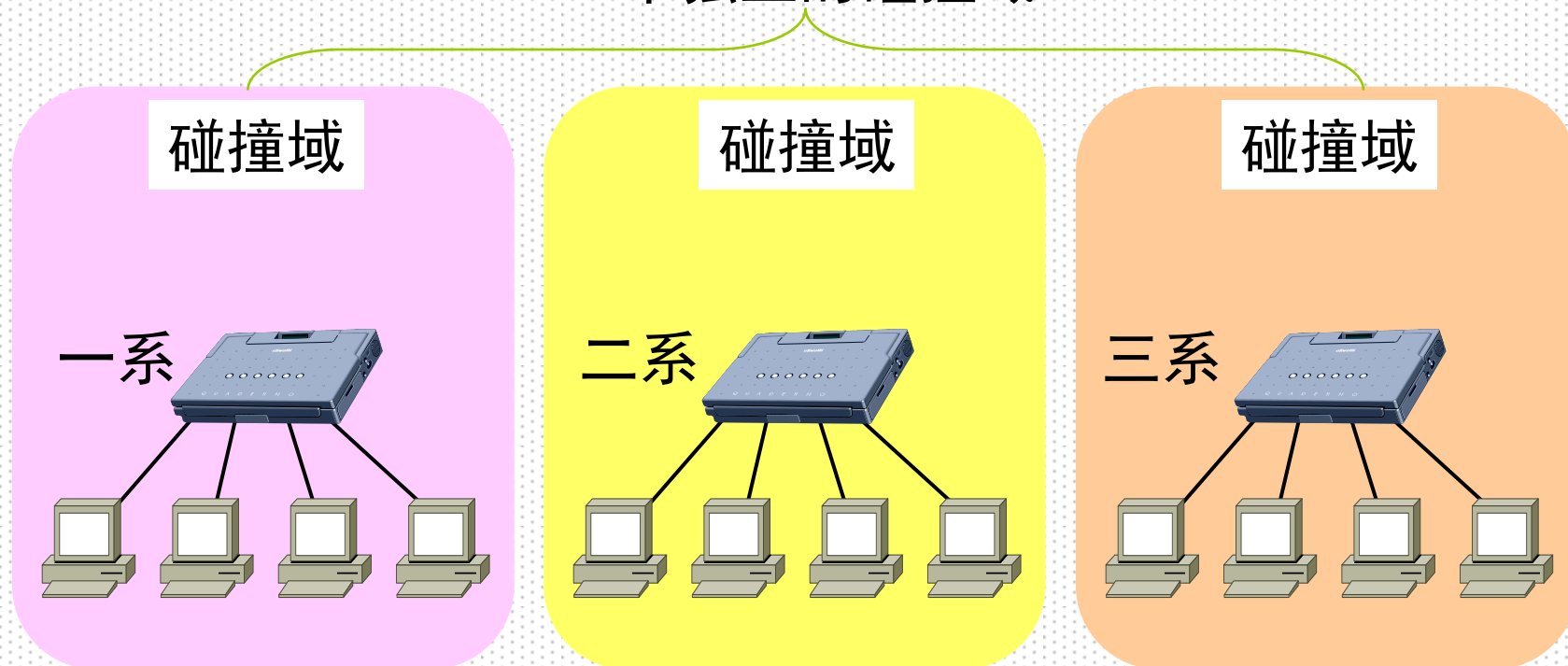
区别仅在于集线器能提供更多的连接端口，  
而中继器只是一个1对1的专门延长传输距离  
的连接设备

## 4.4 局域网组成设备



- 用多个集线器可连成更大的局域网

- 某大学有三个系，各自有一个局域网  
三个独立的碰撞域



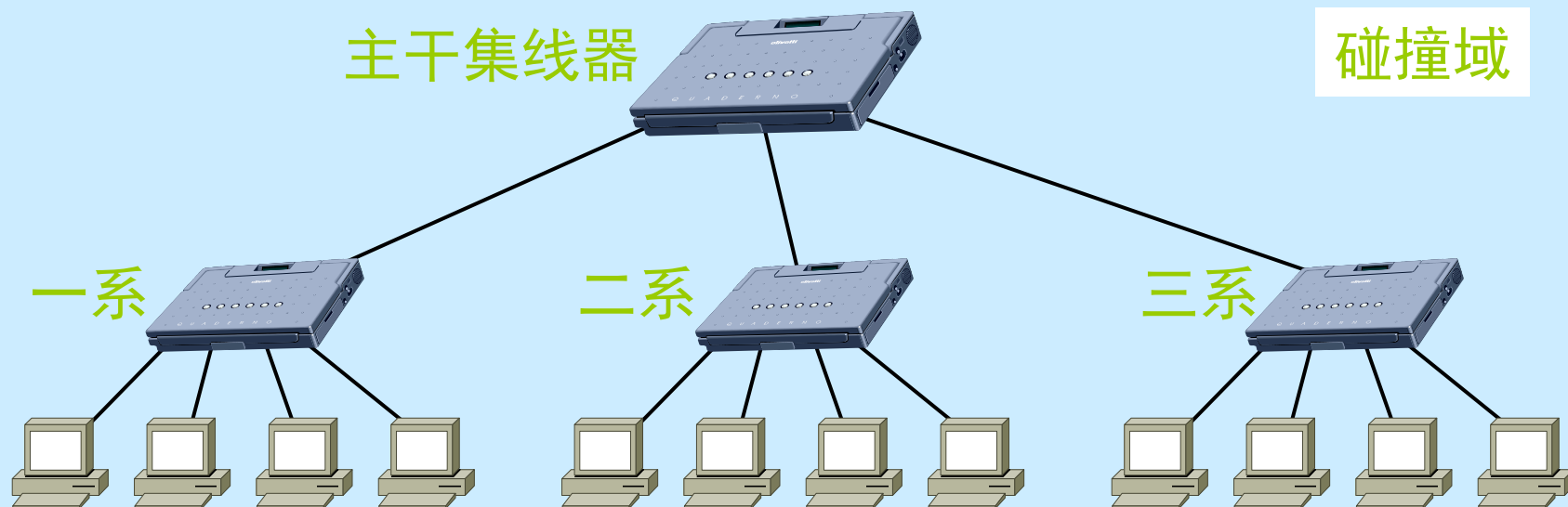
## 4.4 局域网组成设备



- 用集线器组成更大的局域网

- 都在一个碰撞域中

一个更大的碰撞域



## 4.4 局域网组成设备



### • 用集线器扩展局域网

#### — 优点

- 使原来属于不同碰撞域的局域网上的计算机能够进行跨碰撞域的通信
- 扩大了局域网覆盖的地理范围

#### — 缺点

- 碰撞域增大了，但总的吞吐量并未提高
- 如果不同的碰撞域使用不同的数据率，那么就不能用集线器将它们互连起来



## 4.4 局域网组成设备



- 网桥 (Bridge)

- 数据链路层设备，作用是将多个网段/子网互连构成新的局域网。特点是可将网络中的业务分段处理，但不可隔离广播。如可将插有两块网卡的计算机作为网桥

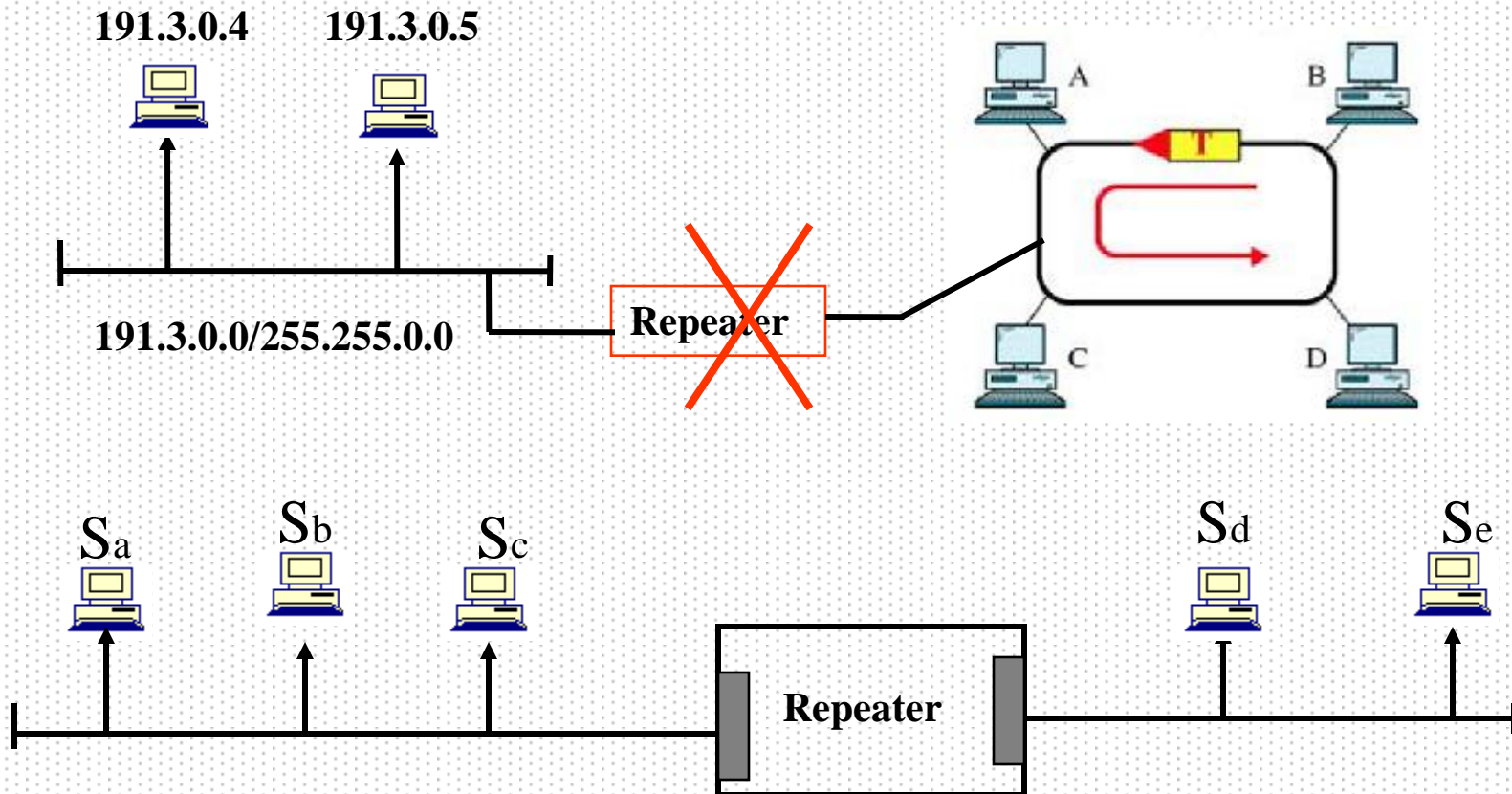
- 交换机 (Switch)

- 多端口网桥的作用，但与网桥不同，交换机使用硬件处理数据帧。分为：直通式 (cut through)、存贮转发式 (store-and-forward)、自由分段式。可减小和避免局域网中的冲突。交换机完成两个基本任务：1、快速交换数据；2、建立交换表检测环路

