



第4章 介质访问子层

- ❖ 局域网概述
- ❖ 信道共享问题
- ❖ 多路访问协议
- ❖ 以太网
- ❖ 虚拟局域网
- ❖ 无线局域网





局域网概述

- ❖ 点对点通信：每一个通信信道只连接两台计算机并只被这两台计算机占用。
- ❖ 点对点通信或网状网络的特点：
 - 双方可以通过协商改变链路参数等细节
 - 安全性和私有性能够得到保证
 - 连接的总数量比计算机的总数量增长的快，连接数量 = $(N^2 - N) / 2$ 。



局域网概述

- ❖ 共享信道通信：依赖于共享网络的局域网技术。
- ❖ 共享通信信道的特点：
 - 大大降低了组网费用
 - 适用于局域网而非长距离传输



局域网概述

❖ 局域网流行的原因

- 局域网技术比较便宜并且容易得到
- 访问的局部性：计算机与附近计算机通信可能性比较大；计算机很有可能与同一台计算机反复通信。

❖ 局域网的分类

- 共享媒体局域网
- 交换局域网



局域网的拓扑结构 (1)

❖ 局域网的拓扑结构

总线型



星型



环型



树型



■ 网络实例

- 星型拓扑: ATM
- 环状拓扑: IBM令牌环、FDDI
- 总线拓扑: 以太网



局域网的拓扑结构 (2)

- 使用多种拓扑的原因：每种拓扑都有其优缺点
 - 星型：一根电缆断了不会影响整个网络。
 - 环状：计算机容易协调；容易检测网络运行状况；一根电缆断了，整个环状网络都失效。总线：所需的布线比星型少，总线断了网络就要失效。



第4章 介质访问子层

- ❖ 局域网概述
- ❖ 信道共享问题
- ❖ 多路访问协议
- ❖ 以太网
- ❖ 虚拟局域网
- ❖ 无线局域网





信道共享问题

局域网的关键是解决信道共享问题

❖ 信道的静态分配



❖ 信道的动态分配





信道的静态分配

- ❖ 通常采用多路复用技术
- ❖ 将一条物理媒体划分成多个信道，固定分配给每一对通信的双方
- ❖ 通常用于点对点通信，不适合局域网



信道共享问题

❖ 信道的静态分配

❖ 信道的动态分配





信道的动态分配

- ❖ 将整个物理媒体看成一条信道，所有连在媒体上的站点之间都是通过这条信道传输。
- ❖ 主要问题：信道争抢



信道的动态分配

❖ 受控接入协议



❖ 随机接入协议





受控接入协议

- ❖ 轮询：由中心控制器循环扫描每个站点，给每个站点一次发送的机会
- ❖ 预约：每一轮分组的发送都是事先安排好的
- ❖ 令牌传递：把计算机连成一个环，环中有一个特殊的称为令牌的报文在传递。拿到令牌的站点可以把令牌扣下，并发送报文
- ❖ 缺点：需要一个特殊的设备来协调这些过程



信道的动态分配

- ❖ 受控接入协议
- ❖ 随机接入协议





随机接入协议

- ❖ 不需要特殊的协调设备
- ❖ 计算机要发送时，会采用随机选择方式，防止和其他计算机发生冲突
- ❖ 常用的随机接入协议
 - **ALOHA**
 - **CSMA/CD**
 - **CSMA/CA**



随机接入协议的五个假设

- ❖ 单信道假设 (**Single Channel Assumption**) 
- ❖ 站模型 (**Station Model**) 
- ❖ 冲突假设 (**Collision Assumption**) 
- ❖ 时间假设:
 - 时间连续 (**Continuous Time**) 
 - 时间分时隙 (**Slotted Time**)
- ❖ 侦听假设: 
 - 载波侦听 (**Carrier Sense**)
 - 非载波侦听 (**no Carrier Sense**)



单信道假设

- ❖ 所有通信，包括发送和接收，都通过单信道进行
- ❖ 所有的站都在该信道上发送或接收信息
- ❖ 所有站都是平等的，各站没有主从之分

信道是共享的，任何时刻只允许一个站点可以发送，并且任何站点都必须通过竞争才能取得发送权（如有主从之分，则存在单点故障）



信道的动态分配

有关动态分配五个假设：

- ❖ 单信道假设 (**Single Channel Assumption**) 
- ❖ 站模型 (**Station Model**) 
- ❖ 冲突假设 (**Collision Assumption**) 
- ❖ 时间假设：
 - 时间连续 (**Continuous Time**)
 - 时间分时隙 (**Slotted Time**)
- ❖ 侦听假设 
 - 载波侦听 (**Carrier Sense**)
 - 非载波侦听 (**no Carrier Sense**)



站模型

- ❖ 由**N**个独立的站（计算机、电话、个人通信设备）组成
- ❖ 每个站都可产生待发送的帧
- ❖ 在时间 Δt 内，生成一帧的概率为 $\lambda \Delta t$ ，其中 λ 是常量（新帧到达速率）
- ❖ 一旦生成一帧，就等待发送，直到成功发送

各站都是相互独立地、都以固定速率产生数据帧，某站一旦产生新帧，即被阻塞，亦即不会再有新的帧产生，每个站只有一个用户



信道的动态分配

有关动态分配五个假设：

- ❖ 单信道假设 (**Single Channel Assumption**) 
- ❖ 站模型 (**Station Model**) 
- ❖ 冲突假设 (**Collision Assumption**) 
- ❖ 时间假设：
 - 时间连续 (**Continuous Time**)
 - 时间分时隙 (**Slotted Time**)
- ❖ 侦听假设 
 - 载波侦听 (**Carrier Sense**)
 - 非载波侦听 (**no Carrier Sense**)



冲突假设

- ❖ 如两帧同时发送，则发生冲突
- ❖ 所有的站点都能检测到冲突
- ❖ 冲突的帧必须重发，除了冲突引起的差错外，没有其它差错

由于每个站点都必须通过竞争才能取得发送权，所以冲突是不可避免的，但在某些共享信道中采用特殊的机制来消除冲突（令牌网）



信道的动态分配

有关动态分配五个假设：

- ❖ 单信道假设 (**Single Channel Assumption**) 
- ❖ 站模型 (**Station Model**) 
- ❖ 冲突假设 (**Collision Assumption**) 
- ❖ 时间假设：
 - 时间连续 (**Continuous Time**)
 - 时间分时隙 (**Slotted Time**)
- ❖ 侦听假设 
 - 载波侦听 (**Carrier Sense**)
 - 非载波侦听 (**no Carrier Sense**)



时间假设

- ❖ 时间连续 (**Continuous Time**)

帧的发送可在任意时刻

- ❖ 时间分时隙 (**Slotted Time**)

时间被分为时隙，帧只能在时隙的开始处发送，一个时隙中可发送**0**、**1**或多帧，在一个时隙的开始处，如果只有一个站点发送则成功，如有多个站点发送则将发生冲突



信道的动态分配

有关动态分配五个假设：

- ❖ 单信道假设 (**Single Channel Assumption**) 
- ❖ 站模型 (**Station Model**) 
- ❖ 冲突假设 (**Collision Assumption**) 
- ❖ 时间假设：
 - 时间连续 (**Continuous Time**)
 - 时间分时隙 (**Slotted Time**)
- ❖ 侦听假设 
 - 载波侦听 (**Carrier Sense**)
 - 非载波侦听 (**no Carrier Sense**)



侦听假设

❖ 载波侦听 (**Carrier Sense**)

所有的站在使用信道前，都可检测到当前信道是否正被使用，如信道正忙，则等待

❖ 非载波侦听 (**no Carrier Sense**)

所有的站在使用信道前，都不检测当前信道是否正被使用，只是盲目发送

在局域网中，常采用载波侦听






第4章 介质访问子层

- ❖ 局域网概述
- ❖ 信道共享问题
- ❖ 多路访问协议
- ❖ 以太网
- ❖ 虚拟局域网
- ❖ 无线局域网





多路访问协议

- ❖ 纯ALOHA 
- ❖ 分隙ALOHA 
- ❖ 载波侦听多路访问协议 



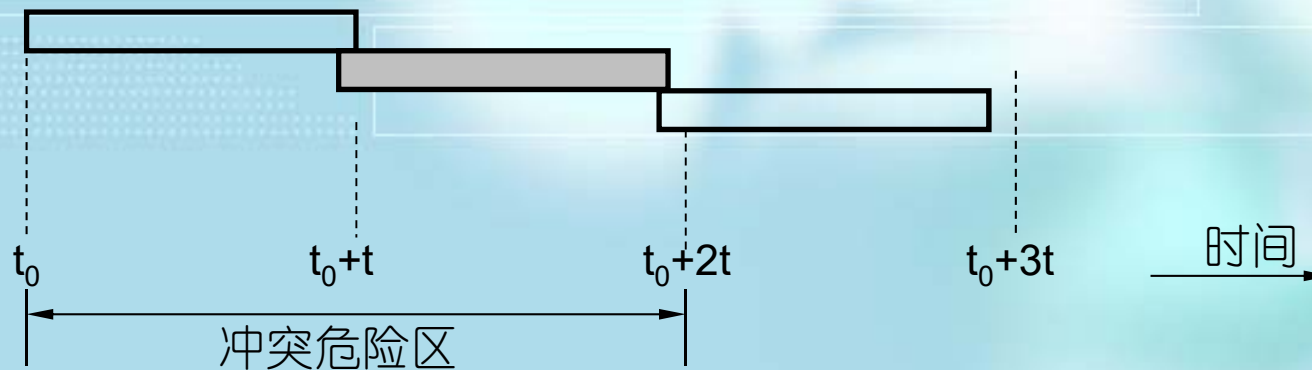
纯ALOHA的原理

- ❖ 任何一个站都可以在帧生成后立即发送
(可能冲突)
- ❖ 通过信号的反馈, 检测信道, 以确定发送是否成功
- ❖ 如发送失败, 则经随机延时后再发送



纯ALOHA的原理

- ❖ 在纯**ALOHA**中，站点一旦产生新帧则立即发送，如果一个标准长度的帧的发送时间为 t ，在 t_0+t 时刻允许生成一个新帧，除此新帧之外，在 $t_0 \sim t_0+2t$ 时间内不能有其它帧产生，否则冲突，即冲突危险区为 $2t$



Tnbm P253 Fig. 4-2 阴影帧的冲突危险区






纯ALOHA的效率

- ❖ 当网络比较闲时，效率较好
- ❖ 当网络较忙时，会频繁发生冲突。这种冲突时的信道的利用率只能达到**18%**



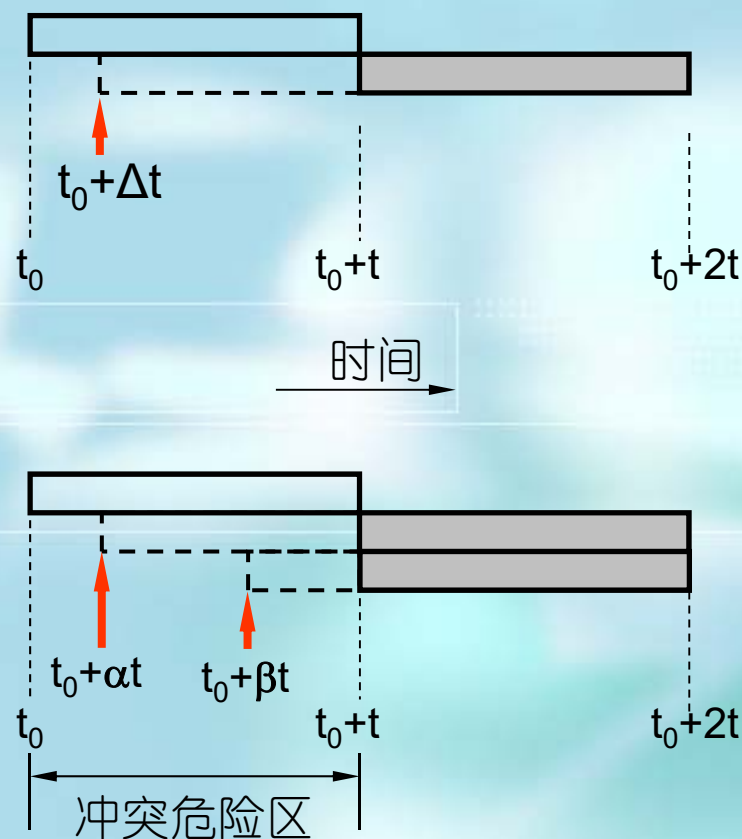
多路访问协议

- ❖ 纯ALOHA 
- ❖ 分隙ALOHA 
- ❖ 载波侦听多路访问协议 



分隙ALOHA的原理

- ❖ 在一个时隙内只产生一个新帧，新帧不允许立即发送，将在下一个时隙的开始处 t_0+t 时发送，不会发生冲突
- ❖ 在一个时隙内产生一个以上新帧，下一个时隙的开始处 t_0+t 时，一个以上的帧同时发送，将发生冲突，即冲突危险区为 t








分隙ALOHA的原理 (续)

- ❖ 分隙**ALOHA**的时间以时隙(**Time Slot**)为单位
- ❖ 时隙的长度对应一帧的传输时间，其起点由专门的信号来标志
- ❖ 新帧的产生是随机的，但分隙**ALOHA**不允许随机发送，凡帧的发送必须在时隙的起点，即冲突危险区是原来的一半
- ❖ 信道利用率可达**36%**