## 4.4 局域网组成设备



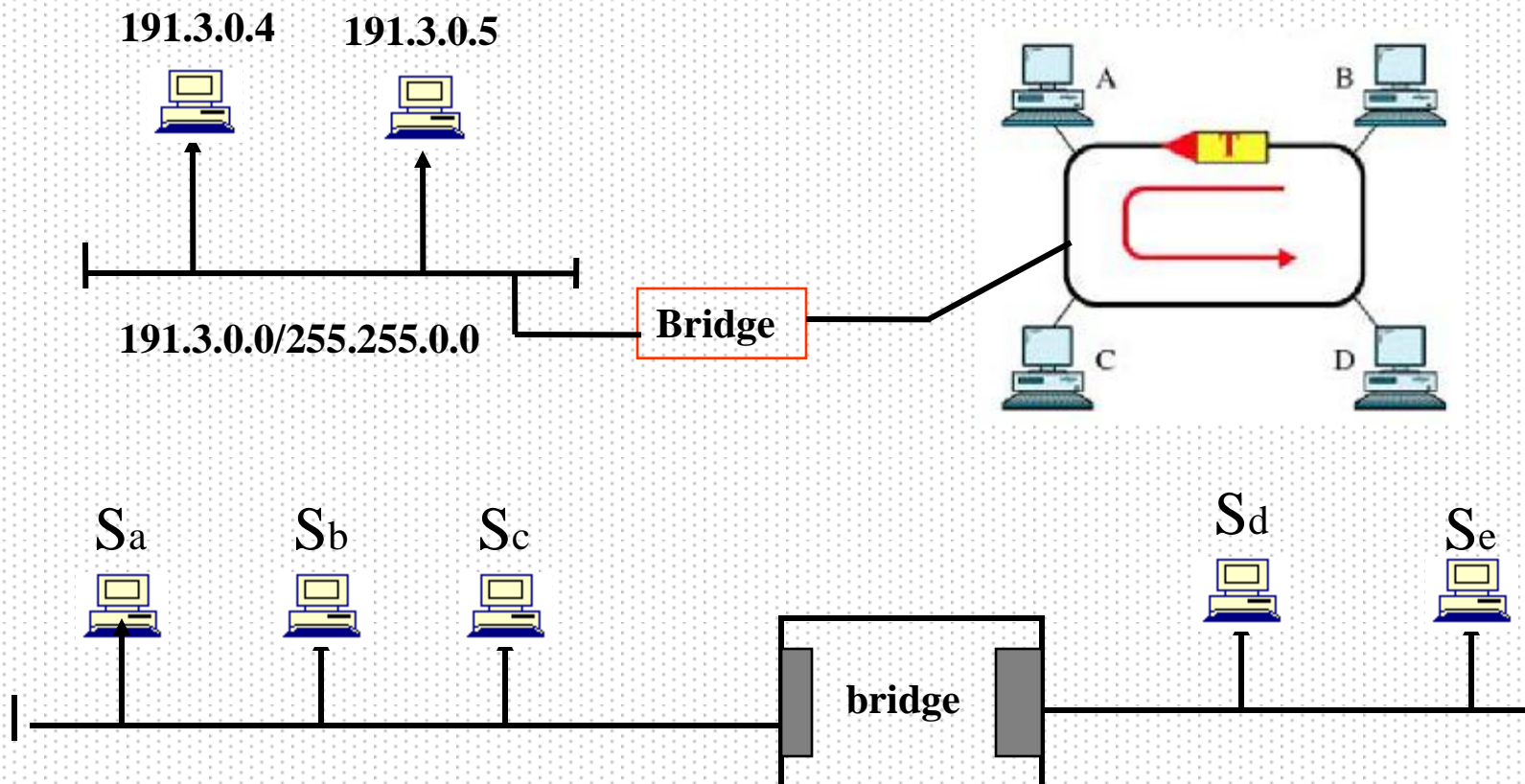
- 中继器和集线器只能连接同一类型的LAN



## 4.4 局域网组成设备



- 网桥和交换机可以连接不同类型的LAN



## 4.4 局域网组成设备

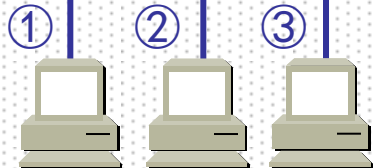


### • 网桥内部结构

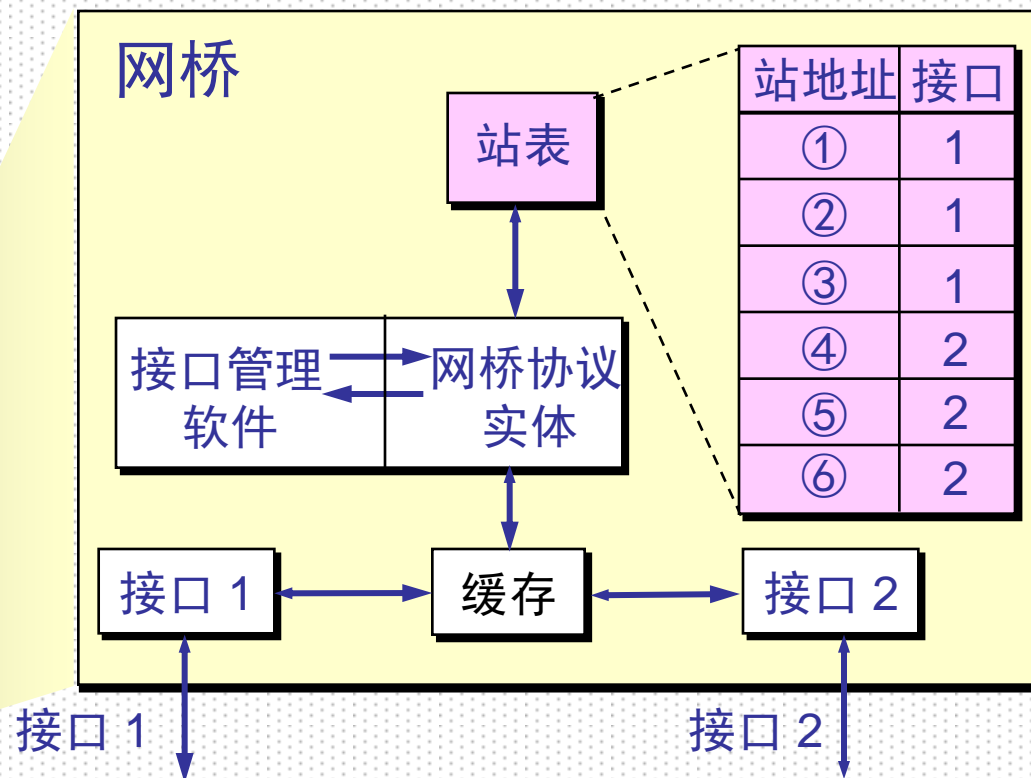
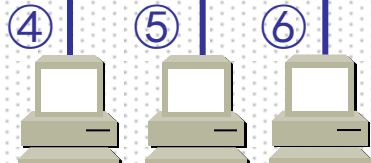
- 根据发送方和接收方  
MAC地址查找站表，  
不同网段间帧转发，  
相同网段间帧不转发



网段 A



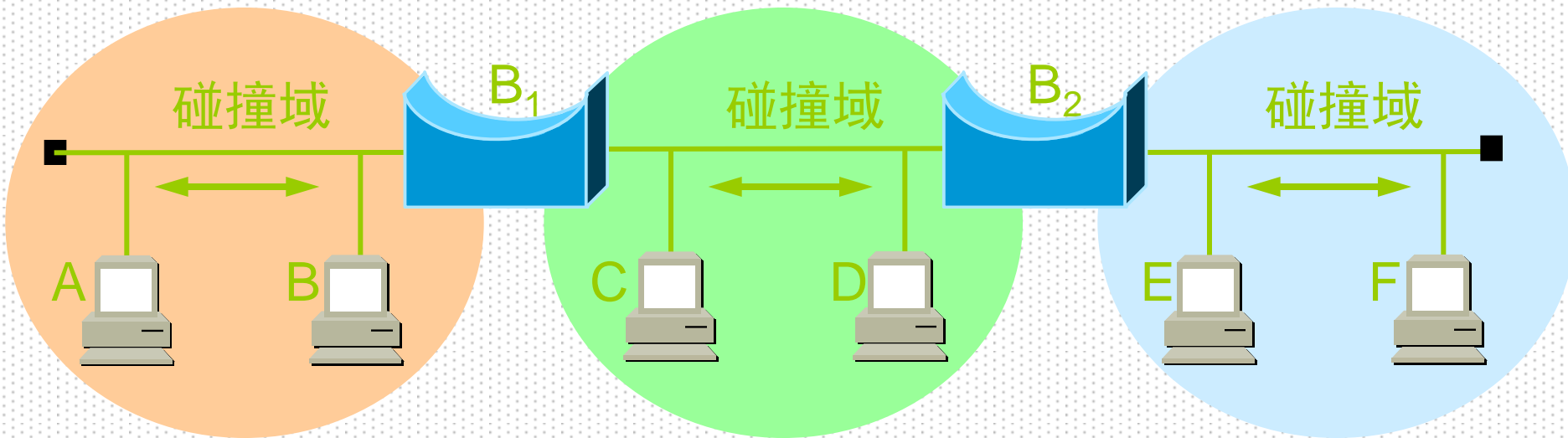
网段 B



## 4.4 局域网组成设备



- 网桥使各网段成为隔离开的碰撞域



**特点：** (1) 工作在MAC子层 (2) 过滤通信量 (3) 扩大了物理范围 (4) 提高了可靠性 (5) 可互连不同物理层、不同MAC子层和不同速率 (如10Mb/s和100Mb/s以太网) 的局域网

## 4.4 局域网组成设备



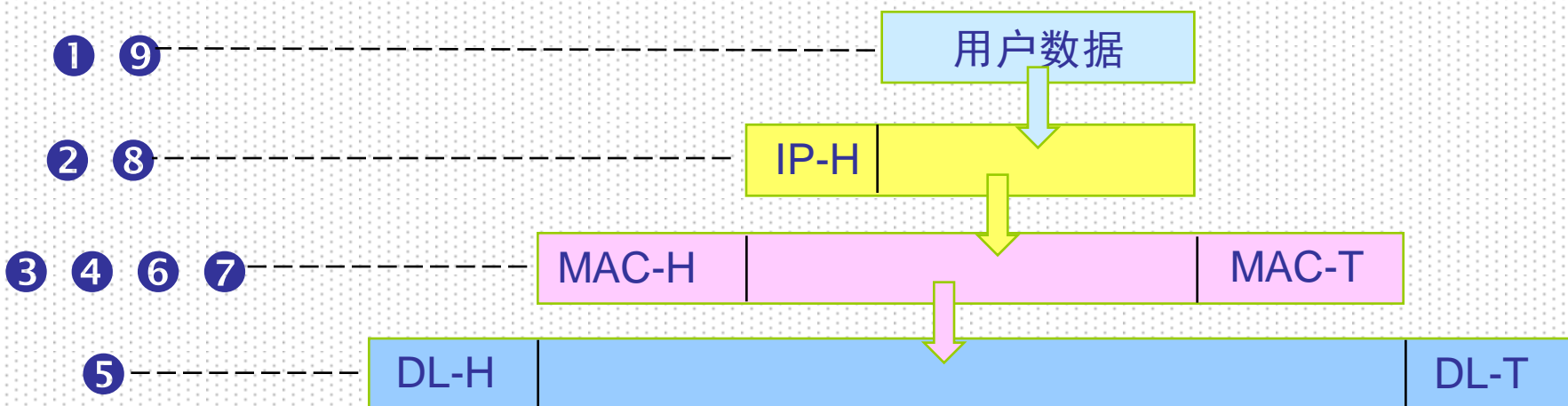
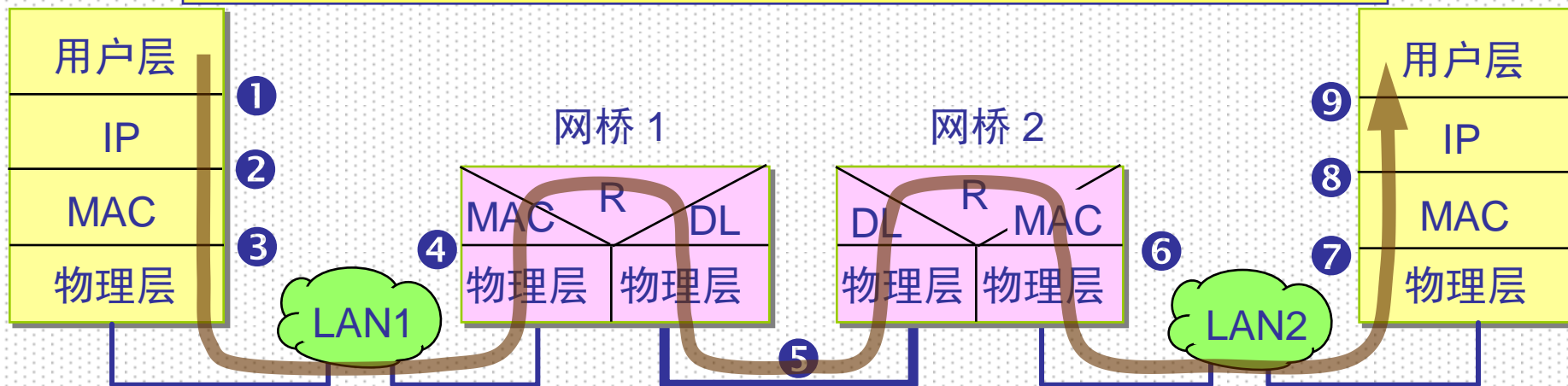
### • 使用网桥带来的缺点

- 存储转发增加了时延
- 在MAC子层并没有流量控制功能
- 具有不同MAC子层的网桥接在一起时延更大
- 网桥只适合于用户数不太多(不超过几百个)和通信量不太大的局域网, 否则有时还会因传播过多的广播信息而产生网络拥塞。这就是所谓的广播风暴

## 4.4 局域网组成设备



站 1 LAN1和LAN2通过两个网桥和一段点到点链路相连 站 2



网桥不改变它转发的帧的源地址



## 4.4 局域网组成设备



- 网桥和集线器不同

- 集线器在转发帧时，不对传输媒体进行检测
- 网桥在转发帧之前必须执行 CSMA/CD 算法
  - 若在发送过程中出现碰撞，就必须停止发送和进行退避

## 4.4 局域网组成设备



- 交换机有时也被称为多口网桥。典型的网桥只有两个端口，而交换机有多个端口，分别连接多个网段
- 局域网交换机连接局域网的网段，使用目标MAC地址判断数据应该发往哪个网段，减少通信量
- 基本功能：转发数据帧和建立维护表

## 4.4 局域网组成设备



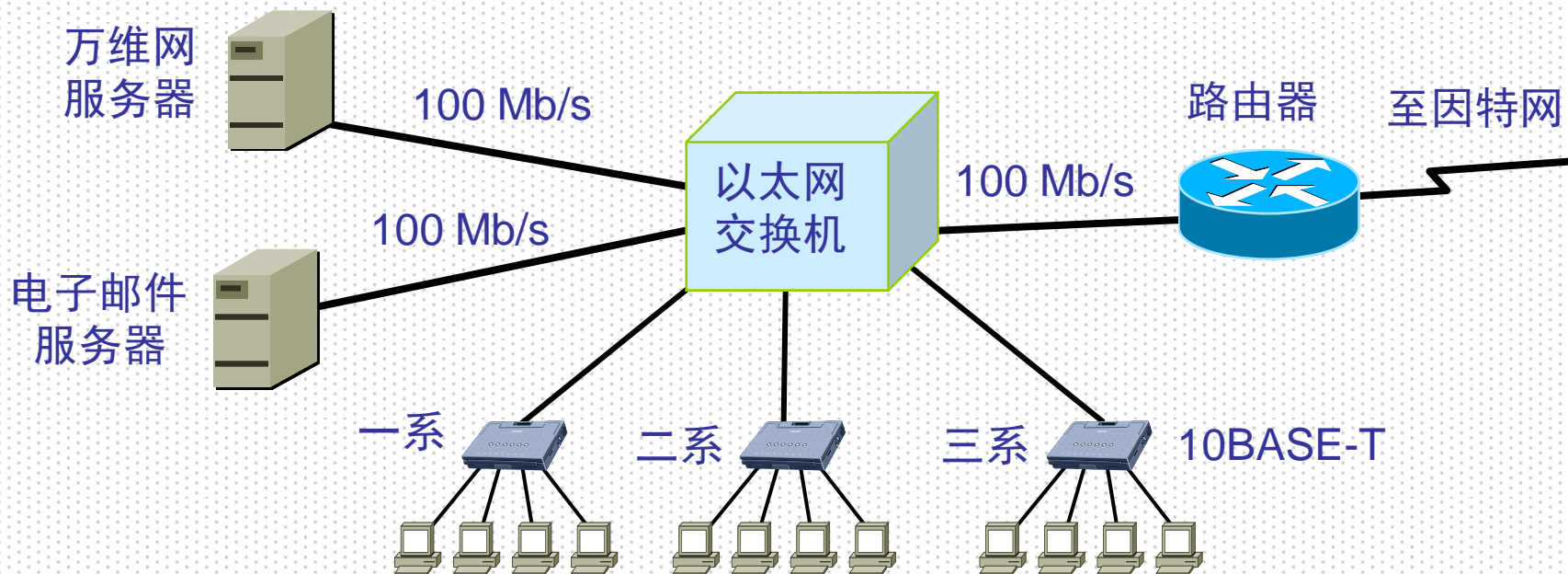
### • 交换机的特点

- 交换机的每个接口都直接与主机相连，并且一般都工作在全双工方式
- 交换机能同时连通许多对的接口，使每一对相互通信的主机都能像独占通信媒体那样，进行无碰撞地传输数据
- 以太网交换机由于使用了专用的交换结构芯片，其交换速率较高

## 4.4 局域网组成设备



### • 用以太网交换机扩展局域网



### • 传统以太网的产生与发展

- 70年代中期由施乐公司 (Bob Metcalfe) 提出, 数据率为2.94Mb/s, 称为Ethernet (以太网)
- 经DEC, Intel和Xerox公司改进为10Mb/s标准-DIX标准
  - **DIX V1 (1980)、DIX V2 (1982) — Ethernet II**
  - 特征: 基带传输、总线拓扑、**CSMA/CD**、同轴电缆
- 1985年被采纳为IEEE 802.3, 支持多种传输媒体
  - “带有冲突检测的载波监听多路访问方法和物理层技术规范”
- Ethernet II和IEEE 802.3二者区别很小
  - 仅是帧格式和支持的传输介质略有不同
- 目前已发展到万兆以太网, 仍在继续发展…

## 4.5 传统以太网



- IEEE 802.3 以太网标准 (主要的)

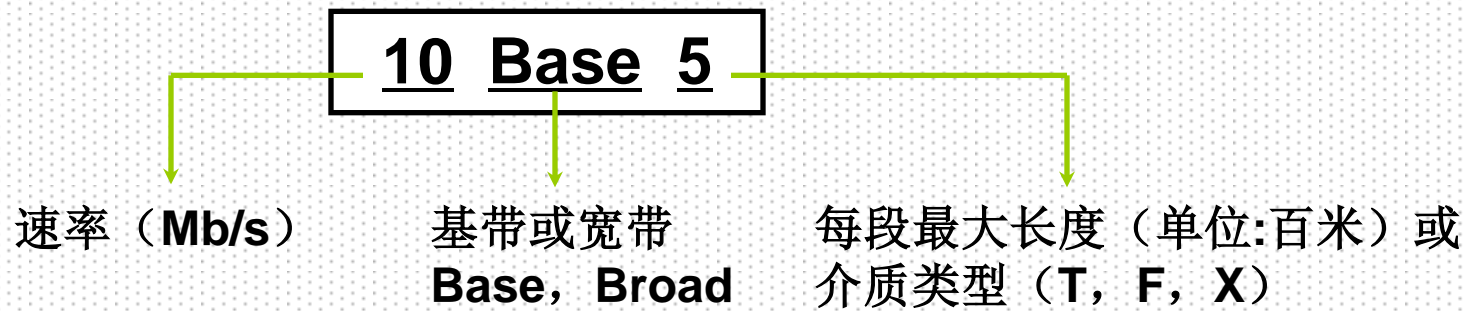
- 传统以太网: 10Mb/s
  - 802.3 —— 粗同轴电缆
  - 802.3a —— 细同轴电缆
  - 802.3i —— 双绞线
  - 802.3j —— 光纤
- 快速以太网 (FE) : 100Mb/s
  - 802.3u —— 双绞线, 光纤
- 千兆以太网 (GE) : 1000Mb/s (1Gb/s)
  - 802.3z —— 屏蔽短双绞线、光纤
  - 802.3ab —— 双绞线
- 万兆以太网 (10GE) : 10Gb/s
  - 802.3ae —— 光纤

## 4.5 传统以太网



### • 以太网的物理层选项与标识方法

#### – 速率、信号方式、介质类型



#### 传统以太网

- 10Base5      粗同轴
- 10Base2      细同轴
- 10Base-T      UTP
- 10Base-F      MMF

#### 快速以太网和千兆以太网

- 100Base-T      UTP
- 100Base-F      MMF/SMF
- 1000Base-X      STP/MMF/SMF
- 1000Base-T      UTP

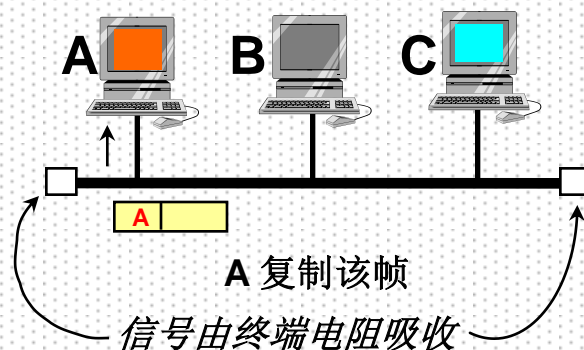
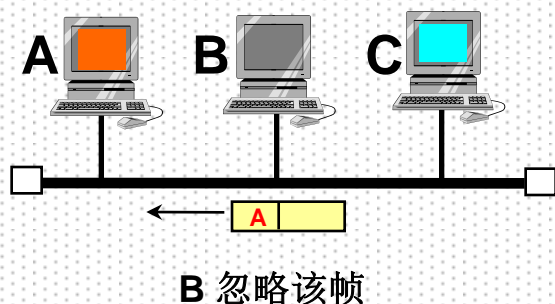
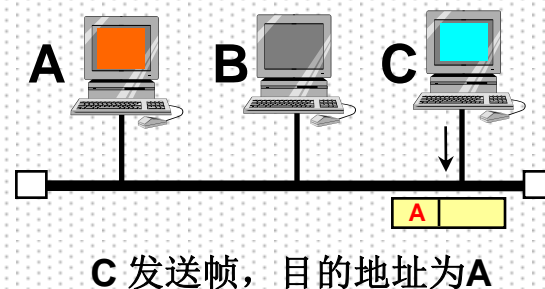
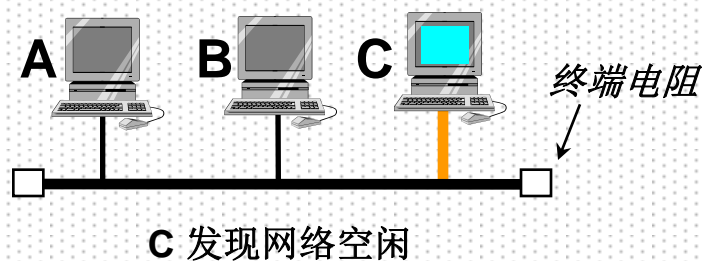


## 4.5 传统以太网



### • Ethernet/802.3操作

- 每个站点都可以接收到所有来自其他站点的数据（广播信道）
- 任何站点发送数据时都要遵循CSMA/CD协议
- 只有地址与帧的目的地址相同的站点才接收数据
- 目的站点将复制该帧，其他站点则忽略该帧