多路访问协议

- ❖ 纯ALOHA 
- ❖ 分隙ALOHA 
- ❖ 载波侦听多路访问协议 



载波侦听多路访问协议CSMA

在发送数据前先侦听信道，只有当信道为空时才可能发送

- ❖ 持续和非持续**CSMA**


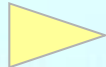



- ❖ 冲突检测





持续和非持续CSMA

- ❖ 1 – 持续CSMA 
- ❖ 非持续CSMA (Nonpersistent CSMA) 
- ❖ p – 持续CSMA (p-persistent CSMA) 






1 – 持续CSMA

- ❖ 每个站在发送前，先侦听信道，如信道正忙，则等待并持续侦听，一旦信道空闲，立即发送，即发送的概率为1；如冲突，则延时一随机时隙数后，重新发送



持续和非持续CSMA

- ❖ 1 – 持续CSMA 
- ❖ 非持续CSMA (Nonpersistent CSMA) 
- ❖ p – 持续CSMA (p-persistent CSMA) 






非持续CSMA (Nonpersistent CSMA)

- ❖ 每个站在发送前，先侦听信道，如信道正忙，则不再继续侦听，而是延时一随机时隙数后，再侦听信道



持续和非持续CSMA

- ❖ 1 – 持续CSMA 
- ❖ 非持续CSMA (Nonpersistent CSMA) 
- ❖ p – 持续CSMA (p-persistent CSMA) 



p – 持续CSMA (p-persistent CSMA)

- ❖ 用于分隙信道
- ❖ 先侦听信道，如信道正忙，则等到下一时隙；如信道空闲，则以概率 p 发送，而以概率 $q=(1-p)$ 把本次发送延至下一时隙，直至发送成功



载波侦听多路访问协议CSMA

在发送数据前先侦听信道，只有当信道为空时才可能发送

- ❖ 持续和非持续CSMA



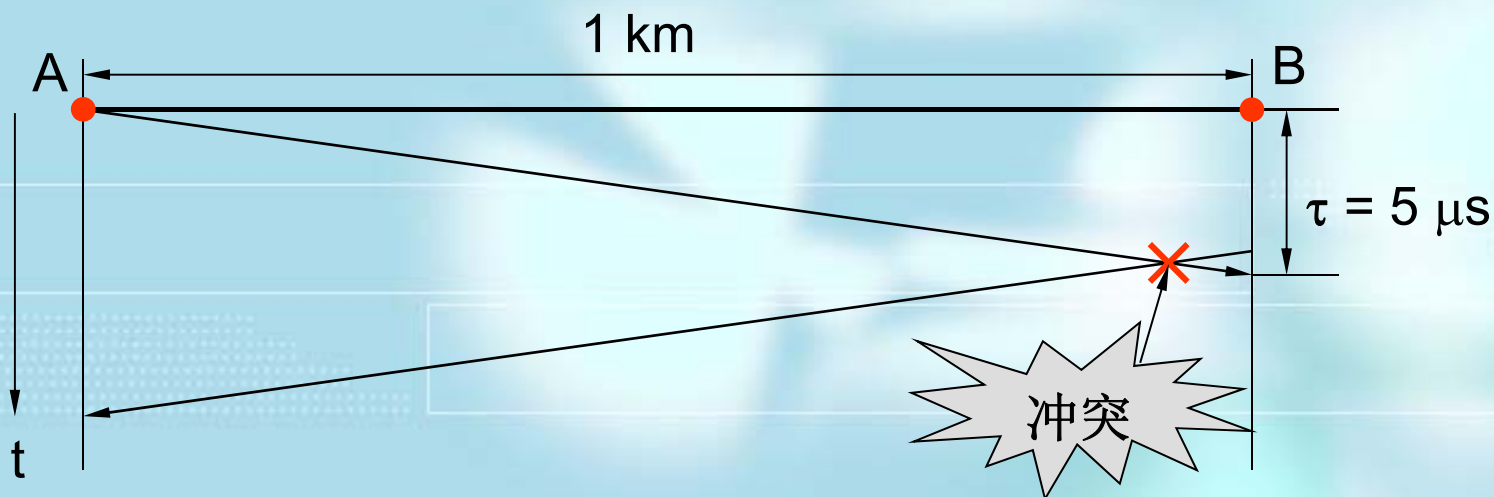
- ❖ 冲突检测





传播时延对载波侦听的影响

❖ CSMA并不能完全解决冲突问题



如两个或多个准备发送的站都检测到信道空闲而同时发送将发生冲突



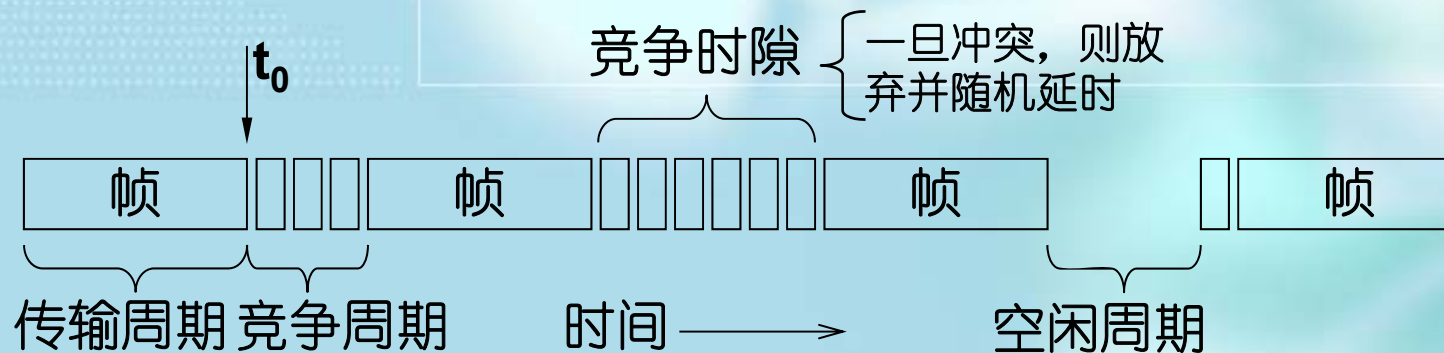
带冲突检测的CSMA

❖ CSMA/CD

Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection

带冲突检测的载波侦听多路访问

CSMA/CD的概念模型：



Tnbm P258 Fig. 4 – 5 CSMA/CD有三种状态：竞争、传输或空闲



CSMA/CD的要点

- ❖ 在一帧传输完成后的时刻 t_0 ，想要发送的站点都可以尝试发送
- ❖ 如两个或多个站点同时发送则发生冲突
- ❖ 判断出冲突后，立即停止发送，并延时一个随机时隙数后，通常其中的一个站点将发送成功



冲突的检测

❖ 信号电平法

基于基带传输，两个帧信号叠加后，电压大一倍

❖ 过零点检测法

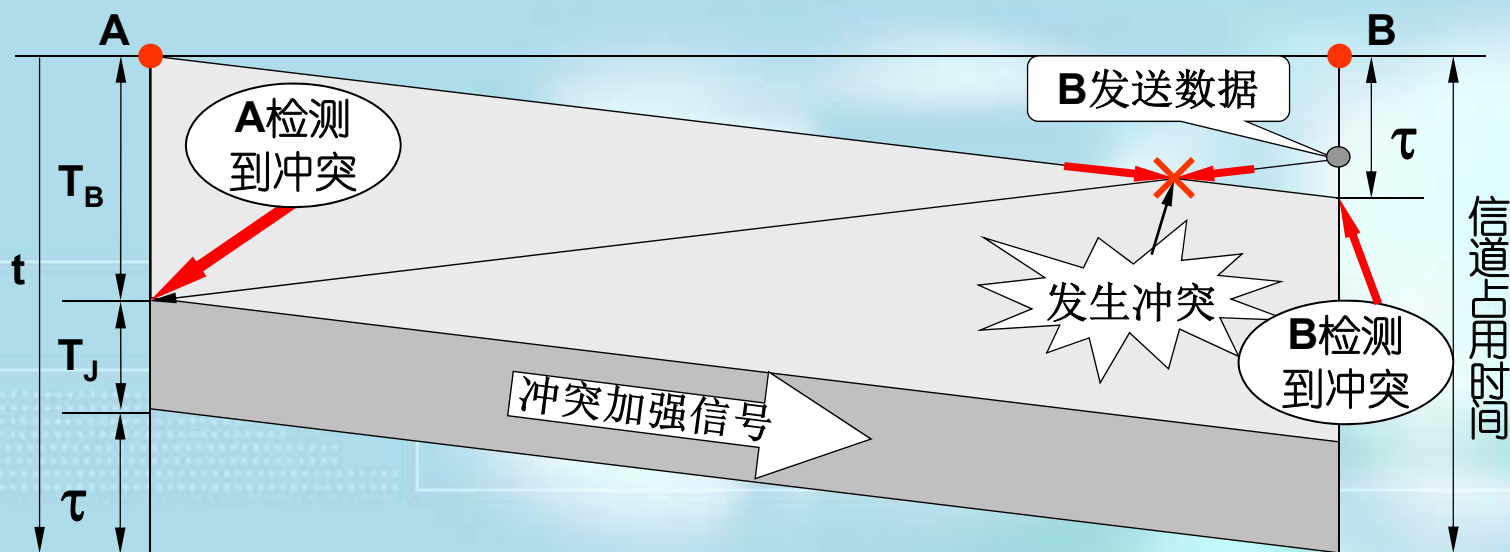
用曼切斯特编码时，零点在每比特的正中央，当有干扰时，则可能偏移

❖ 自收自发检测法

在发送数据的同时也在接收，并逐个比特比较



时隙长度的确定



如一个站点发送并经 2τ 后，没有冲突，即发送成功
典型地，一公里长的同轴电缆， $\tau \approx 5\mu\text{s}$ $2\tau \approx 10\mu\text{s}$



第4章 介质访问子层

- ❖ 局域网概述
- ❖ 信道共享问题
- ❖ 多路访问协议
- ❖ 以太网
- ❖ 虚拟局域网
- ❖ 无线局域网





以太网

- ❖ 以太网概述 
- ❖ 经典的以太网 
- ❖ 以太网的扩展 
- ❖ 快速以太网 
- ❖ 千兆以太网 
- ❖ **LLC** 



以太网概述

- ❖ 以太网包括了**OSI**七层协议中的下两层，即物理层和数据链路层
- ❖ 物理层规定了以太网的连接线路、接口
- ❖ 数据链路层规定了介质共享方法及点对点的可靠传输



以太网的发展

- ❖ **802.3以太网：总线型 10M**
- ❖ **快速以太网：100M**
- ❖ **千兆以太网：1G**



以太网

- ❖ 以太网概述
- ❖ 经典的以太网
- ❖ 以太网的扩展
- ❖ 快速以太网
- ❖ 千兆以太网
- ❖ **LLC**





以太网

- ❖ 以太网的物理层
- ❖ 以太网**MAC**子层协议
- ❖ 冲突后的避让算法
- ❖ 以太网的性能





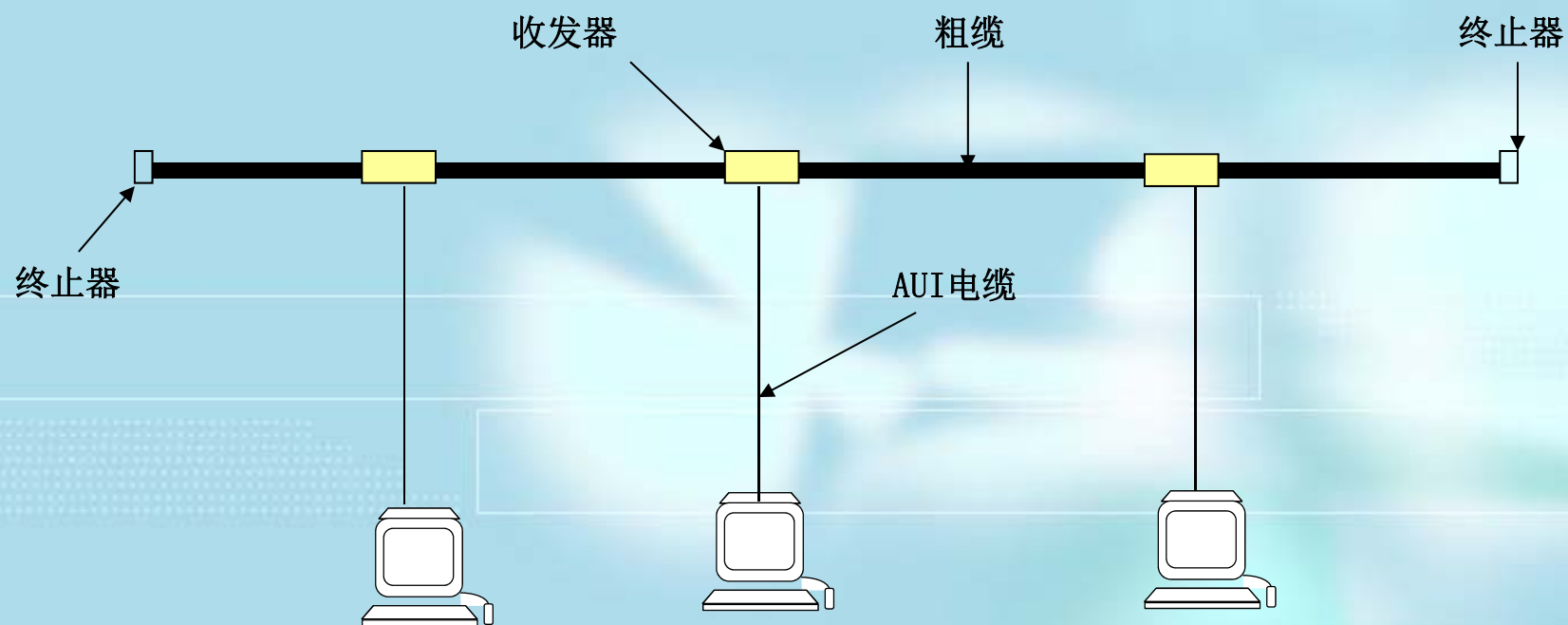
802.3的电缆

❖ 传输电缆分以下四种

名称	电缆	最大区间长度	节点数/段	优点	接口
10Base5	粗缆	500m	100	用于主干	AUI
10Base2	细缆	185m	30	廉价	BNC
10Base-T	双绞线	100m	1024	易于维护	RJ-45
10Base-F	光纤	2km	1024	用于楼间	ST