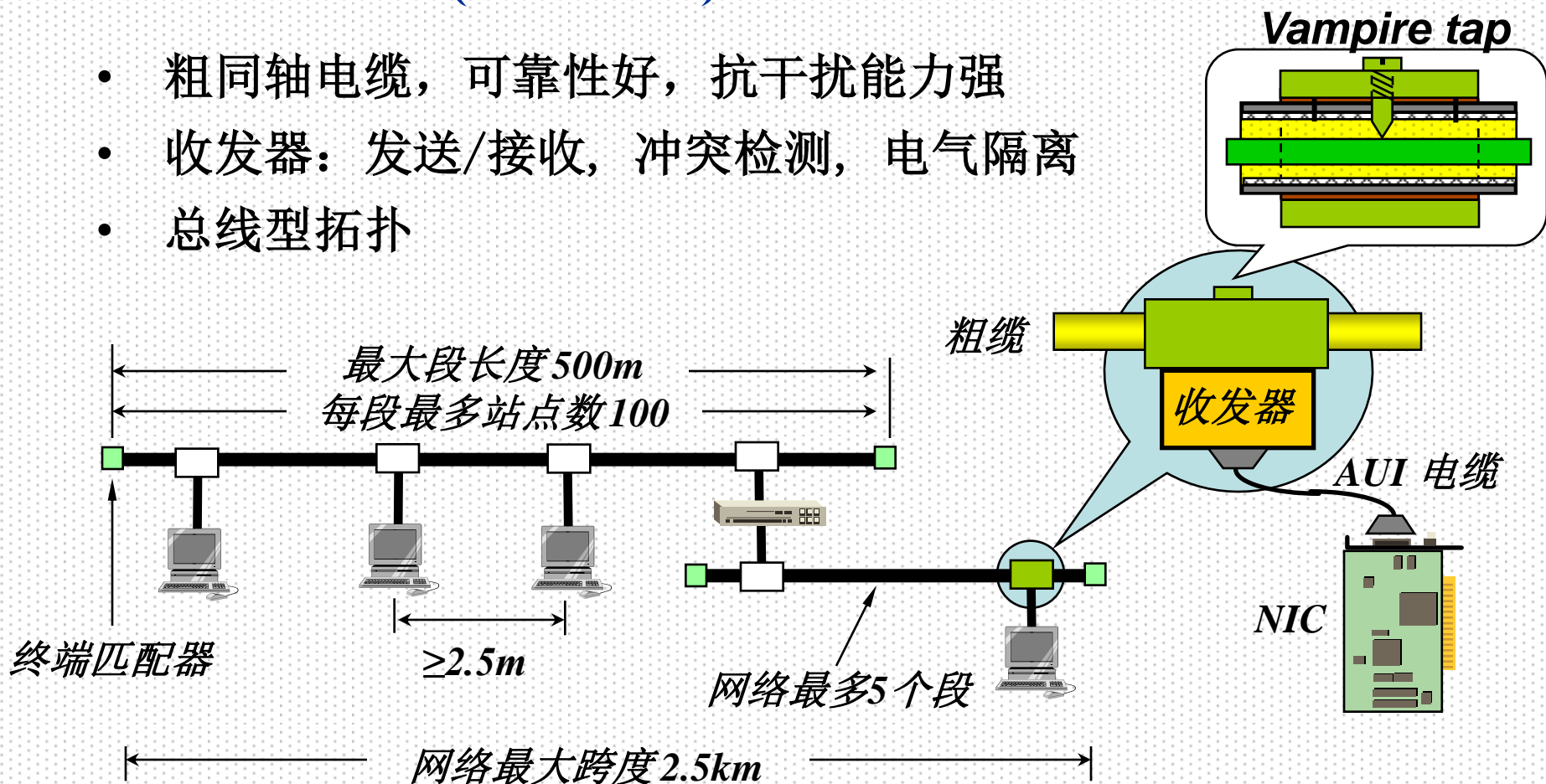


## 4.5.1 同轴电缆以太网



### 粗缆以太网 (10Base5)

- 粗同轴电缆，可靠性好，抗干扰能力强
- 收发器：发送/接收，冲突检测，电气隔离
- 总线型拓扑

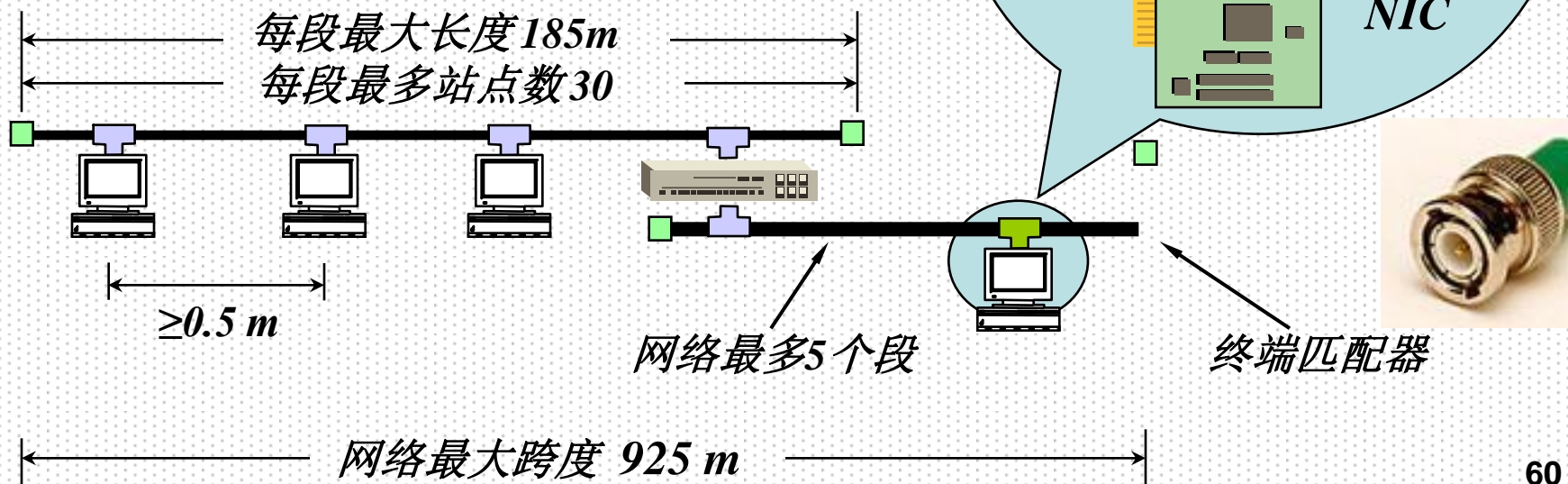


## 4.5.1 同轴电缆以太网



### 细缆以太网 (10Base2)

- 细同轴电缆，可靠性稍差
- 无外置收发器
- 轻便、灵活、成本较低
- 总线型拓扑



## 4.5.2 双绞线以太网 (10Base-T)

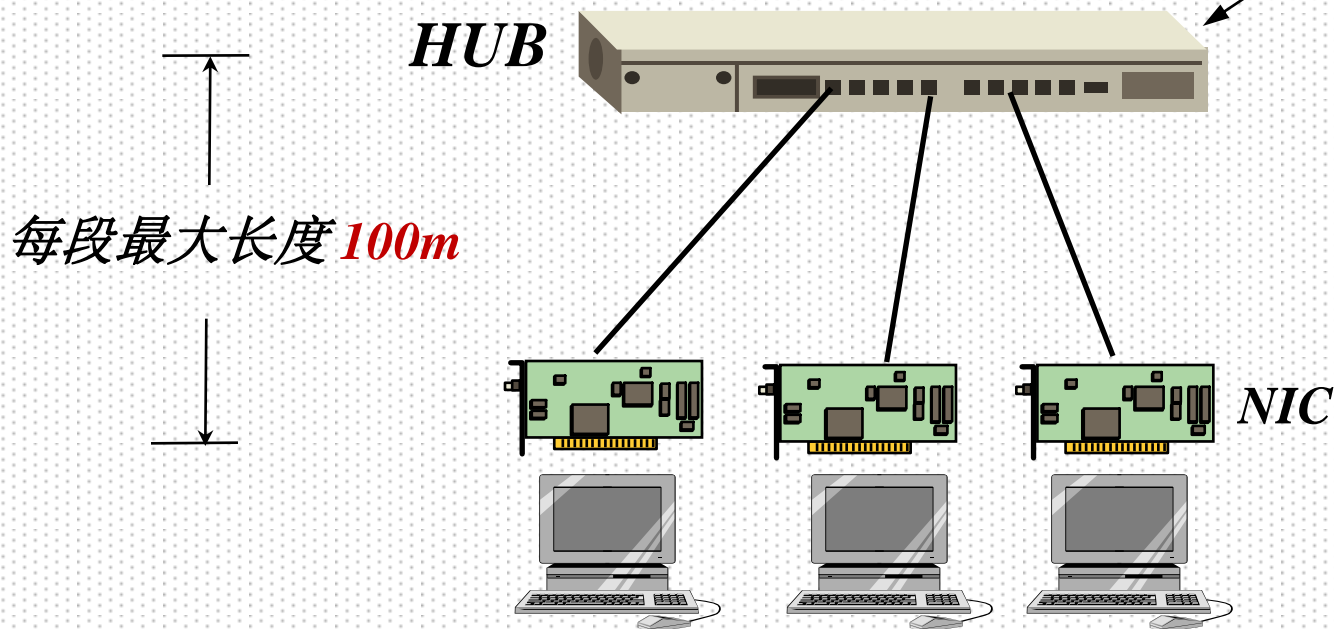


- 双绞线（UTP），两头压接**RJ45**连接器
- 所有站点都与HUB（集线器）相连接

HUB的作用：信号放大与整形

- **星形拓扑，但逻辑拓扑结构仍然是总线**
- 轻便、安装密度高、便于维护

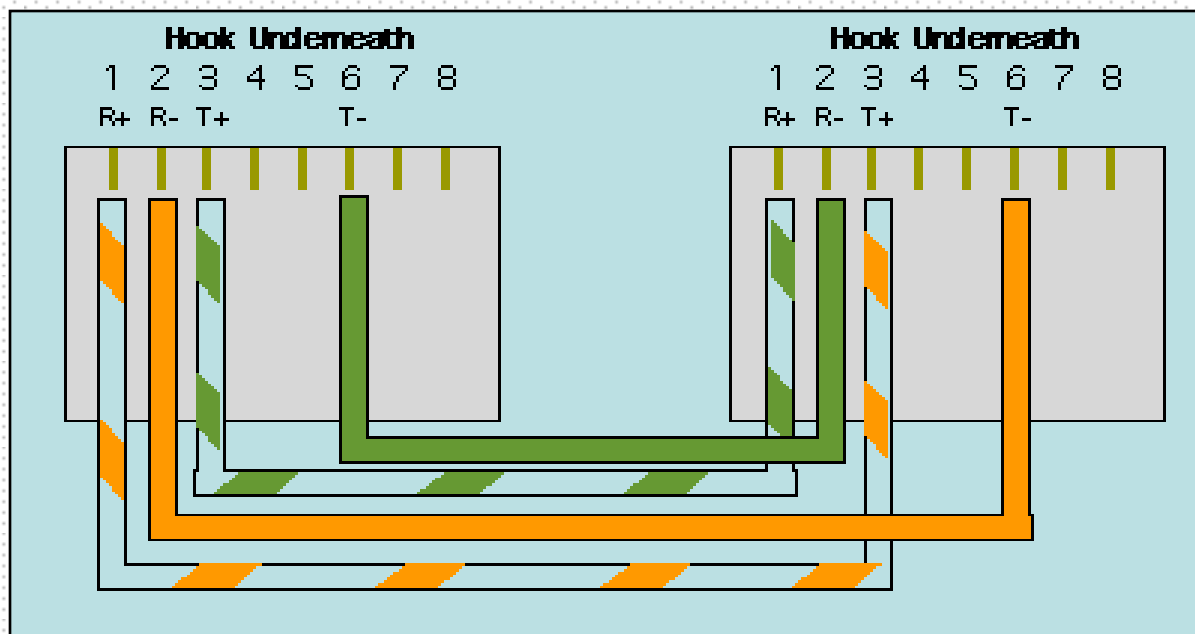
多台**HUB**级连  
可以支持更多站点



## 4.5.2 双绞线以太网 (10Base-T)



- 两个HUB的标准端口连接时，用交叉线
  - 两台微机直接连接时，也可参考此接法



- 两个HUB的级联端口连接时，用直连线

## 4.5.3 光纤以太网



- 使用光纤介质
  - 两根62.5/125 $\mu$ m 多模光纤，收发各一根
- 星形拓扑结构
- 通常用于远距离网络连接
- 主要类型
  - FOIRL（光纤中继器间链路）
    - 用于连接两个**HUB**（或中继器）
    - 链路间最大距离**1 km**
  - 10Base-FL（用以替代FOIRL）
    - 链路间最大距离**2 km**
    - 任意两节点间的中继器数 **$\leq 6$** 个
- 光纤与其他介质可使用介质转换器进行转换
  - 介质转换器是可连接不同介质的中继器

## 4.5.4 全双工以太网



- 只能在双绞线和光纤链路上实现
  - 收、发使用了不同的物理信道
- 不再使用CSMA/CD机制，因此传输距离不受时间槽的限制
  - 但要受到信号衰减的影响
- 全双工操作的条件
  - 使用双绞线或光纤
  - 链路两端的设备都必须支持全双工操作
    - 支持全双工的设备包括全双工网卡、网络交换机



## 4.6 局域网扩展



- 什么情况下需要扩展？
  - 网络范围扩大
  - 更多的站点加入网络
  - 多个独立的局域网进行互联
- 如何扩展？
  - 主要在三个层次上
    - 物理层
    - 数据链路层
    - 网络层

## 4.6 局域网扩展



### • 在物理层上进行局域网扩展

#### — 设备

- 总线网：中继器
- 星形/环形网：集线器

#### — 特点

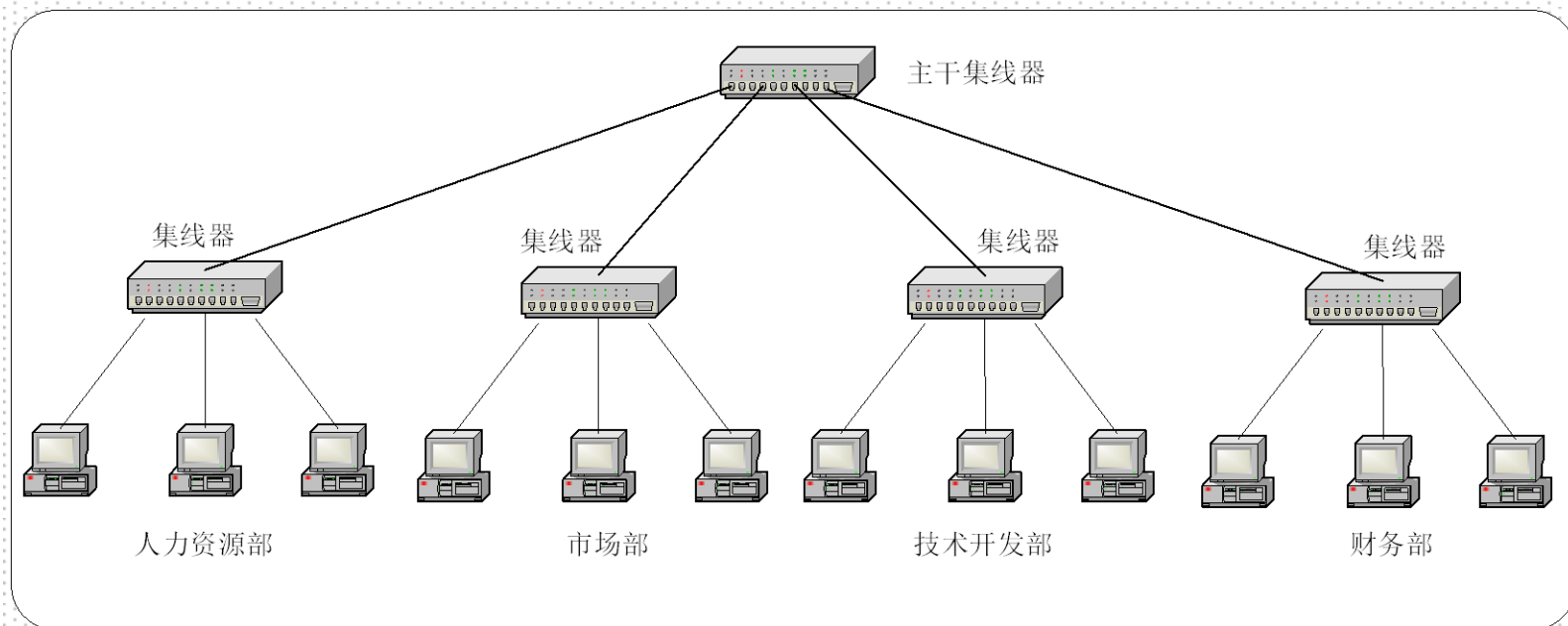
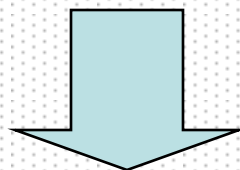
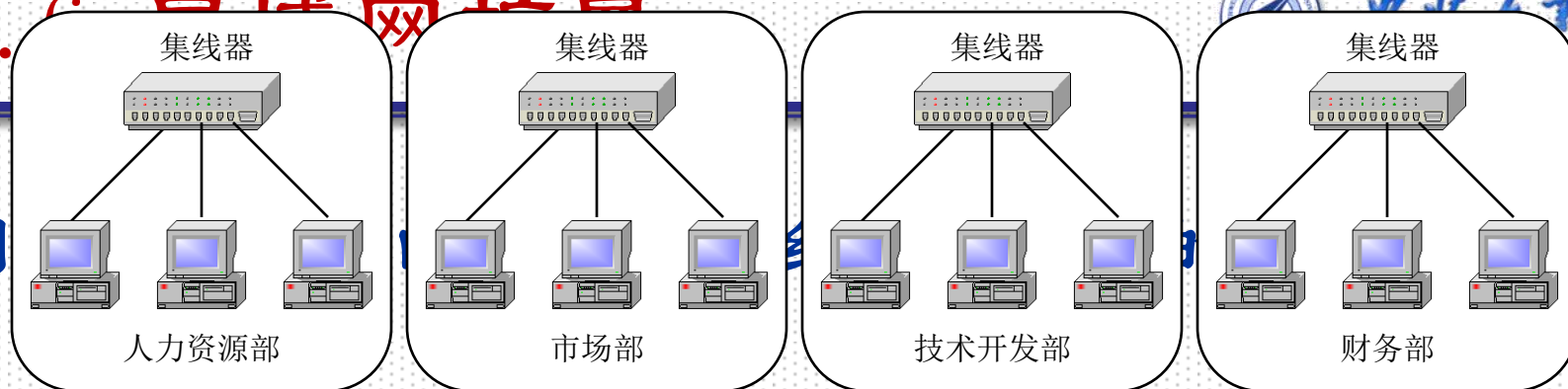
- 一个网段上的信号不加选择地被复制到另一个网段
- 扩展后的网络仍是一个冲突域

#### — 优缺点

- 简单、成本低
- 网络规模不能太大
  - 站点数量：冲突随站点数量的增多而变得越来越严重
  - 地域范围：时间槽的限制
- 只能互联相同类型的网络

# 4.6 局域网配置

例



## 4.6 局域网扩展



- 在数据链路层上进行局域网扩展

- 设备

- 网桥、交换机

- 特点

- 一个网段上的帧有条件地被转发到另一个网段
    - 扩展后的网络被网桥/交换机隔离成多个冲突域
    - 扩展后的网络仍是一个广播域

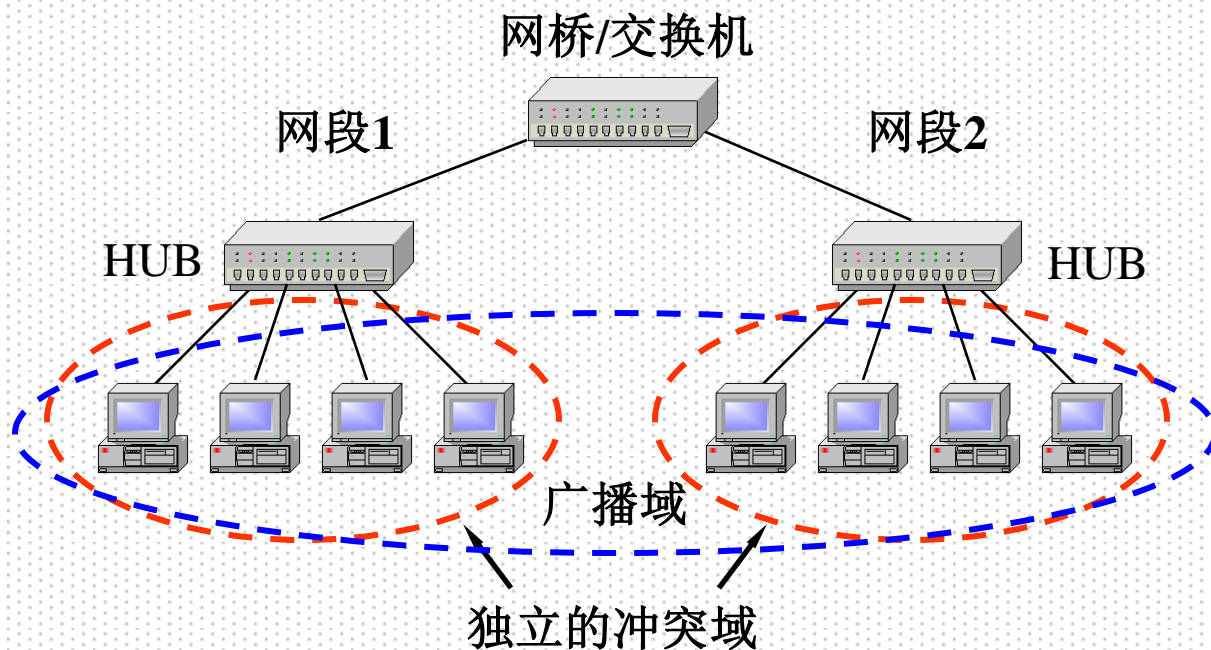
- 优缺点

- 冲突被限制在小范围内，甚至可被消除
    - 地域范围不再受时间槽的限制
      - 远程网桥可将局域网的范围扩展到几十公里以上
    - 转发时执行**CSMA/CD**，转发速度有所降低
    - 不能隔离广播帧