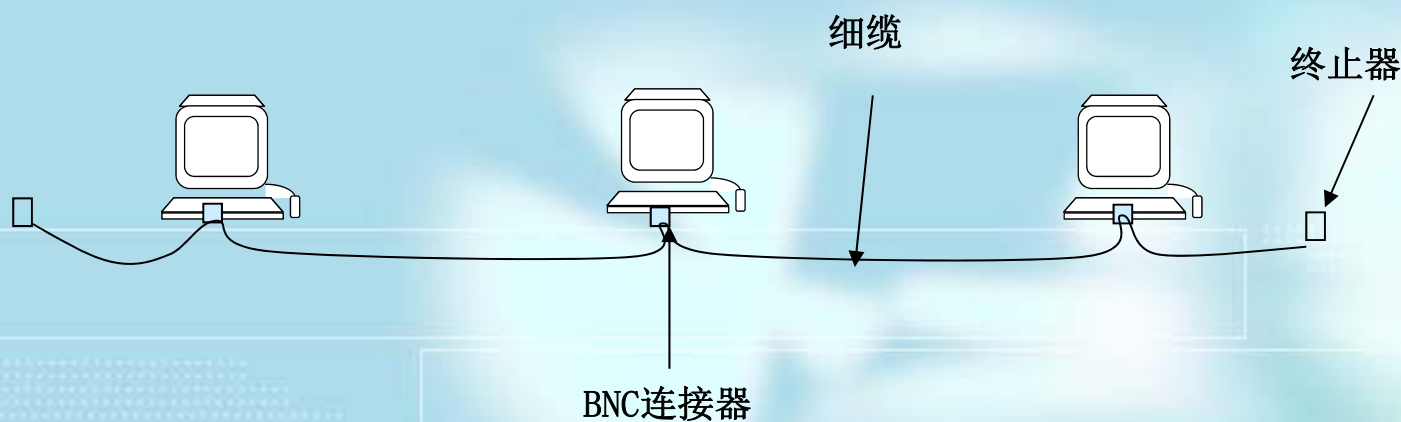


粗缆以太网（10BASE5）





细缆以太网(10BASE2)

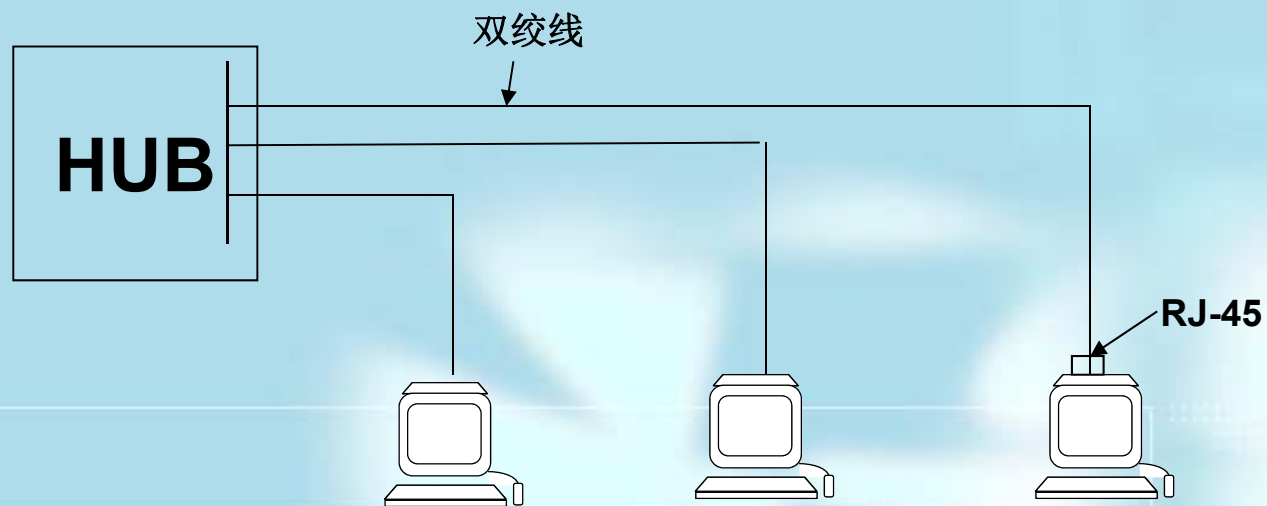


容易出故障



双绞线以太网(10BASE-T)

- ❖ 其物理接口为**RJ-45**
- ❖ 连线采用**3类**（或**5类**）双绞线，
仅用两对线，且全双工
- ❖ 距离为**100 m**



形式上是星形，本质上是总线



以太网

- ❖ 以太网的物理层
- ❖ 以太网**MAC**子层协议
- ❖ 冲突后的避让算法
- ❖ 以太网的性能





以太网MAC子层协议

❖ 以太网的帧结构

7	1	2/6	2/6	2	0~1500	0~46	4
先导字段 10101010		目的地址	源地址		数 据	填充字符	校验和

帧开始字符10101011 类型：表示上层使用的协议
如IP协议为800H，ARP协议为806H



帧结构字段说明

- ❖ 先导字段 
- ❖ 两个地址 
- ❖ 数据字段长度 
- ❖ 校验和 
- ❖ 填充字段 



先导字段

- ❖ 7个字节的**10101010**，实际上下一个字符也是先导字段，只是最后两位为**1**，表示紧接着的是真正的**MAC**帧
- ❖ 8个字节的**10101010**的曼切斯特编码将产生**10MHz**，持续**6.4 μ s**的方波，周期为**0.1 μ s**，可用于时钟同步



帧结构字段说明

- ❖ 先导字段
- ❖ 两个地址
- ❖ 数据字段长度
- ❖ 校验和
- ❖ 填充字段





两个地址

- ❖ 目的地址和源地址都允许为**2字节**或**6字节**，在**10M bps**的基带以太网中是**6字节**
- ❖ 目的地址最高位为**0**：普通地址
 - 1**：多点发送（**Multicast**）
 - 目的地址全**1**：广播发送（**Broadcast**）
- ❖ 在**6个字节**（共**48位**）的地址中有**46位**用于地址的指定，即有 $2^{46} = 7.03687 \times 10^{13}$ 个地址
- ❖ 网卡地址是一个全局地址
如：**44-45-53-54-00-00**



帧结构字段说明

- ❖ 先导字段
- ❖ 两个地址
- ❖ 数据字段长度
- ❖ 校验和
- ❖ 填充字段





数据字段长度和校验和

- ❖ 指明数据的字节数，数据字段长度允许为**0**
- ❖ **4个字节共32位的CRC码**



帧结构字段说明

- ❖ 先导字段
- ❖ 两个地址
- ❖ 数据字段长度
- ❖ 校验和
- ❖ 填充字段





填充字段

❖ 为保证帧的最短长度为**64**个字节

即：在数据字段长度为**0**时

两个地址 (**12**字节) + 长度 (**2**个字节) + 填充字节 +
校验和 (**4**个字节) = **64**

18字节 + 填充字节 = **64**

填充字节 = **46**

所以填充字节为：**0 ~ 46**字节



为什么帧的最短长度为64个字节

- ❖ 为了确认发送帧是否正确到达目的站点，必须保证可能的冲突信号返回时帧的发送尚未结束，如在 2τ 内没有冲突信号返回，则发送成功，如果发送端在 2τ 时间内帧已经发送结束，则即使冲突也无法检测，即最短帧长应与 2τ 相当



2τ 的计算

- ❖ 在极限条件下，**802.3**局域网中发送方和接收方间允许接有**4**个中继器，最大距离为**2500 m**，往返**5000 m**，在传输速率为**10M bps** 条件下，如果在信号传播过程的尽头发生冲突，往返的时间大约需要**50 μ s**，再考虑一些安全余量以及 **2**的整次幂的因素，所以通常取**51.2 μ s**为争用时隙的时间长度（**51.2 μ s**即传输**512 bit**，即**64**字节所耗费的时间），所以帧的长度至少为**64**个字节



以太网

- ❖ 以太网的物理层
- ❖ 以太网**MAC**子层协议
- ❖ 冲突后的避让算法
- ❖ 以太网的性能





二进制指数后退算法

- ❖ 发送方在检测到冲突后，双方（或多方）都将延时一段时间，所谓一段时间到底是多长？
- ❖ 检测到冲突后，时间被分成离散的时隙
- ❖ 时隙的长度等于信号在介质上往返的传播时间（在以太网中，一个时隙，即 2τ 为 **$51.2\mu\text{s}$** ）
- ❖ 一般地，经 i 次冲突后，发送站点需等待的时隙数将从 $0 \sim 2^i - 1$ 中随机选择



二进制指数后退算法举例

在一个时隙的起始处，两个**CSMA/CD**站点同时发送一个帧，求前**4**次竞争都冲突的概率？

- 第一次竞争冲突的概率为**1**；
- 第一次冲突后，**A、B**都将在等待**0**个或**1**个时隙之间选择，选择的组合有：**00、01、10、11**，共**4**种，其中**00**和**11**将再次冲突，所以第二次竞争时，冲突的概率为**0.5**
- 第二次冲突后：**A、B**都将在**0、1、2、3**之间选择，选择的组合有：**00、01、02、03、10、11、12、13、20、21、22、23、30、31、32、33**共**16**种，其中**00、11、22、33**将再次冲突，所以第三次竞争时，冲突的概率为**0.25**
- 第三次冲突后：**A、B**都将在**0、1、2、3、4、5、6、7**之间选择，选择的组合共有**64**种，其中**00、11、... ..、77**将再次冲突，所以第四次竞争时，冲突的概率为**0.125**
- 前四次竞争都冲突的概率为： **$1 \times 0.5 \times 0.25 \times 0.125 = 0.015625$**



二进制指数后退算法的优化

以上讨论的是发送方怎样避免冲突，或冲突后怎样再次竞争以成功发送，一旦发送成功后，如果接收方需发确认帧，则必须通过竞争才能得到信道的使用权，但是，如把一次成功发送后的第一个时隙留给接收方，则可保证发送方能及时收到确认，然而标准中并不允许



以太网

- ❖ 以太网的电缆
- ❖ 以太网**MAC**子层协议
- ❖ 冲突后的避让算法
- ❖ 以太网的性能





802.3的性能

对某个站点来说，从站点产生新帧到允许发送的等待时间越短越好；对信道来说，在保证每个站点性能的基础上，能支持的站点数越多越好，很显然，这与共享网络中的站点数和每个站点在单位时间内发送帧的概率有关，所以，设：

- ❖ 在稳定重载荷的情况下，有 k 个站点参与信道竞争
- ❖ 每个站点在每个时隙中的发送概率为 p



802.3的性能（续）

$$\text{信道效率} = \frac{\text{每帧发送时间 (P)}}{\text{每帧发送时间 (P)} + \text{平均竞争时间 (T)}}$$

平均竞争时间 = 平均竞争时隙数 \times 时隙长度(2τ)

那么：某个给定时隙内，站点成功获得信道的概率为：

$$A = kp(1-p)^{k-1}$$

显然，当 $p = 1/k$ 时， A 将取最大值

当 $k \rightarrow \infty$ 时， $A \rightarrow 1/e$

竞争时隙数正好是 j 个时隙的概率 $= A(1-A)^{j-1}$

$$\text{平均竞争时隙数} = \sum_{j=0}^{\infty} j \times A \times (1-A)^{j-1} = \frac{1}{A} = e$$



最佳信道效率

由于**802.3**采用的是**CSMA/CD**（带冲突检测的载波侦听多路访问）， τ 是发送站点到最远站点的信号传播延时，为保证冲突信号的回传时间，所以每个时隙的时间为 **2τ** ，平均竞争时隙数为 **e** ，所以平均竞争时间为 **$2\tau e$**

$$\begin{aligned}\text{信道效率} &= \frac{\text{每帧发送时间 (P)}}{\text{每帧发送时间 (P)} + \text{平均竞争时间 (T)}} \\ &= \frac{P}{P + \frac{2\tau}{A}} = \frac{P}{P + 2\tau e}\end{aligned}$$



对更一般的情况

如：帧长为**F**，网络带宽为**B**，电缆长度为**L**
信号传播速率为**c**（典型的为**5μs/km**）

每帧传输时间为 **$P=F/B$**

信号的最大传播延迟 **$\tau = L/c$**

在有**e**个竞争时隙的情况下

$$\text{即最佳的信道效率} = \frac{\frac{F}{B}}{\frac{F}{B} + \frac{2Le}{c}} = \frac{1}{1 + \frac{2BLE}{cF}}$$

可见，增加网络带宽或远距离传输，将使信道效率降低
所以，在高带宽或广域网条件下，以太网可能不是最合适的



以太网

- ❖ 以太网概述 
- ❖ 经典的以太网 
- ❖ 以太网的扩展 
- ❖ 快速以太网 
- ❖ 千兆以太网 
- ❖ **LLC** 



以太网的扩展

- ❖ 在物理层扩展：通过中继器
- ❖ 在链路层扩展：网桥、交换机



数据链路层交换

❖ 网桥

❖ 网络互联设备





网桥 (Bridge)