## 4.6 局域网扩展



- 在数据链路层上进行局域网扩展



## 4.6 局域网扩展



### • 在网络层上进行局域网扩展

#### — 设备

- 路由器

#### — 特点

- 一个网络上的分组有条件地被转发到另一个网络
- 扩展后的网络被路由器分隔成多个子网

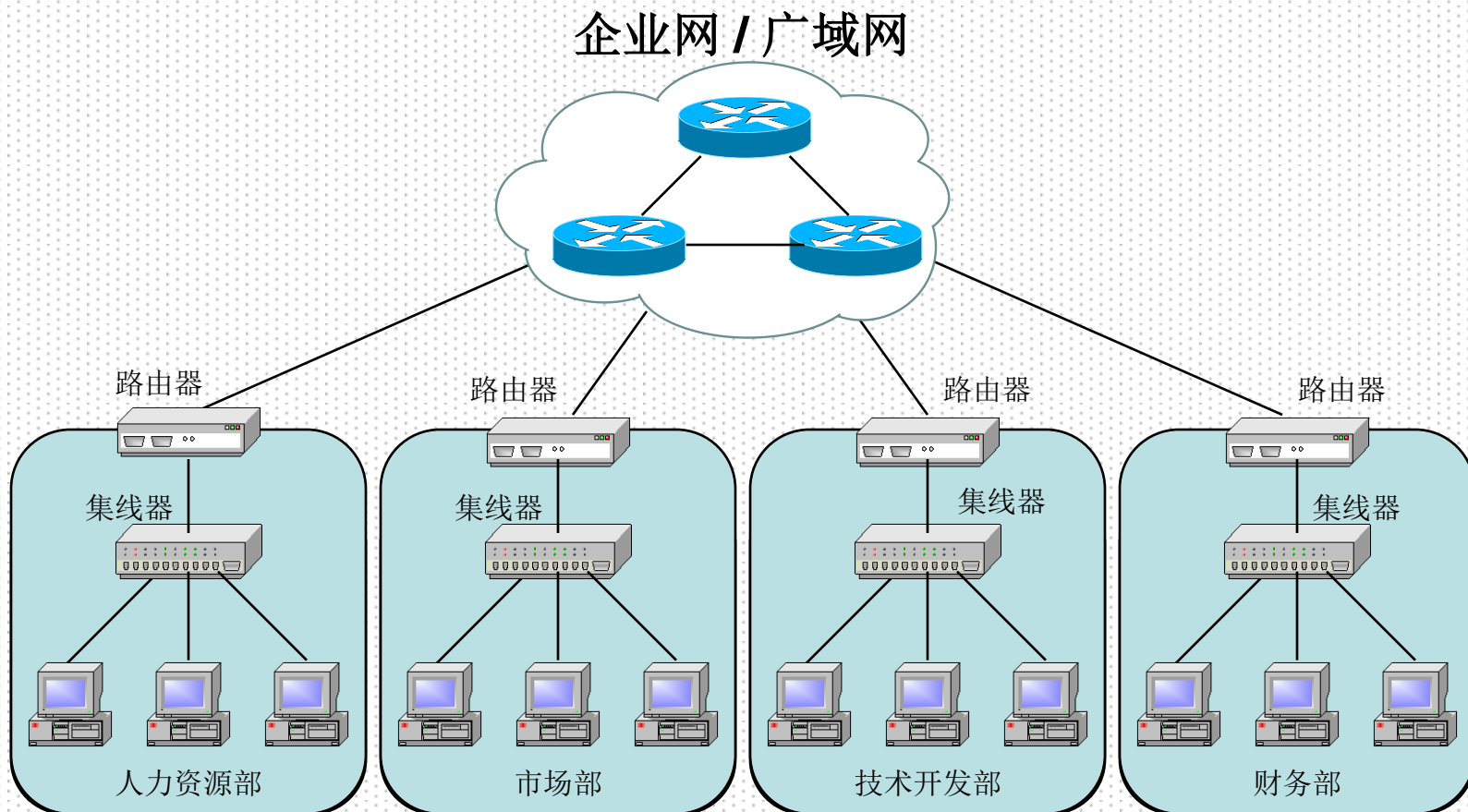
#### — 优缺点

- 隔离广播域，限制了广播帧的泛滥
- 地域范围可以任意扩展
- 能根据最佳路由转发分组
- 可以互联不同类型的网络
- 转发速度低，成本较高，维护复杂

## 4.6 局域网扩展



- 在网络层上进行局域网扩展





## 4.7 无线局域网 (WLAN)



### • 无线局域网的组成

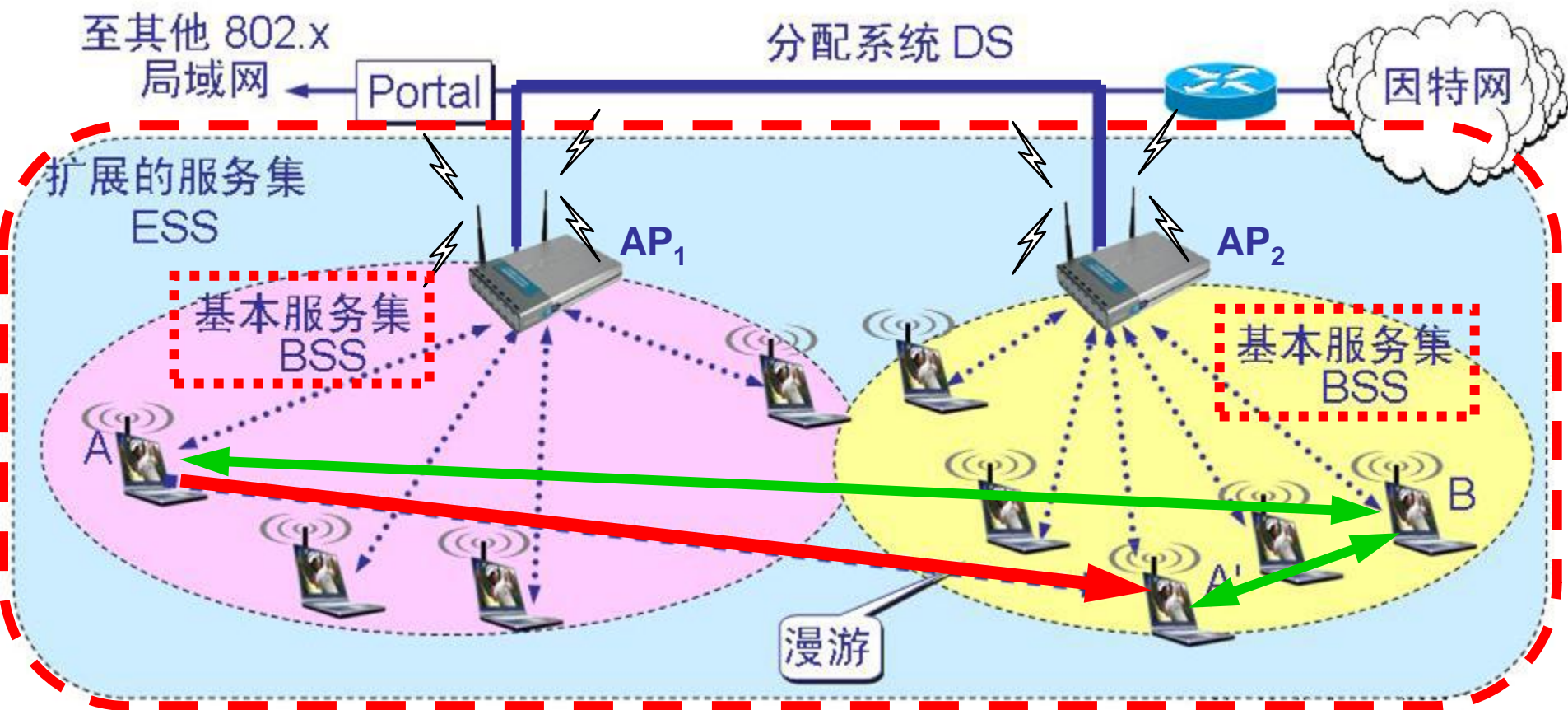
IEEE 802.11还支持自组网络(ad hoc network), 在一些对等移动站点之间通信, 没有AP

- 基本服务集 (Basic Service Set, BSS)
  - 包括一个基站 (接入点/**Access Point**, **AP**) 和若干个移动站
  - **WLAN**的最小组件, 共享**BSS**内的无线传输服务
  - 所有站在本**BSS**内都可直接通信, 但和本**BSS**以外的站通信时都要通过本 **BSS** 的基站
  - **BSS**标示可用**AP**的**MAC**地址标示
- 分配系统 (Distribution System, DS)
  - 有线或无线的主干**LAN**, 常用**802.3**以太网等
- 扩展服务集 (Extended Service Set, ESS)
  - 多个**BSS**通过**DS**连接构成
  - 可为提供到非 **802.11** 无线局域网的接入
  - 可为无线用户提供到**Internet**的访问

## 4.7 无线局域网 (WLAN)



### • 无线局域网示意图

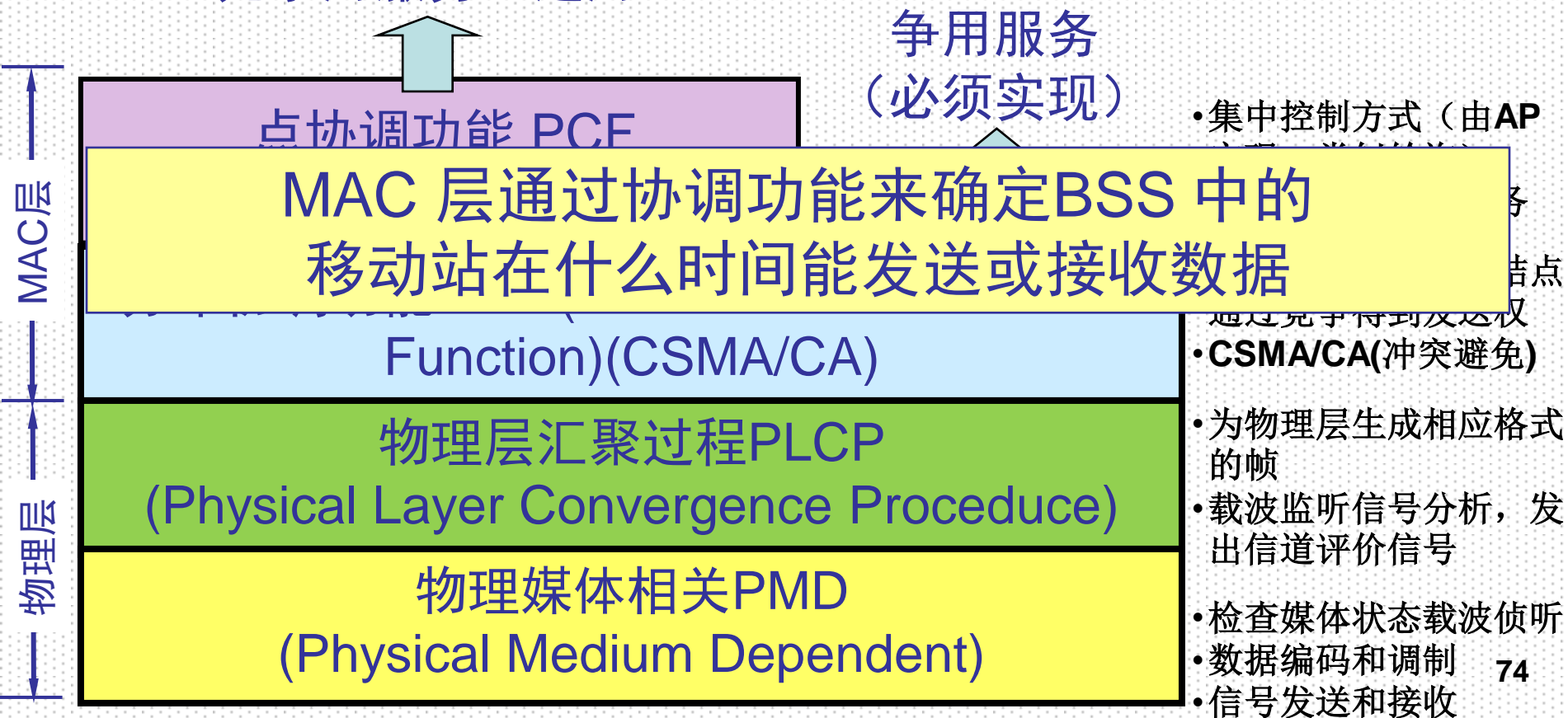


## 4.7 无线局域网 (WLAN)



### • IEEE 802.11 WLAN体系结构

- IEEE 802.11 WLAN协议定义了物理层和MAC层  
无争用服务（选用）



## 4.7 无线局域网 (WLAN)



### • IEEE 802.11 物理层标准

标准	频段	数据速率	物理层	优缺点
802.11a	5 GHz	最高54Mb/s	OFDM 正交频分复用	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
802.11b	2.4 GHz	最高11Mb/s	HR-DSSS 高速率 直接扩频序列	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
802.11g	2.4 GHz	最高54Mb/s	HR-DSSS 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
802.11n	2.4 GHz 5 GHz	最高600Mb/s	MIMO OFDM	使用多个发射和接收天线以允许更高的数据传输率，当使用双倍带宽(40 MHz)时速率可达600 Mb/s

WiFi (Wireless Fidelity) 即无线保真，是由厂商组织Wi-Fi联盟负责的产品兼容性测试商业认证，已成为IEEE 802.11 WLAN的别称

## 4.7 无线局域网 (WLAN)



### • IEEE 802.11 MAC层帧和帧格式

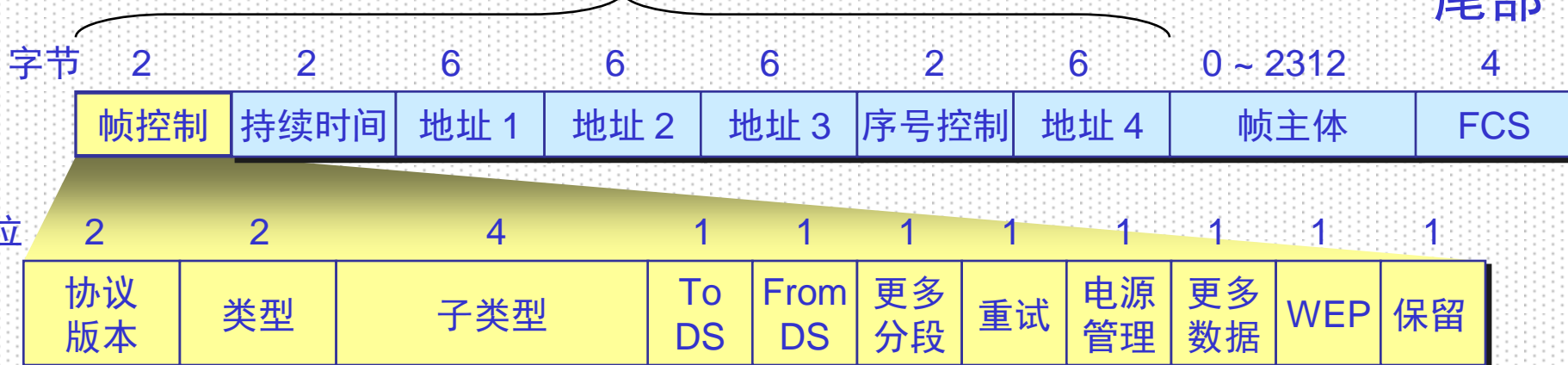
#### – 三种类型的帧

- 管理帧：站点和**AP**间通信管理，建立关联、越区切换和认证等
- 控制帧：为数据发送提供辅助握手联络功能，如**ACK/RTS/CTS**
- 数据帧：用于发送数据

#### – 数据帧的主要字段

##### MAC 首部

##### MAC 尾部





## 4.7 无线局域网 (WLAN)



### • IEEE 802.11 MAC层DCF

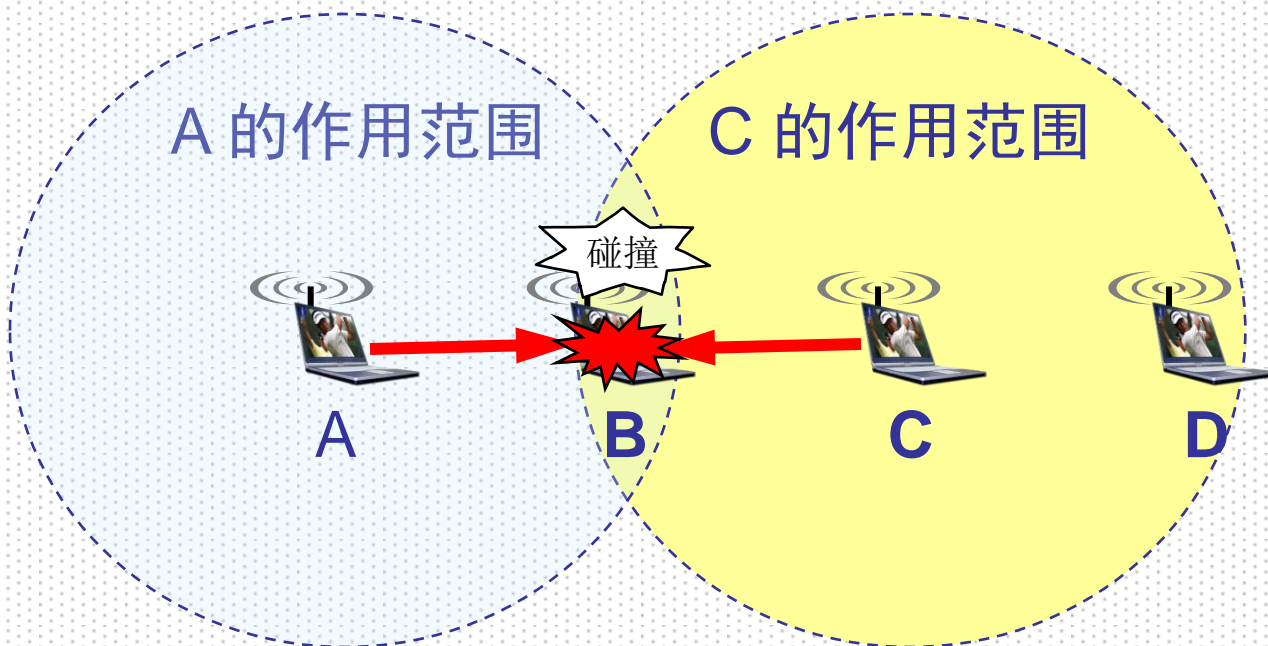
#### – 无线信道的特点

- 隐蔽站点问题
- 暴露站点问题

无线电波随着传输距离的增长快速衰减，  
且受到传输屏蔽等因素影响大

#### – 影响媒体接入控制方式

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  
造成碰撞



这种未能检  
测出媒体上  
已存在的信  
号的问题叫  
做**隐蔽站点  
问题**  
(hidden  
station  
problem)