- ❖ 网段：也称为冲突域，是一个**CSMA/CD**的工作区域
- ❖ 网桥是一个连接多个网段的设备，每个端口连接一个网段
- ❖ 网桥监听每个端口，当收到一个完整的帧时，再把它发送到另一个网段上
- ❖ 网桥转发所有的多播或广播帧
- ❖ 由网桥连接起来的网还是一个局域网



网桥（Bridge）续

- ❖ 各网段可独立工作
- ❖ 网桥是智能设备，只有当帧的源地址和目的地址处于不同网段时才转发
- ❖ 网桥可扩大局域网的范围，不仅是距离，而且计算机数量也能扩大



网桥（Bridge）续

- ❖ 网桥可以连接不同的局域网的网段
- ❖ 如把数据链路层细分为**LLC**子层和**MAC**子层，则所谓不同的局域网是指在数据链路层的**MAC**子层上



网桥属数据链路层设备

❖ 网桥的工作原理



❖ 透明网桥



❖ 生成树网桥

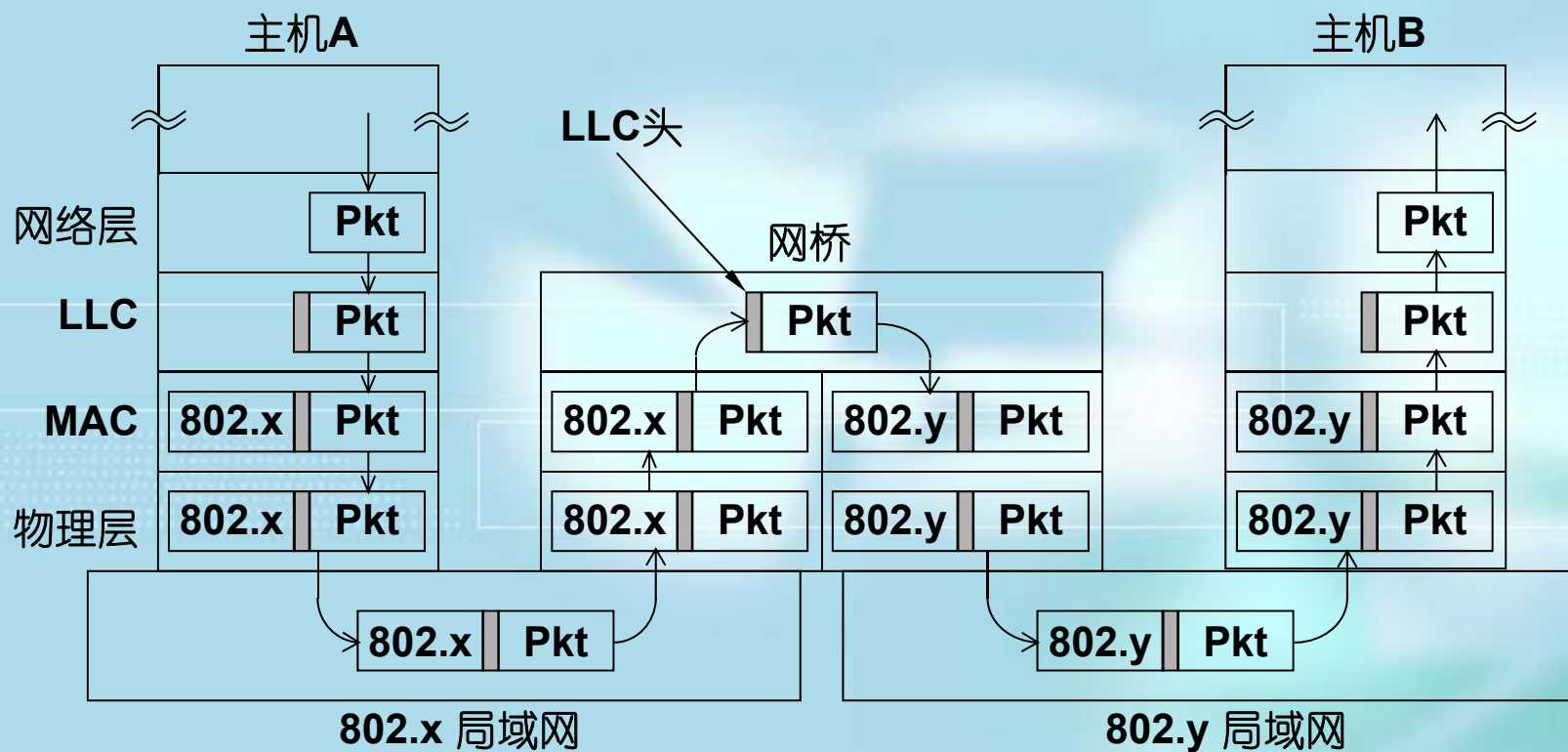


❖ 远程网桥





网桥的工作原理



Tnbn P320 Fig. 4-40 从802.x 到802.y 的局域网桥



网桥互联的问题

- ❖ 不同的**LAN**可能具有不同的帧格式，互联时必须进行帧格式的转换，将增加**CPU**的开销
- ❖ 不同的**LAN**可能具有不同传输速率，互联时必须进行缓存
- ❖ 不同的**LAN**可能具有不同的帧的最大长度，通常在数据链路层不支持对长帧的分帧功能，其处理方法是简单地丢弃
- ❖ 有的**LAN**支持数据链路层的加密功能，有的**LAN**却不支持
- ❖ 有的**LAN**支持**QoS**功能，有的**LAN**也不支持



网桥 (Bridge)

- ❖ 网桥的工作原理
- ❖ 透明网桥
- ❖ 生成树网桥
- ❖ 远程网桥

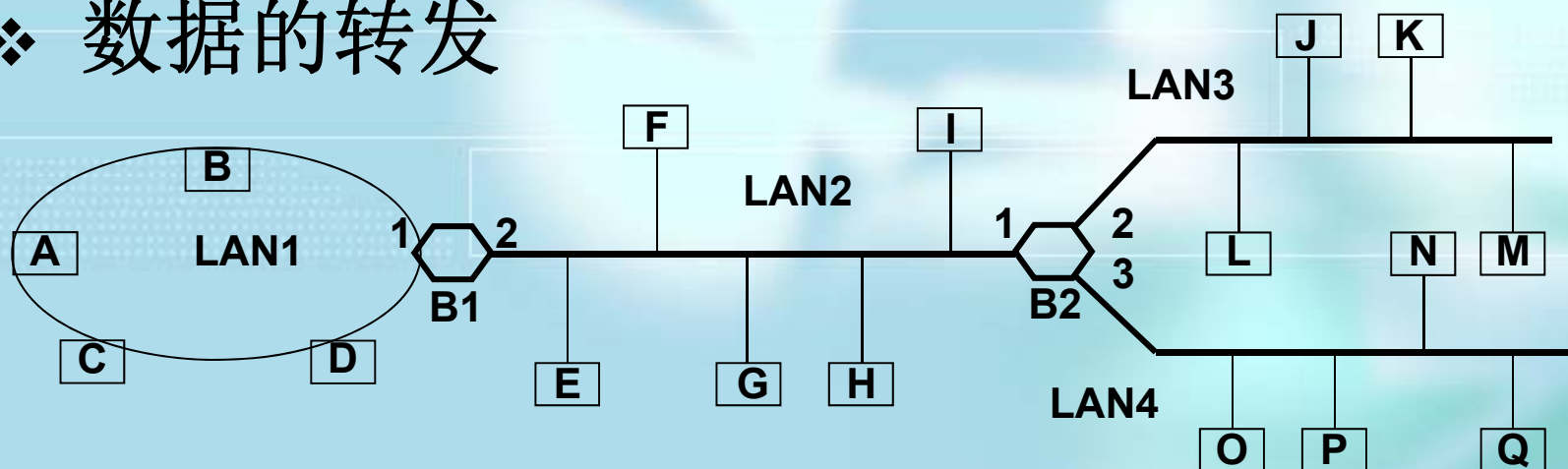




本地网间互联

所谓透明网桥，是指把网桥与相关的网络在物理上连接后，不需要做任何配置，即可实现网络互联的数据链路层设备

❖ 数据的转发



Tnbn P322 Fig. 4-42 4个局域网和2个网桥的配置



网桥中的数据转发

❖ 透明网桥算法

- 如目的站点所属**LAN**和源站点所属**LAN**相同，则丢弃该帧
- 如目的站点所属**LAN**和源站点所属**LAN**不同，则转发该帧
- 如目的站点所属**LAN**未知，则进行扩散

每个网桥都有一张散列表（即路由表），用来存放目的站点所属的**LAN**，该张散列表通过自学习法建立，并且是动态维护的



逆向学习算法

- ❖ 散列表的建立采用逆向学习算法
- ❖ 初始化时，散列表为空，此时，某源站点（假如是**C**）发送一帧到某目的站点（假如是**H**）时，网桥**B1**将记录该源站点和它进入的网桥端口（**C/B1-1**），并将该帧扩散（即转发到所连接的其它端口（**B1-2**）中，不必向源端口转发）



散列表的维护

- ❖ 散列表的更新是动态的，每一表项都有一个时间项，记录更新的时间，每个站点发送的帧到达时，都将更新其散列表项
- ❖ 按最长时间无收发帧的站点优先出散列表的原则，以保证散列表不会溢出



上例中网桥B1和网桥B2的散列表

网桥B1						网桥B2					
站点	端口	时间	站点	端口	时间	站点	端口	时间	站点	端口	时间
A	1		J	2		A	1		J	2	
B	1		K	2		B	1		K	2	
C	1		L	2		C	1		L	2	
D	1		M	2		D	1		M	2	
E	2		N	2		E	1		N	3	
F	2		O	2		F	1		O	3	
G	2		P	2		G	1		P	3	
H	2		Q	2		H	1		Q	3	
I	2					I	1				



网桥 (Bridge)

- ❖ 网桥的工作原理
- ❖ 透明网桥
- ❖ 生成树网桥
- ❖ 远程网桥



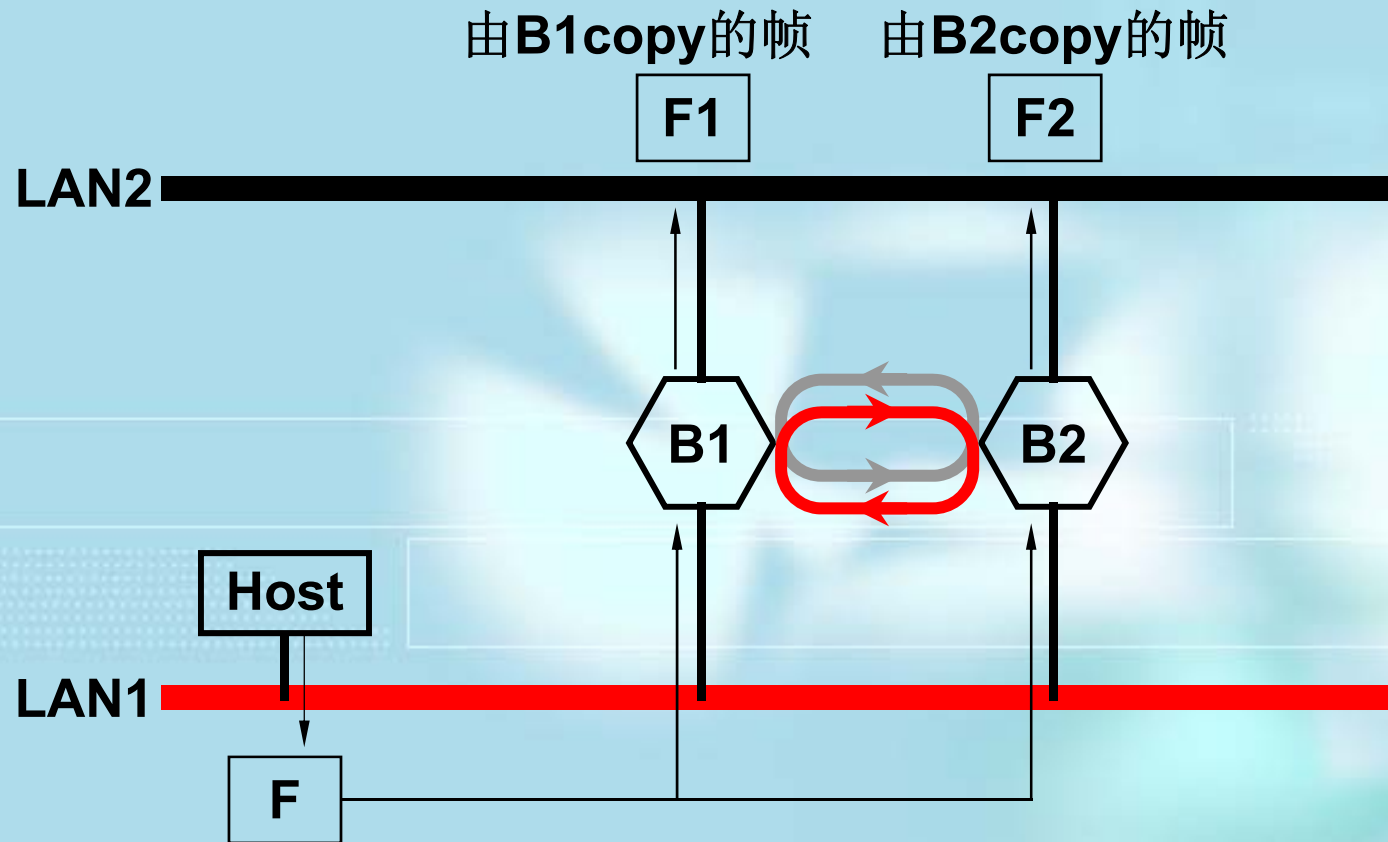


生成树网桥

- ❖ 如在**LANs**之间为提高可靠性，并行连接有**2**台（或多台）采用逆向学习算法的透明网桥，则可能由于无限制的循环扩散而使流量骤增，最后导致网络瘫痪
- ❖ 从原理上说，如网络中存在回路，常规算法的透明网桥都不能正常工作



包含回路的LANs



Tnbm P324 Fig. 4-43 两个并行的透明网桥

当任意站点发送一个广播帧时，广播帧将在网中永远循环！



生成树算法

- ❖ 所谓生成树算法就是在物理上存在回路的拓扑中，生成一棵在逻辑上无回路的树，即生成树
- ❖ 生成树算法将以某指定节点为根节点，构建一棵生成树
- ❖ 对于原包含回路的拓扑，从生成树的根节点出发，沿生成树，可以到达任意一个节点，却不包含回路，但不能保证其路径是最优的



网桥 (Bridge)

- ❖ 网桥的工作原理
- ❖ 透明网桥
- ❖ 生成树网桥
- ❖ 远程网桥



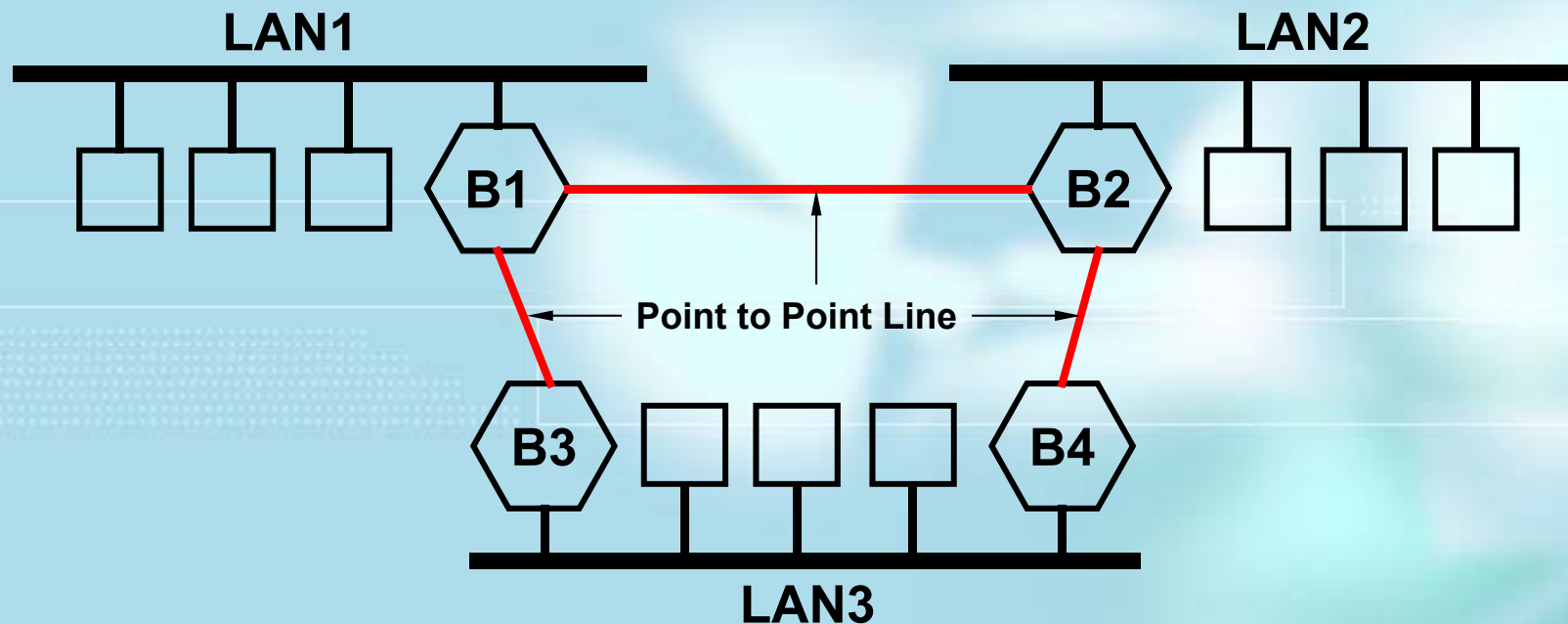


远程网桥

- ❖ 距离相对较远的**LANs**的连接可采用远程网桥和一对点到点的线路（如租用电信线路）来实现
- ❖ 点到点线路可看作是一个没有主机的**LANs**
- ❖ 点到点线路上可选用各种协议，如**PPP**



远程LANs的互联



Tnbn P325 Fig. 4-45 远程网桥连接远距离的LANs



数据链路层交换

- ❖ 网桥
- ❖ 网络互联设备





网络互联设备

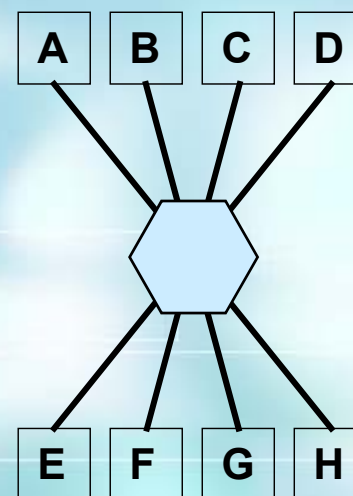
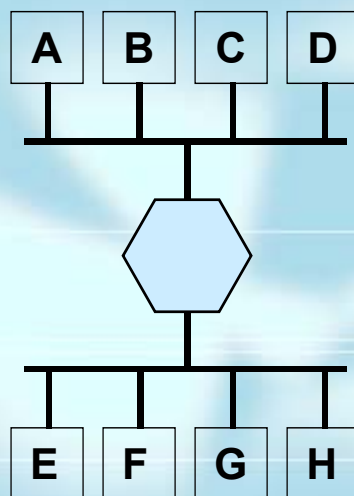
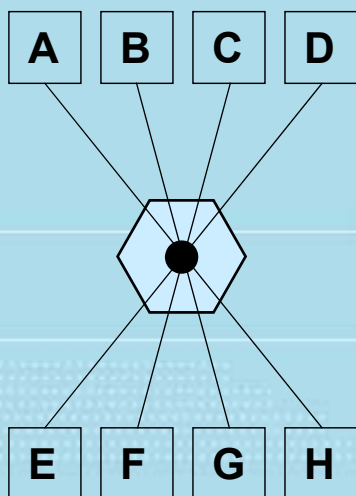
❖ 不同的协议层有不同的网络互联设备

Application Layer	Application Gateway
Transport Layer	Transport Gateway
Network Layer	Router
Data Link Layer	Bridge、Switch
Physical Layer	Repeater、HUB

Tnbn P326 Fig. 4-46 不同的协议层的网络互联设备

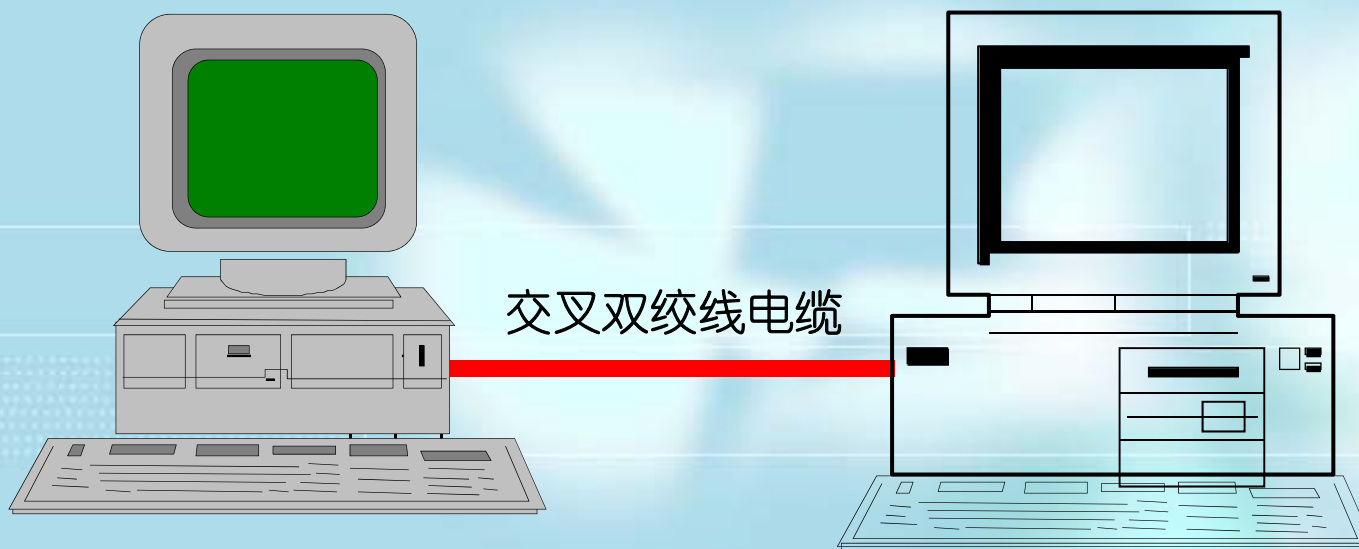


HUB、网桥和交换机





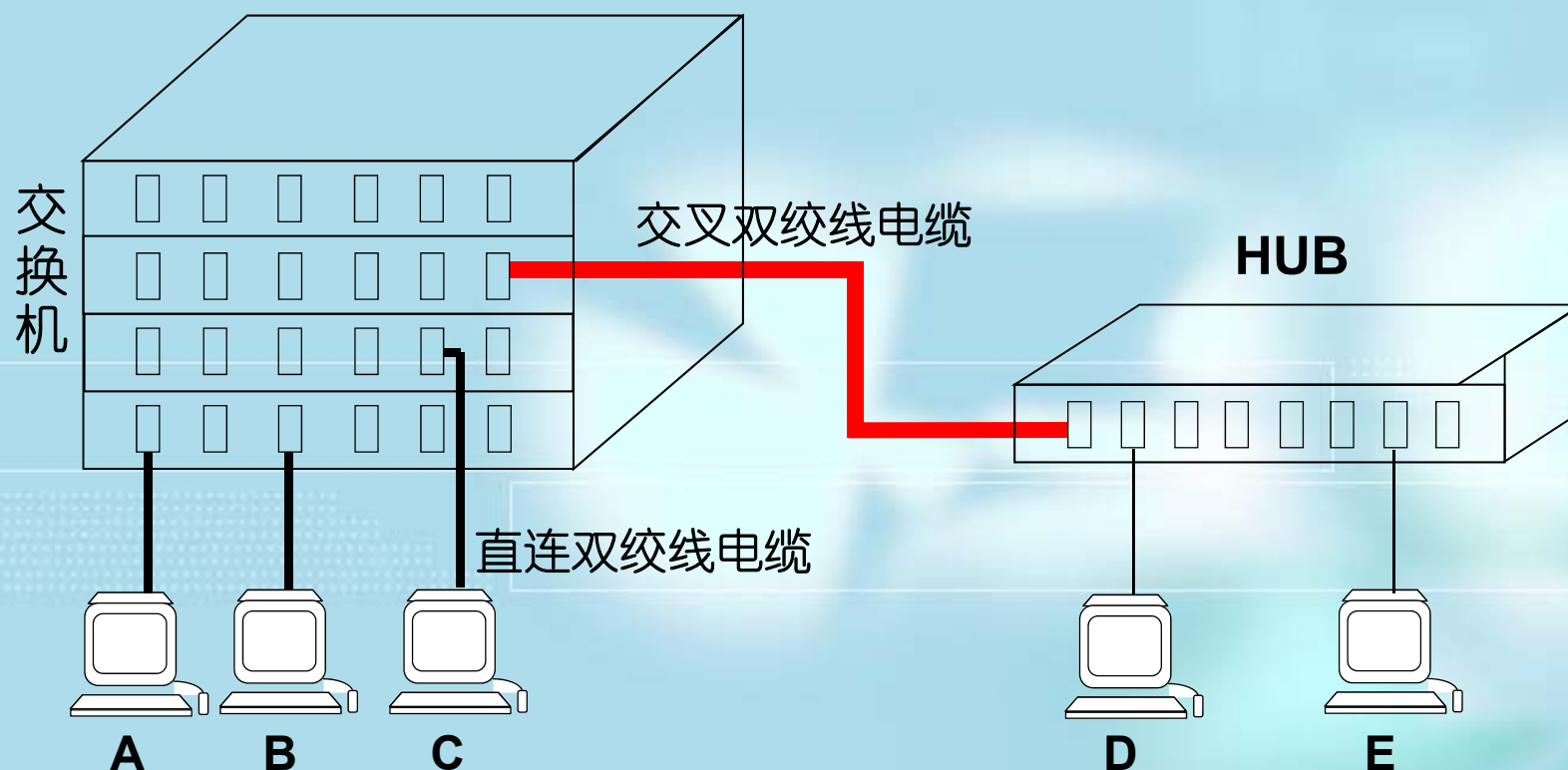
最简单的以太网



Tnbm P287 Fig. 4-22 (a) 两个站点的以太网



交换式以太网图例



Tnbm P287 Fig. 4-22 (b) 多站点以太网



以太网交换机

- ❖ 交换机有一个高速的背板，速率可达**1G b/s**或更高
- ❖ 背板上可插入若干个模块（有的模块还可插入子模块）
- ❖ 每个模块（或子模块）上有**4 ~ 8个RJ-45**的端口，甚至更多，每个模块实际上是一个规模较小的局域网，即一个模块就是一个共享域（以太网中，共享域即冲突域）
- ❖ 一个模块上任一时刻只能有一个站点发送，但分属不同模块上的端口可并行工作，这可理解为组交换：模块内共享，模块间交换
- ❖ 当每个模块都退化成一个只有一个端口时，即一个共享域中只有一个端口，则该交换机是全交换的