## 4.7 无线局域网 (WLAN)



### • IEEE 802.11 MAC层DCF

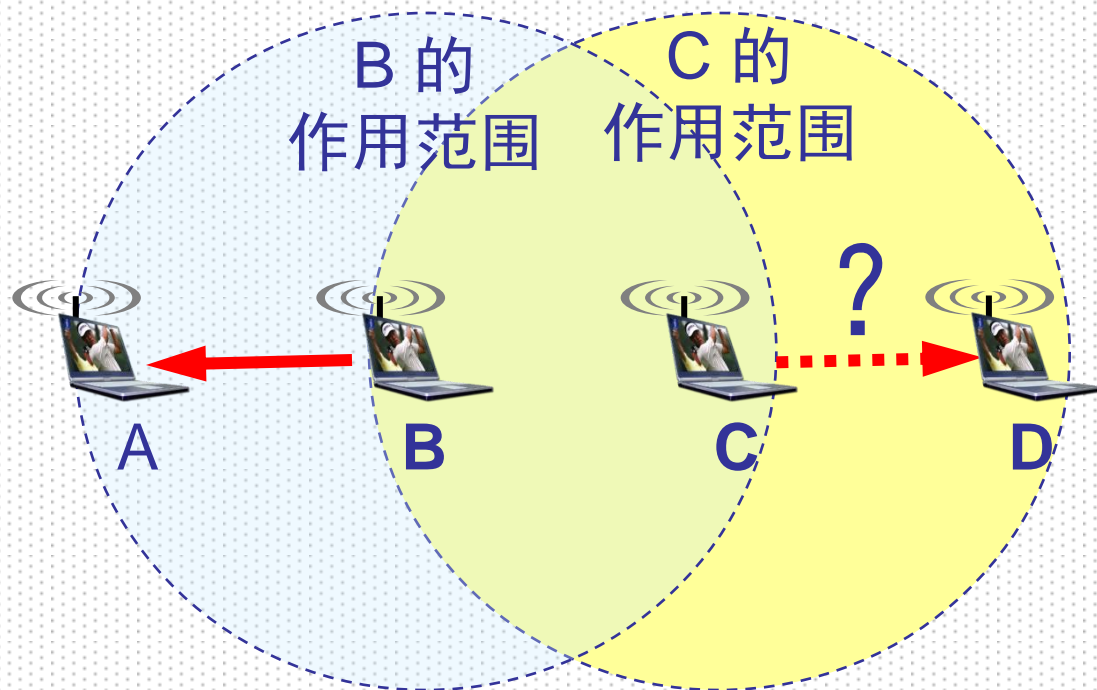
#### – 无线信道的特点

- 隐蔽站点问题
- 暴露站点问题

无线电波随着传输距离的增长快速衰减，  
且受到传输屏蔽等因素影响大

#### – 影响媒体接入控制方式

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



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



## 4.7 无线局域网 (WLAN)



- IEEE 802.11 MAC层DCF

- 帧间间隔(Inter Frame Space, IFS)

- 短帧间间隔 (Short IFS, SIFS)。确认帧**ACK**、**CTS**帧和分片后的数据帧、所有回答**AP**探测的帧和**PCF**方式中**AP**发出的任何帧等使用
    - 点协调功能帧间间隔 (PCF IFS, PIFS)。PCF轮询时使用，在**SIFS**基础上加上一个时隙长度
    - 分布协调功能帧间间隔 (DCF IFS, DIFS)。在**DCF**方式中使用，在**PIFS**基础上加上一个时隙长度，一般发送数据帧使用

- IFS的作用

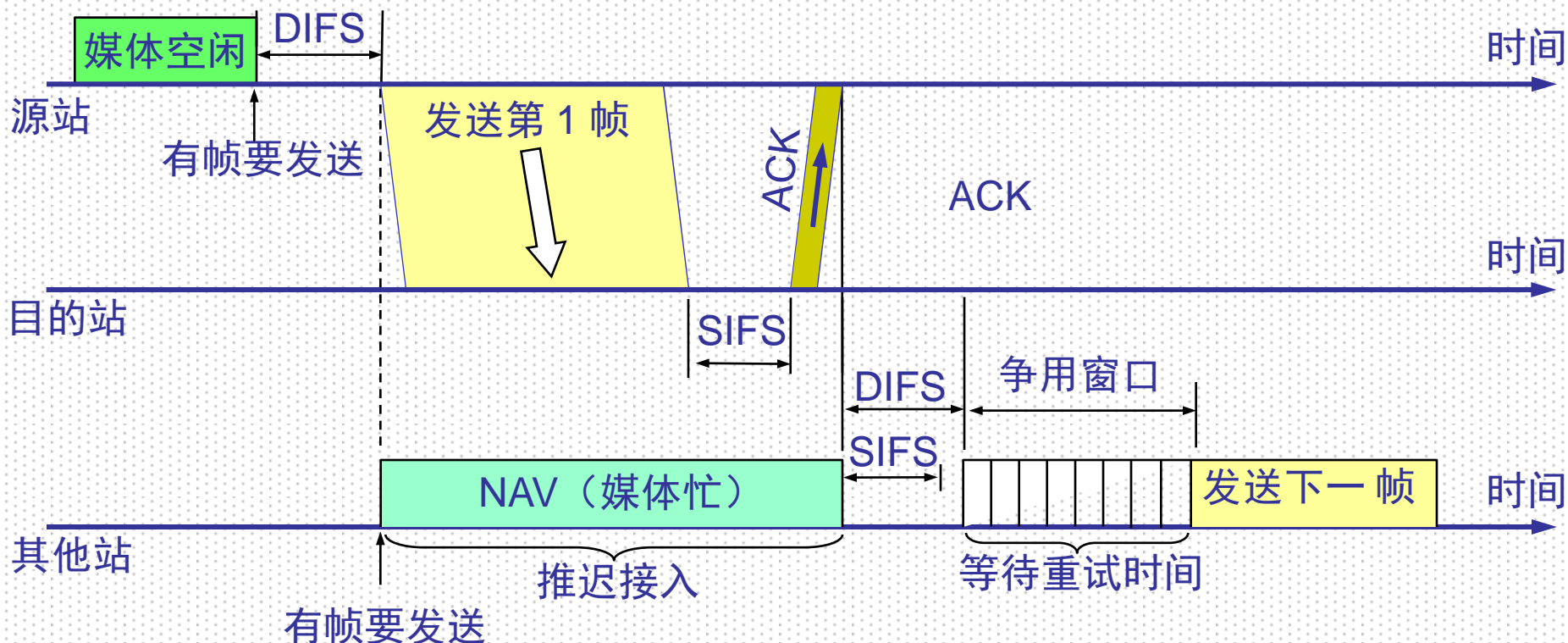
- **MAC**监听到信道空闲后，要继续监听一个**IFS**，仍空闲就发送
    - 使用不同的**IFS**将帧划为不同优先级，**IFS**小的帧优先占用信道
    - 尽量避免信道由忙到闲的瞬间发生冲突（冲突高发时段）

## 4.7 无线局域网 (WLAN)



- IEEE 802.11 MAC层DCF

- IFS的作用过程示意



## 4.7 无线局域网 (WLAN)



- IEEE 802.11 MAC层DCF

- 无线局域网不能使用 CSMA/CD，而只能使用改进的 CSMA 协议
- 改进的办法是给 CSMA 增加一个碰撞避免(Collision Avoidance)功能
- CSMA/CA
  - Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance
  - 带冲突避免的载波监听多路访问
- 在使用 CSMA/CA 的同时，还增加使用停止等待协议
  - 下一帧的发送需要等待对上一帧的ACK
  - 采用DATA-ACK两次握手方式的确认机制

## 4.7 无线局域网 (WLAN)



- IEEE 802.11 MAC层DCF

- CSMA/CA协议

- 欲发送数据的站先检测信道，通过信号强度是否超过一定门限值判定是否有其它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：
      - (1) **信道空闲**：在等待**DIFS**后发送数据帧；目的站若正确收到此帧，则经过**SIFS**后，向源站发送**ACK**；若源站在规定时间内未收到**ACK**(重传计时器控制)，重传此帧(需执行退避算法，争用信道)直至收到确认，或经若干次重传失败后放弃发送
      - (2) **信道忙**：执行退避算法，争用信道。计算随机退避时间，并设置退避定时器(**BT**)；进入争用窗口(**CW**)，继续监听直至信道变空闲后继续监听一个**IFS**，若信道仍空闲，在**CW**中执行退避算法直至发送数据帧，若信道变忙，则重新开始争用信道

## 4.7 无线局域网 (WLAN)



- IEEE 802.11 MAC层DCF

- CSMA/CA协议

- CW中执行退避算法的过程

- (1) 信道持续空闲, **BT**倒计时直至减至**0**时进行数据帧发送
      - (2) 监听过程中信道变忙(本**CW**中有**BT**时间更短的站点先到**0**开始发送数据), 暂停(冻结)**BT**倒计时, 转入下一个**CW**
      - (3) 下一个**CW**中, 由冻结的**BT**倒计时开始继续倒计时

- CW中执行退避算法的思路

通过各站点的公平等待, 实现信道的争用, 是一种按照先来后到顺序进行排队服务的原则

- 不执行退避算法的情况:

检测到信道空闲, 且要发送第一个数据帧

- 执行退避算法的情况:


- (1) 发送第一个帧之前检测到信道处于忙态;
  - (2) 每一次重传后;
  - (3) 每一次成功发送后

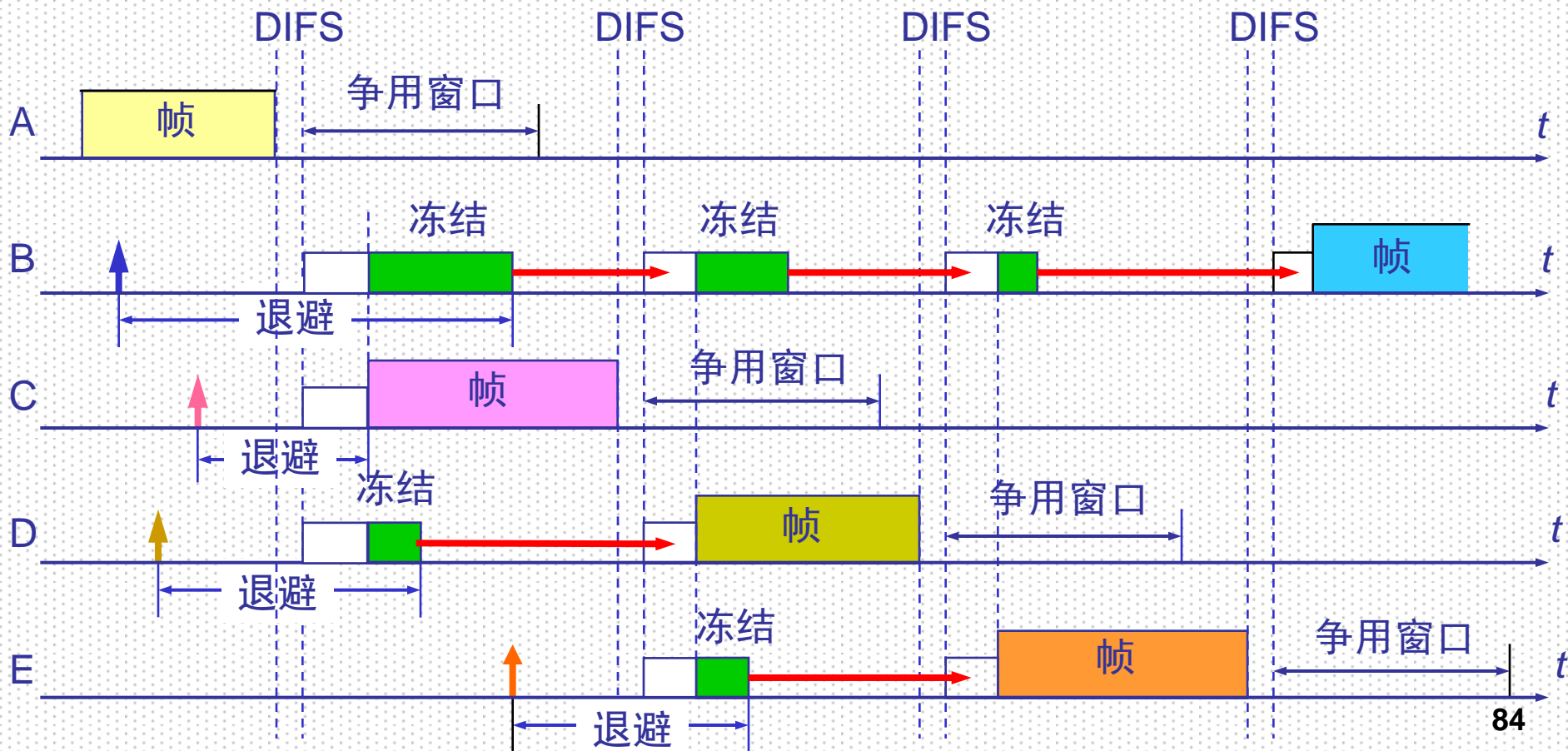
## 4.7 无线局域网 (WLAN)