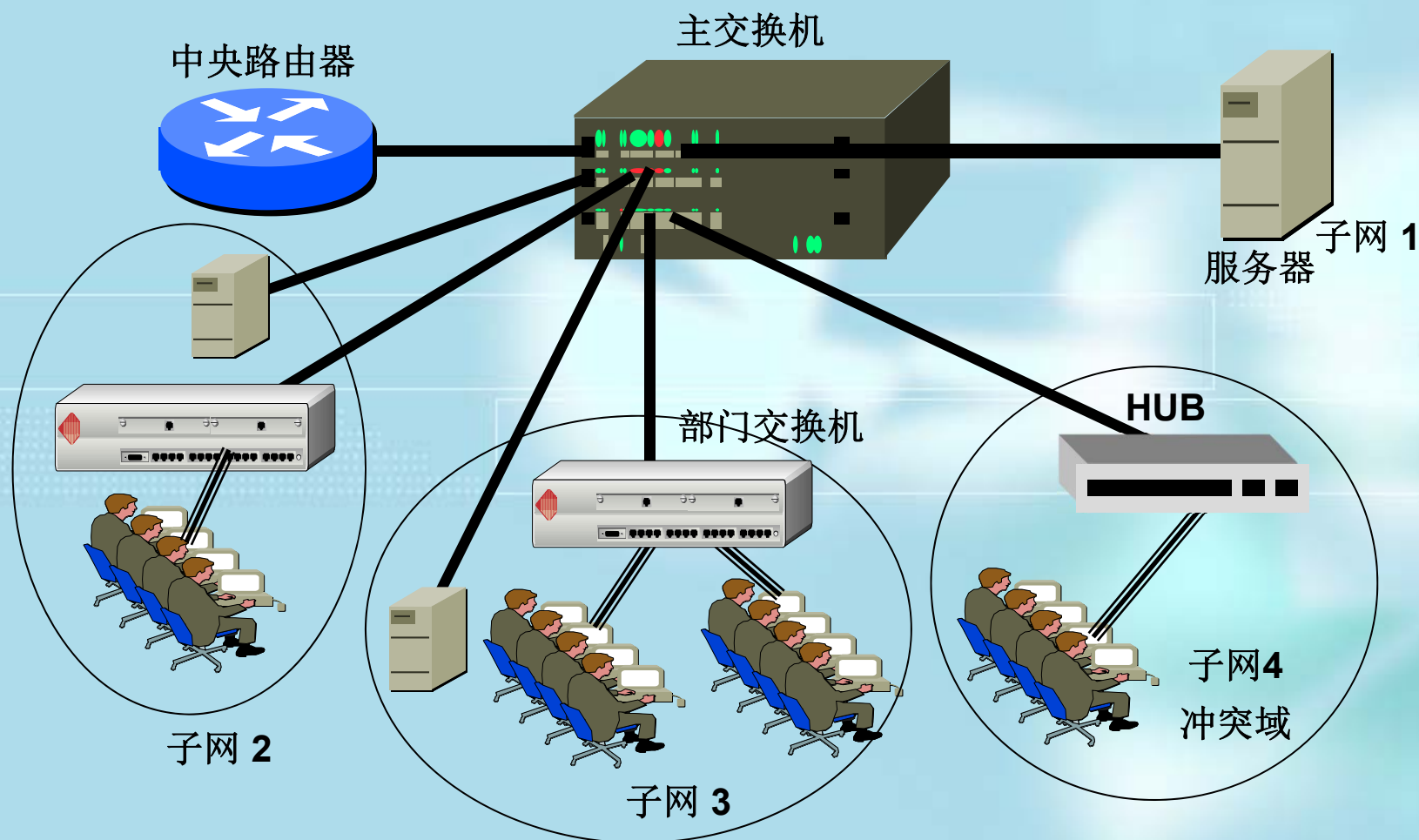


交换式局域网

- ❖ 交换式局域网通常以百兆以太网交换机或千兆以太网交换机作为局域网的核心交换设备，交换机的每个端口都可用于连接一个网段或一台主机
- ❖ 每个端口连接的网段形成一个冲突域，端口之间帧的传输不受**CSMA/CD**的限制
- ❖ 交换机上不同类型的端口支持不同类型的传输介质，不同类型的端口其最大传输距离也不尽相同



交换式局域网示例





以太网

- ❖ 以太网概述 
- ❖ 经典的以太网 
- ❖ 以太网的扩展 
- ❖ 快速以太网 
- ❖ 千兆以太网 
- ❖ **LLC** 



Fast Ethernet (802.3u)

- ❖ 也称为百兆以太网
- ❖ 采用星型连接方式，由一个百兆的集线器连接所有机器
- ❖ 不支持同轴电缆
- ❖ **MAC**层没有变化，所以与**10**兆以太网兼容



为什么采用星形连接

- ❖ **100兆以太网最短帧长不变，但速率提高了10倍，所以只能将最长的传输距离缩小10倍**
- ❖ **采用双绞线的连接方式将网段中的最长的电缆长度减小到100米**



物理层

- ❖ **100BASE-FX**: 2对光纤, 采用**4B5B**编码
- ❖ **100BASE-TX**: 2对无屏蔽**5**类双绞线或屏蔽双绞线, 用“多电平传输”的编码方式
- ❖ **100BASE-T4**: 4对**3**类双绞线, **3**对发送用, **1**对接受, 用**6B8T-NRZ**编码方式



多电平传输

- ❖ 用正、负、零三种电平
- ❖ 编码规则：
 - **0**: 下一个输出值不变
 - **1**: 下一个输出值要变。如前一个输出的是正值或负值，则输出零。若前一个输出零，则输出与前一个非零值符号相反的值



8B6T-NRZ

- ❖ 将数据流中的**8bit**作为一组
- ❖ 将**8bit**转换成**6bit**的三元制 (**Ternary**)
- ❖ 通过三对线发送



以太网

- ❖ 以太网概述
- ❖ 经典的以太网
- ❖ 以太网的扩展
- ❖ 快速以太网
- ❖ 千兆以太网
- ❖ **LLC**





Gigabit Ethernet (802.3z)

- ❖ 百兆到桌面的需求日益强烈
- ❖ 千兆以太网的标准**802.3z**，**1998年6月**公布
- ❖ 与**10M**、**100M**以太网向后兼容，保持平滑过渡



物理层

- ❖ **1000BASE-SX:** 多模光纤，传输距离为275m或550m
- ❖ **1000BASE-LX:** 多模光纤，传输距离为550m或5km
- ❖ **1000BASE-CX:** 屏蔽双绞线，传输距离25m
- ❖ **1000BASE-T:** 4对5类双绞线，传输距离100m



802.3z的两个扩展技术

- **802.3z**允许链路中使用共享设备（如**HUB**），为进行冲突检测，则帧的传输时间必须大于最长距离的信号往返的传播时间，即 2τ
- 为保证与**HUB**的最长距离允许为**100 m**，**802.3z**把时隙定为**4.096 μ s**（传输**4096**比特的时间），为与**802.3**及**802.3u**兼容，不能增加最小帧的长度，所以采用了载波扩展技术
- 又为了提高有效数据的传输率，还采用了短帧突发技术

❖ 载波扩展



❖ 短帧突发





载波扩展

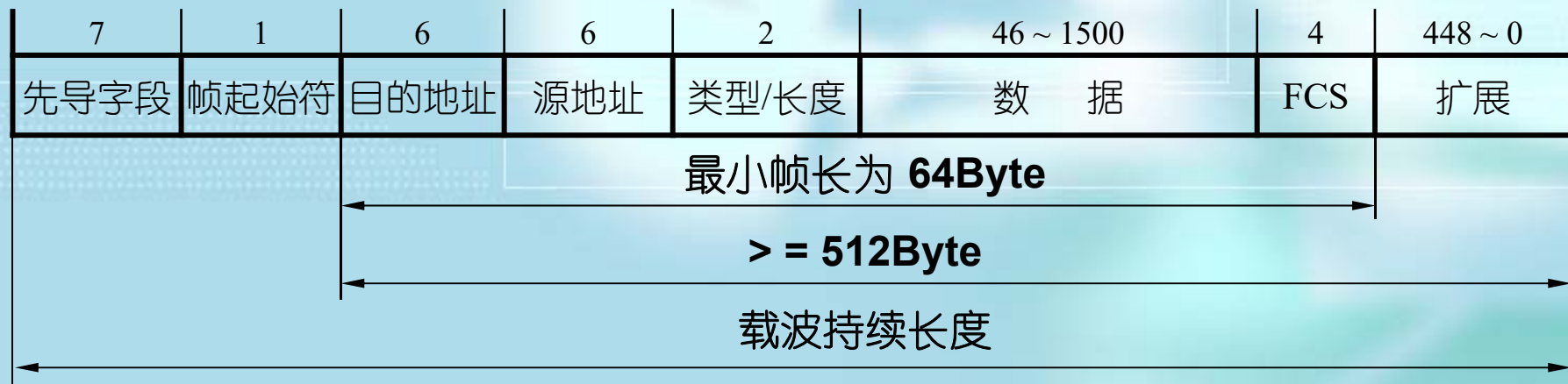
	传输速率 M bps	往返距离 m	一个时隙 2τ 内可传输的 Byte
802.3	10	5000	64 B (51.2 μ s)
802.3u	100	500	64 B (5.12 μ s)
802.3z	1000	400	512 B (4.096 μ s)

- ❖ 为保证与802.3及802.3u兼容，不能增加最小帧的长度，即最小帧的长度仍为64 Byte，但在帧传输完后，如尚未到达4.096 μ s时，则以载波信号充斥其余时间



千兆以太网的帧格式

- ❖ 千兆以太网的最短帧长与时隙不相关
- ❖ 采用载波扩展技术



对小于**64Byte**的以太帧，本来就必须填充，与千兆以太网格式无关



载波扩展带来的问题

- ❖ 如长度为**64 Byte**的短帧，都必须在**512 Byte**的时隙内传输，将严重影响性能，其信道效率为：

$$\frac{\text{帧长 } 64 \text{ B}}{\text{扩展成 } 512 \text{ B} + \text{帧前导 } 8 \text{ B} + \text{帧间隙 } 12 \text{ B}} = \frac{64}{532} = 12\%$$

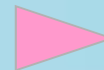
- ❖ **64 Byte**的短帧扩展成**512 Byte**，如冲突在前**64 Byte**之后，帧的重发将是无意义的



802.3z的两个特性

- **802.3z**允许链路中使用共享设备（如**HUB**），为进行冲突检测，则帧的传输时间必须大于最长距离的信号往返的传播时间，即 2τ
- 为保证与**HUB**的最长距离允许为**100 m**，**802.3z**把时隙定为**4.096 μ s**（传输**4096**比特的时间），为与**802.3**及**802.3u**兼容，不能增加最小帧的长度，所以采用了载波扩展技术
- 又为了提高有效数据的传输率，还采用了短帧突发技术

❖ 载波扩展



❖ 短帧突发





短帧突发

- ❖ 当短帧突发时，让一个站发送多个帧，而只对第一个帧进行载波扩展，紧接着发送后面的帧，这些帧毋需载波扩展



IFG (Inter Frame Gap) : 帧间隔



迟冲突不重发

- ❖ 发生在扩展位的冲突被认为是一次迟冲突，**IEEE 802.3z**规定发送方在检测到迟冲突之后不能进行重传



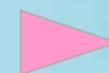
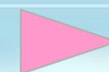
10G以太网

- ❖ **IEEE802.3ae**标准于**2002年6月**完成
- ❖ 帧格式与其他以太网相同
- ❖ 只使用光纤作为传输媒体



以太网

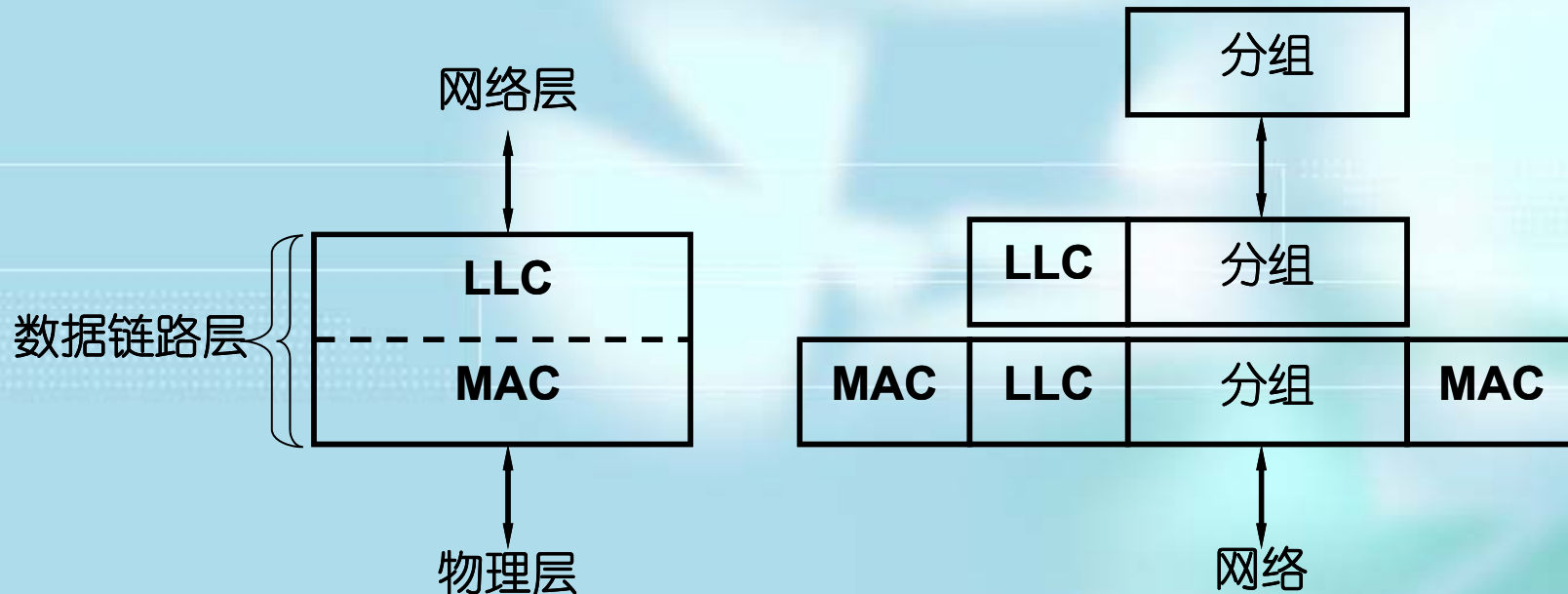
- ❖ 以太网概述
- ❖ 经典的以太网
- ❖ 以太网的扩展
- ❖ 快速以太网
- ❖ 千兆以太网
- ❖ **LLC**





IEEE802.2 LLC

❖ 逻辑链路控制**LLC**（**Logical Link Control**），
即 **IEEE 802.2**标准



Tnbm P291 Fig. 4-24 (a) LLC的位置 (b) 协议格式



LLC的作用

- ❖ 由于不同的网络类型有不同的介质访问子层与之对应，而逻辑链路控制子层**LLC**则掩盖了不同物理网络之间的差别，以统一的格式为网络层提供服务
- ❖ **LLC**子层把网络层的分组（在**TCP/IP**中即**IP**包）加上**LLC**头，交给**MAC**子层组成相应的**802.X**帧发送



第4章 介质访问子层

- ❖ 局域网概述
- ❖ 信道共享问题
- ❖ 多路访问协议
- ❖ 以太网
- ❖ 虚拟局域网
- ❖ 无线局域网





虚拟局域网VLAN

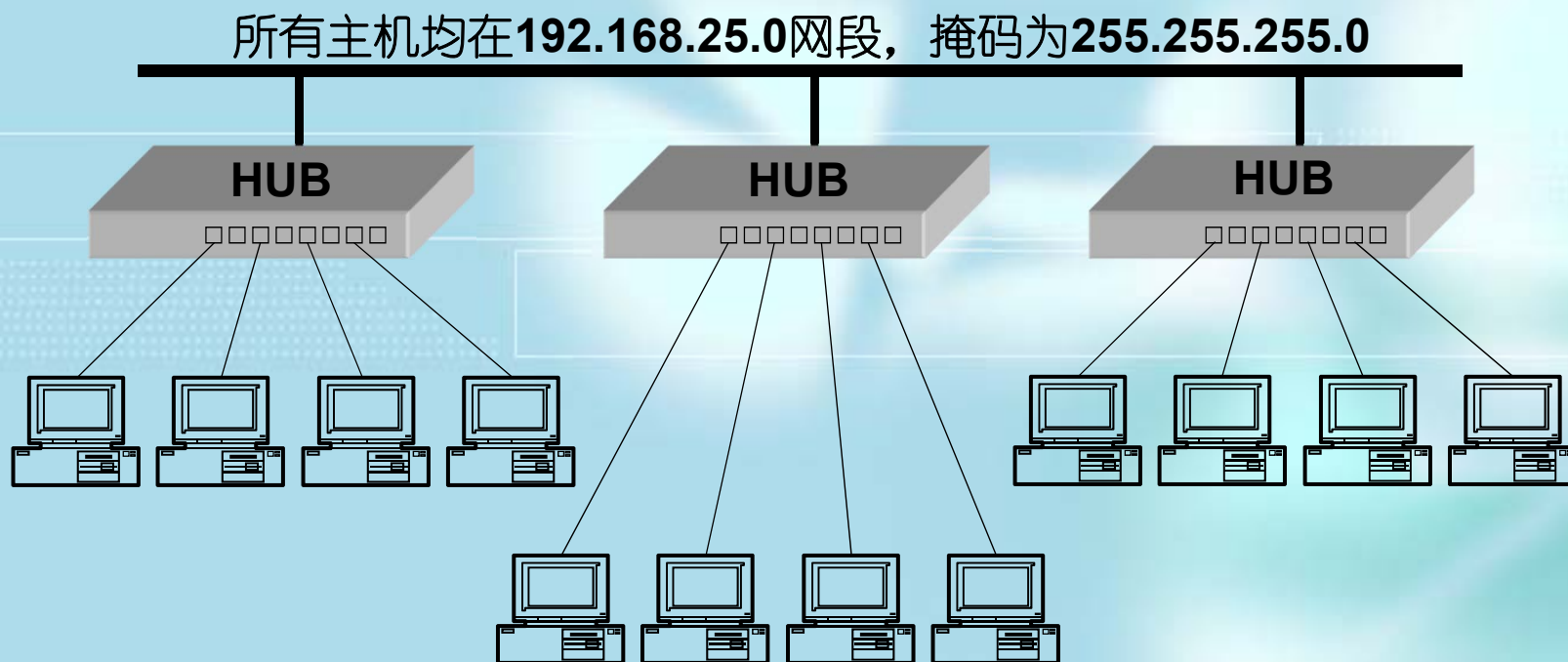
- ❖ 局域网的广播域
- ❖ 局域网的网段分隔
- ❖ 局域网的子网划分
- ❖ 虚拟局域网**VLAN**
- ❖ **IEEE 802.1Q** 标准





局域网的广播域

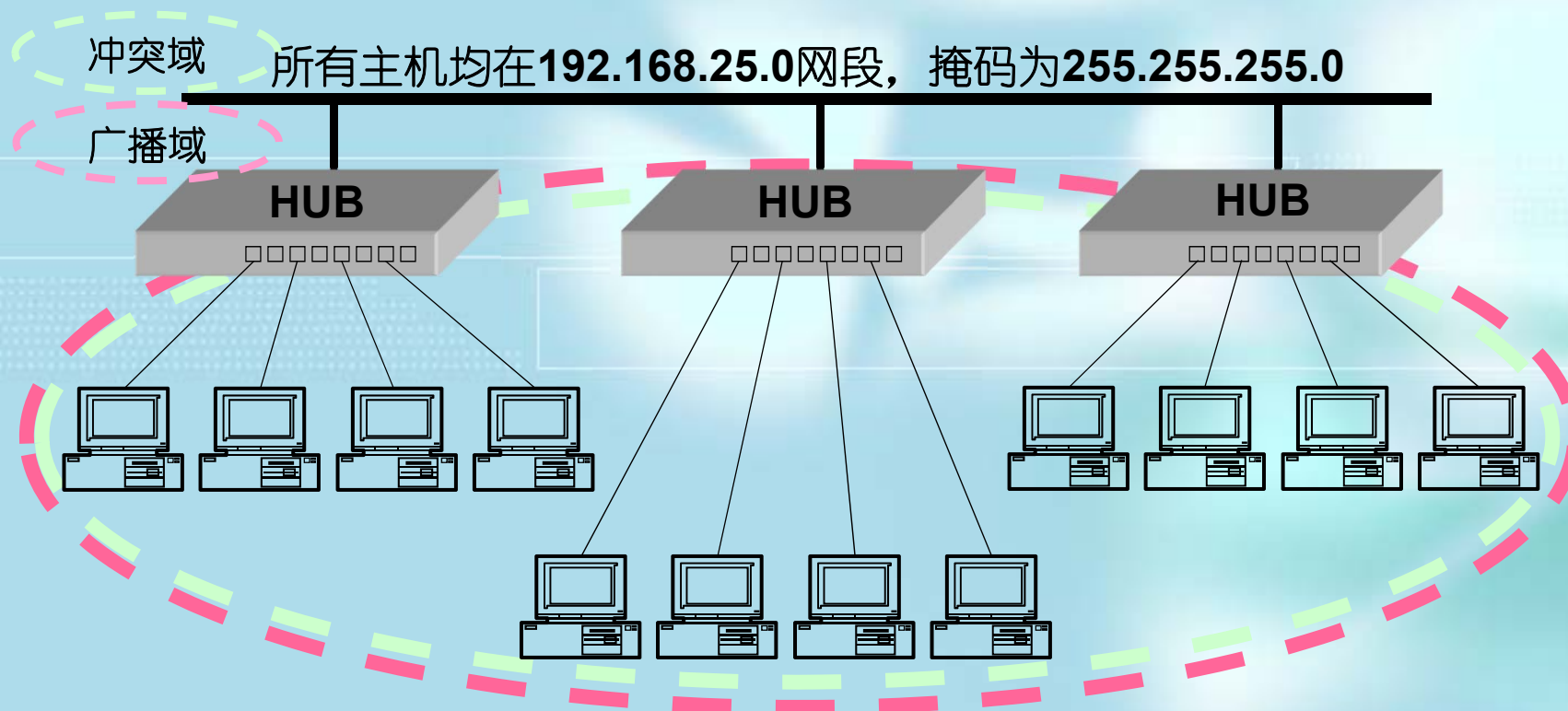
❖ 局域网的广播域





局域网的广播域（续）

❖ 局域网的广播域（共享域、冲突域）





虚拟局域网VLAN

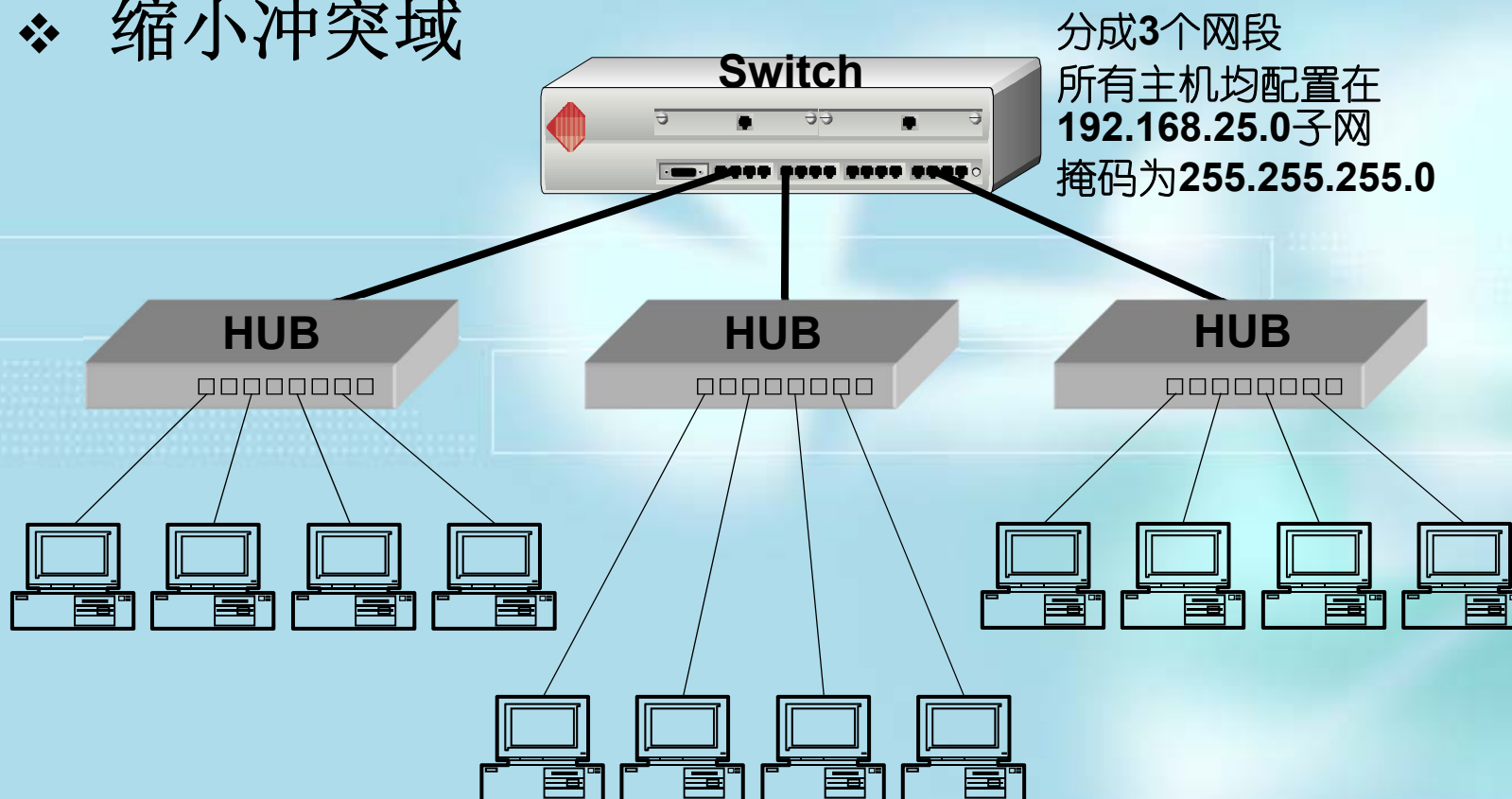
- ❖ 局域网的广播域
- ❖ 局域网的网段分隔
- ❖ 局域网的子网划分
- ❖ 虚拟局域网**VLAN**
- ❖ **IEEE 802.1Q** 标准