### • IEEE 802.11 MAC层DCF

#### – CSMA/CA协议退避机制

图例  —— 冻结剩余的退避时间





## 4.7 无线局域网 (WLAN)



- IEEE 802.11 MAC层DCF

除物理载波监听外，MAC层还使用网络分配向量NAV提供了一种虚拟载波监听

- 虚拟载波监听(Virtual Carrier Sense)

- 让源站将它要占用信道的时间（包括返回确认帧的时间）通知给其它站，以便其它站在该段时间内停止发送数据
    - “虚拟载波监听”表示其他站并没有监听信道，是由于收到了“源站的通知”才不发送数据
    - 源站在**MAC**帧首部“持续时间”中填入本次传输（从开始到**ACK**结束）将占用信道的时间



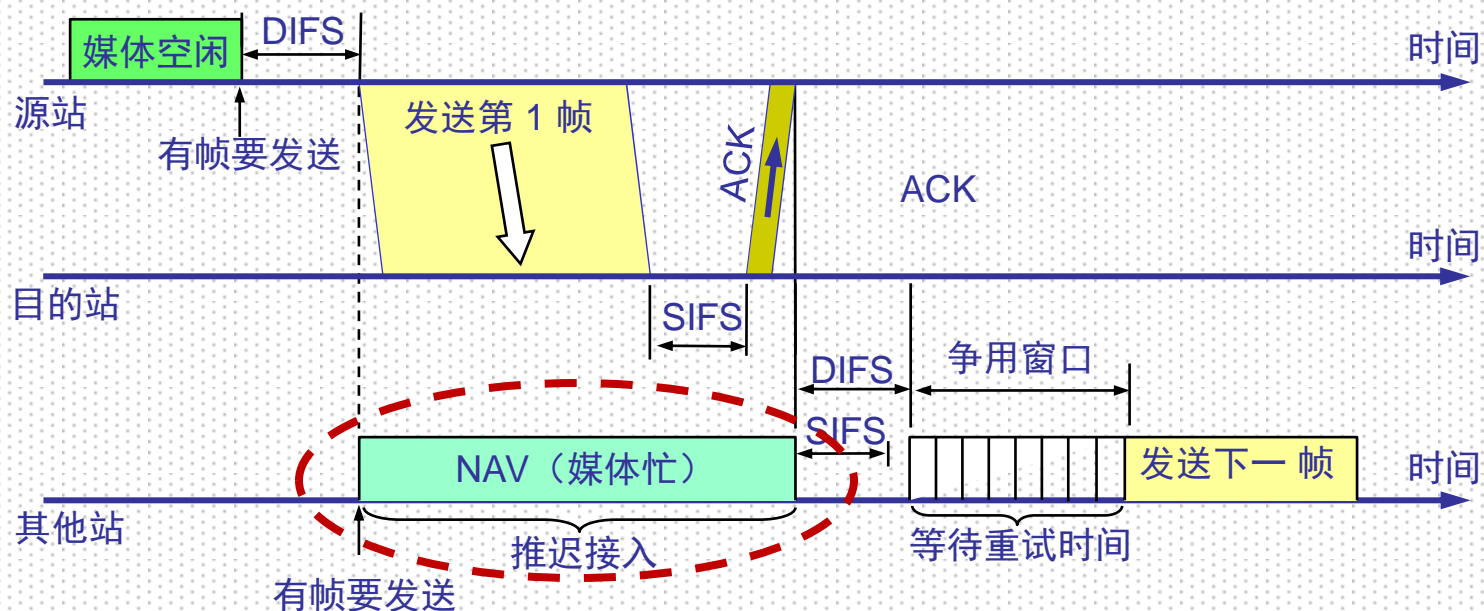
## 4.7 无线局域网 (WLAN)



- IEEE 802.11 MAC层DCF

- 网络分配向量NAV (Network Allocation Vector)

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



## 4.7 无线局域网 (WLAN)



- IEEE 802.11 MAC层DCF

- RTS/CTS信道预约机制

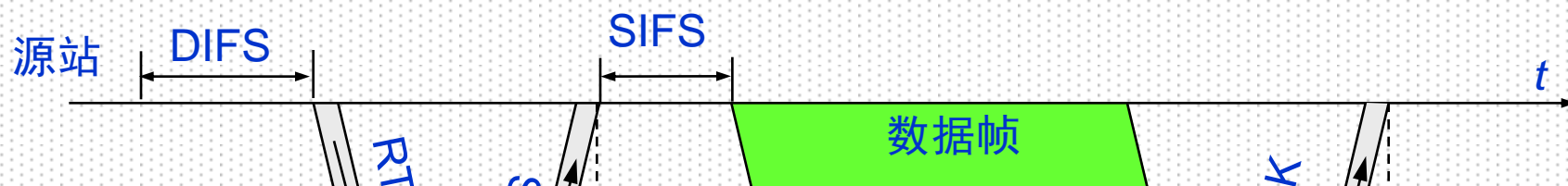
- CSMA/CA虽可减少冲突，但不能解决隐蔽站点问题
    - RTS——请求发送帧(Request To Send)
    - CTS——允许发送帧(Clear To Send)
  - } 控制帧 { DIFS  
SIFS
  - 源站在发送数据前，先对信道进行预约，向目的站发送一个短帧RTS(DIFS)
  - 目的站收到后，向发送站响应一个短帧CTS(高优先级SIFS)
  - 源站收到CTS后可以发送数据帧(高优先级SIFS)
  - RTS和CTS中均包含持续时间，其它站据此设置自身NAV
  - 采用RTS-CTS-DATA-ACK四次握手方式

解决隐蔽站点问题的原理：该隐蔽站点总能收到RTS或CTS之一，从而设置自身NAV，在预约时段内关闭输出，从而避免了冲突

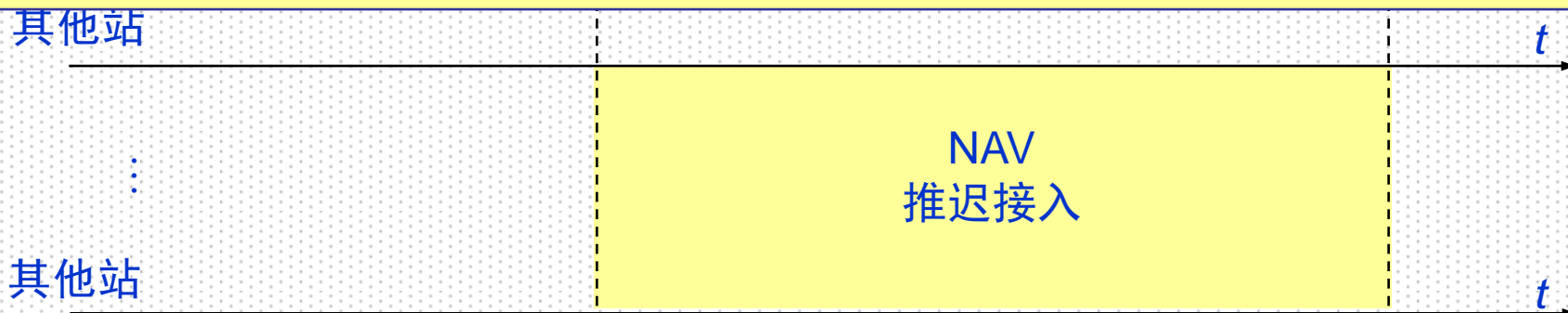
## 4.7 无线局域网 (WLAN)



- IEEE 802.11 MAC层DCF
  - RTS/CTS信道预约机制



使用RTS/CTS信道预约机制后仍可能出现发送冲突(如两站同时发出RTS请求), 但RTS(20字节)和CTS(14字节)均为短帧, 相比之下冲突损失不大(数据帧最长可达2346字节)



## 4.7 无线局域网 (WLAN)



- IEEE 802.11 MAC层PCF

- PCF用于对时间敏感的业务，如语音通话
- AP进行集中控制实现PCF，使用类似轮询的方法使各站获得发送权
  - PCF使用PIFS，优先获得信道
  - AP周期性安排无争用周期(Contention-Free Period, CFP)，有组织的进行PCF传输
  - 每个CFP开始时，PCF获得信道控制权，AP对配置为PCF的站点进行轮询，其他站点安排NAV
  - PCF之后的CFP剩余时间用于DCF传输，两者时间可变
  - 受信道占用情况影响，CFP实际时间可能比预定周期短

## 4.7 无线局域网 (WLAN)



### • WLAN的管理

#### — 接入网络

- 一个无线站点要加入一个基本服务集**BSS**，就必须先选择一个接入点**AP**，并与此**AP建立关联**(站点向**AP**登记的过程)
- 建立关联前无线站点要先与**AP**联络，有两种方式：
  - (1) 被动扫描。无线站点等待接收**AP**周期性发出的**信标帧**
  - (2) 主动扫描。站点主动发出**探测请求帧**，**AP**发回**探测响应帧**
- 扫描后，无线站点选择信号最强的**AP**，启动关联过程，发送关联请求帧，**AP**发回关联响应帧，完成接入网络

#### — 退出网络

- 退出网络要使用**去关联帧**进行去关联操作(通知而非请求，不能拒绝)

## 4.7 无线局域网 (WLAN)



### • WLAN的管理

- 越区漫游(移动站从一个BSS越区切换至另一个BSS)
  - 移动站跟踪它关联的**AP1**的信标的信号强度
  - 至交界处, **AP1**信号强度减弱, 引发搜索更强**AP**信号
  - 通过被动/主动搜索, 收到**AP1**和**AP2**的信标帧/探测响应帧
  - 移动站选择信号更强的**AP2**, 向其发送**重关联请求帧**, 其中包含以前关联的**AP1**相关信息
  - **AP2**发回**重关联响应帧**
  - **AP2**使用**接入点间协议**(Inter Access Point Protocol, IAPP)通过**DS**通知**AP1**, 该移动站发生越区切换



## 4.7 无线局域网 (WLAN)



### • WLAN的管理

#### — 电源管理

- 移动站通常使用电池供电，需节电控制，**IEEE 802.11**电源管理协议使移动站在无传输活动时处于休眠状态
- 休眠状态下的数据发送方法：先在**AP**中缓存数据，唤醒休眠站点后再将缓存数据发给该站点
- 移动站通过帧控制字段的电源管理位表明自己是否处于休眠
- **AP**维护一个记录休眠站点的记录表，并提供相应缓存
- **AP**的信标帧中含一个**业务指示表**，指明有缓存数据的站点，从而唤醒该站点
- 移动站被唤醒后向**AP**发送**节能轮询帧**，**AP**将缓存数据帧发给该移动站



- IEEE802局域网体系结构
- 介质访问控制方法
- 局域网组成设备
- 传统以太网
- 局域网扩展方式
- WLAN的基本组成和体系结构
- 思考题
  - P127: 4.1、4.2、4.3、4.4、4.5、4.11、4.12、4.34、4.36