局域网的网段分隔

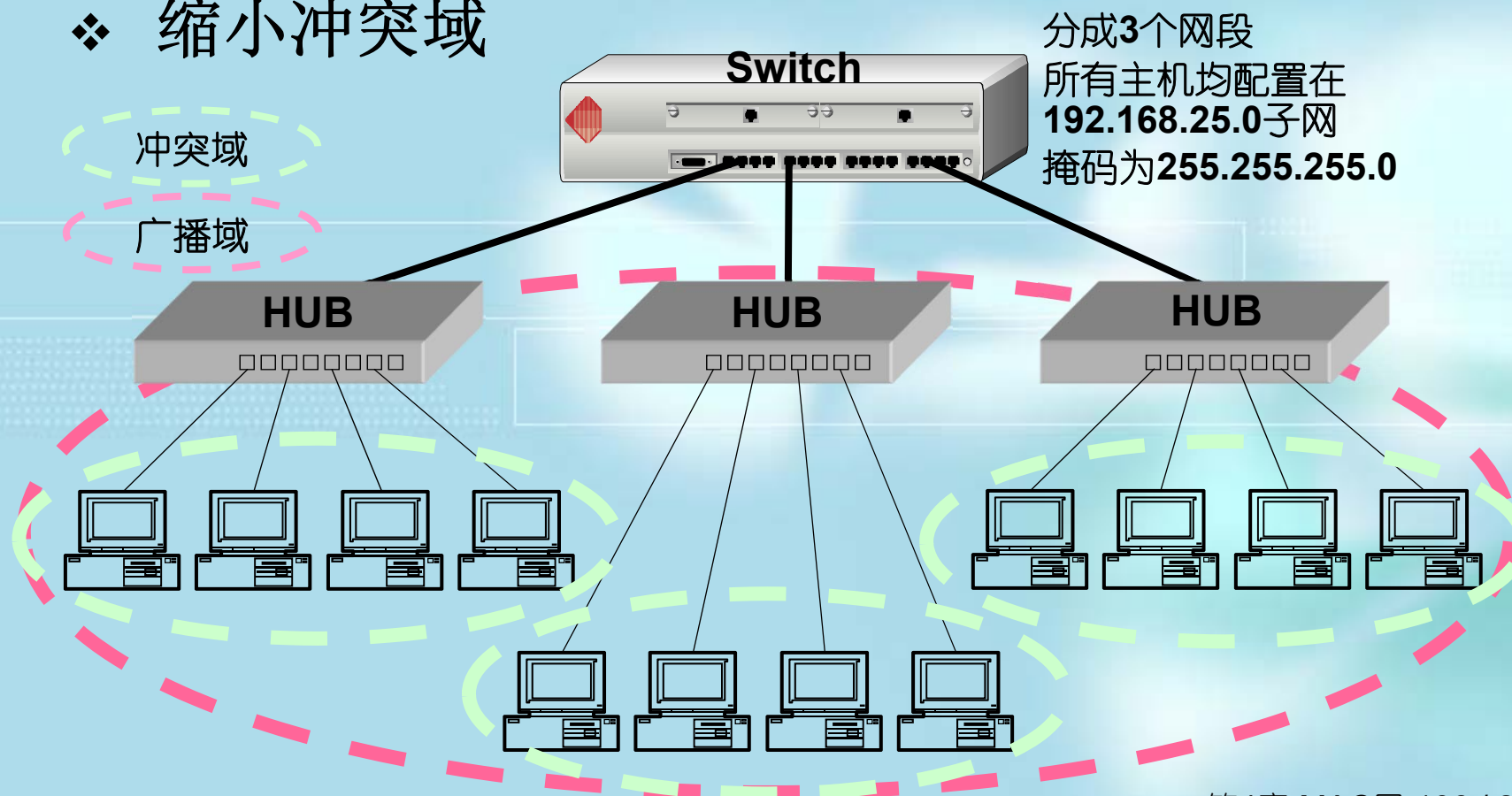
- ❖ 使用网桥和交换机来分隔网段
- ❖ 缩小冲突域





局域网的网段分隔 (续)

- ❖ 使用网桥和交换机来分隔网段
- ❖ 缩小冲突域





虚拟局域网VLAN

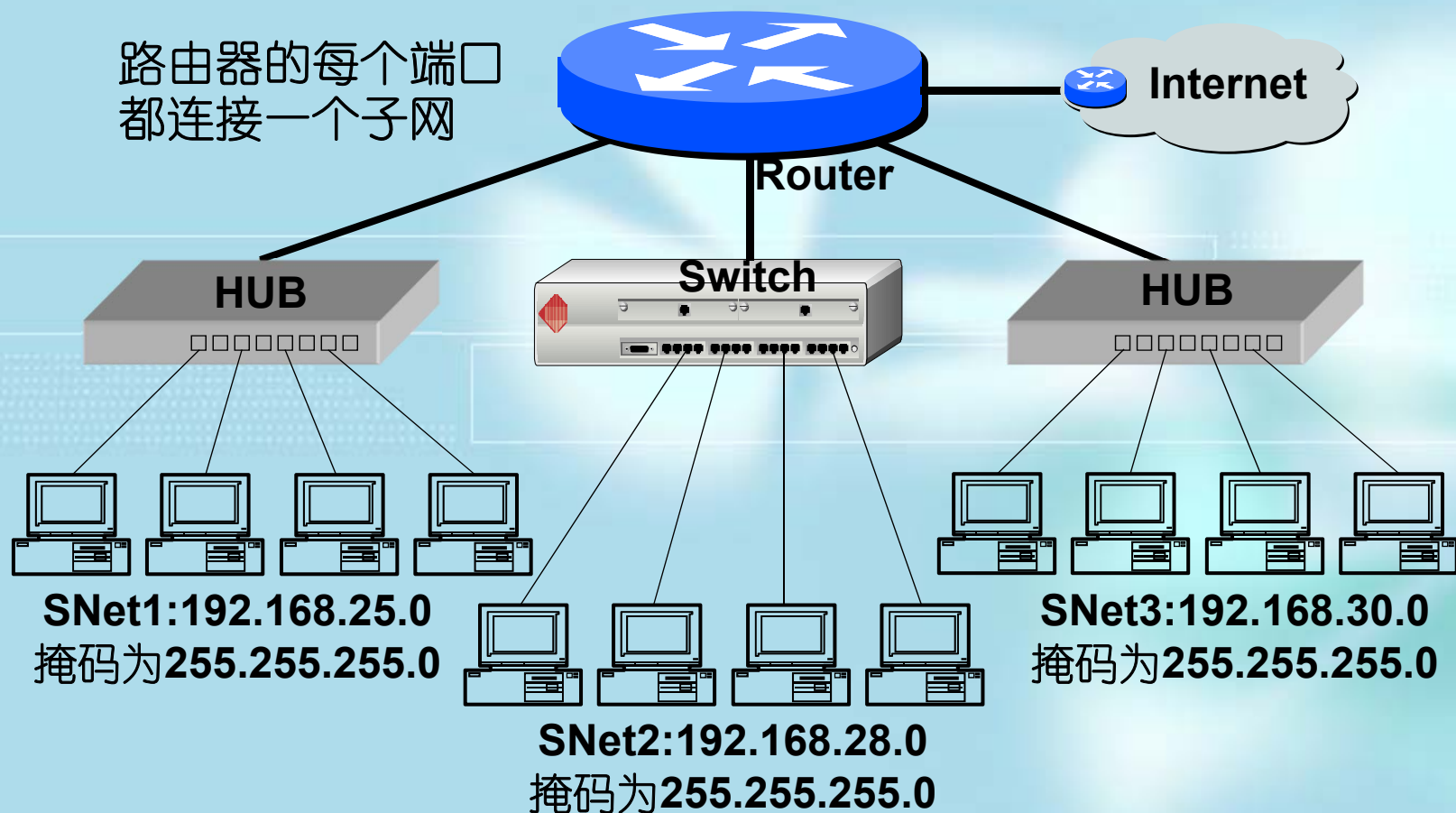
- ❖ 局域网的广播域
- ❖ 局域网的网段分隔
- ❖ 局域网的子网划分
- ❖ 虚拟局域网**VLAN**
- ❖ **IEEE 802.1Q** 标准





局域网的子网划分

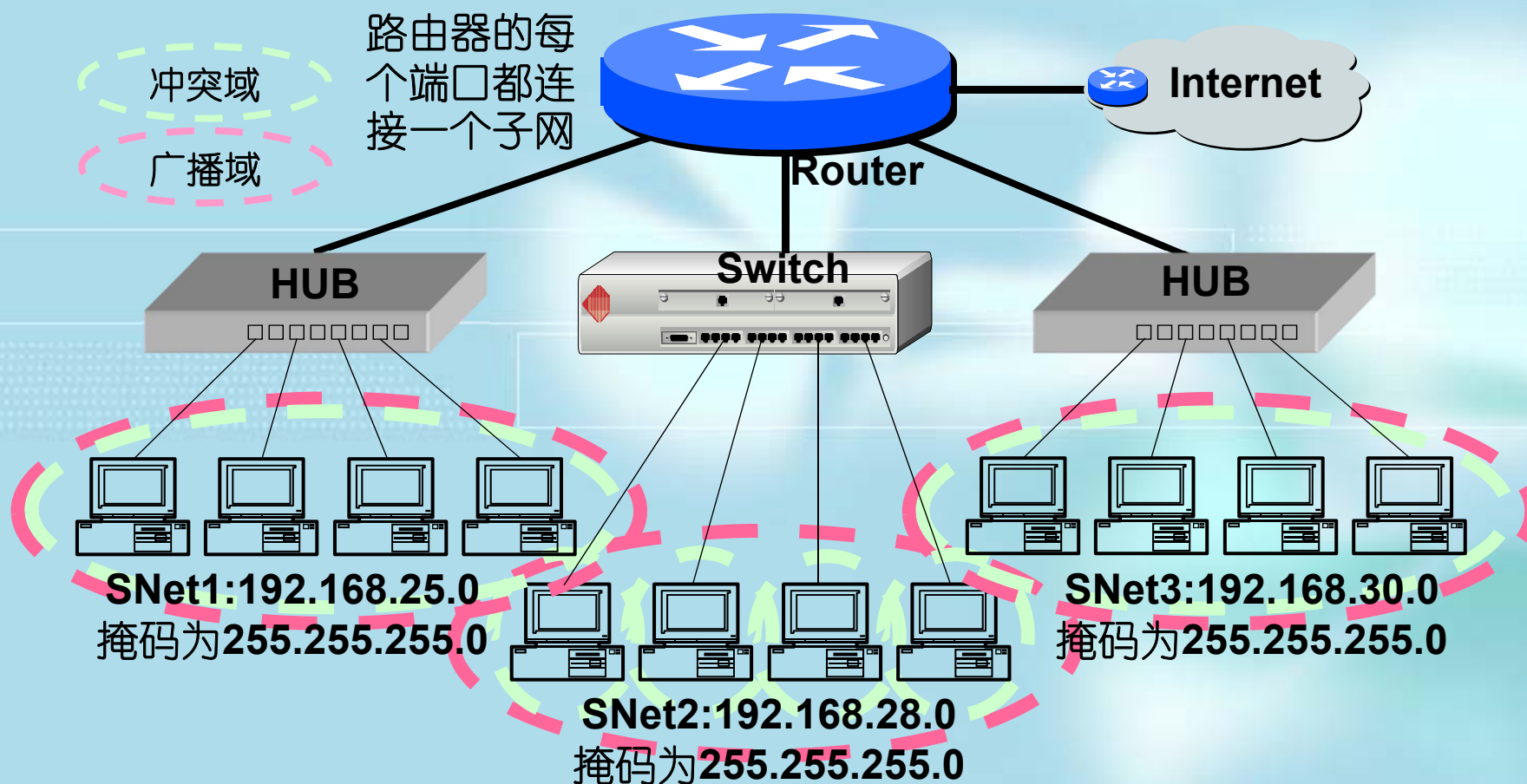
- ❖ 局域网中使用路由器来划分子网并与Internet连接





局域网的子网划分 (续)

- ❖ 局域网中使用路由器来划分子网并与Internet连接





网段和子网

❖ 网段（一个网段即一个冲突域）

- 将若干个网络（网段）通过交换机（网桥）连接，以增加网络内的主机数并扩大覆盖范围，交换机（网桥）的每个端口连接一个网段，网段是链路层概念
- 一个网段内的主机为一个冲突域，所有的主机是一个广播域，不同网段的主机间的通信则由交换机（网桥）负责转发或扩散

❖ 子网（一个子网即一个广播域）

- 将若干个网络（子网）通过路由器连接，以实现网络的互联并组成一个更大的网络，路由器的每个端口连接一个子网，子网是网络层概念
- 一个子网就是一个广播域，子网间的通信必须由路由器控制



虚拟局域网VLAN

- ❖ 局域网的广播域
- ❖ 局域网的网段分隔
- ❖ 局域网的子网划分
- ❖ 虚拟局域网**VLAN**
- ❖ **IEEE 802.1Q** 标准





虚拟局域网VLAN

VLAN是采用交换机技术，将原有网络分成若干个逻辑上的子网，逻辑子网也具有物理子网相同的网络性能，一个**VLAN**是一个广播域

- ❖ **VLAN**基于交换技术



- ❖ **VLAN**的划分



- ❖ **VLAN**的技术特点





VLAN基于交换技术

- ❖ **VLAN**技术属交换机的技术
- ❖ 交换机将维护一张交换表
- ❖ 交换表是交换端口的编号、**MAC**地址和所连接主机的**MAC**地址的关联表
- ❖ 交换表可以静态配置，也可以动态维护



虚拟局域网VLAN

VLAN是采用交换机技术，将原有网络分成若干个逻辑上的子网，逻辑子网也具有物理子网相同的网络性能，一个**VLAN**是一个广播域

- ❖ **VLAN**基于交换技术



- ❖ **VLAN**的划分



- ❖ **VLAN**的技术特点





VLAN的划分

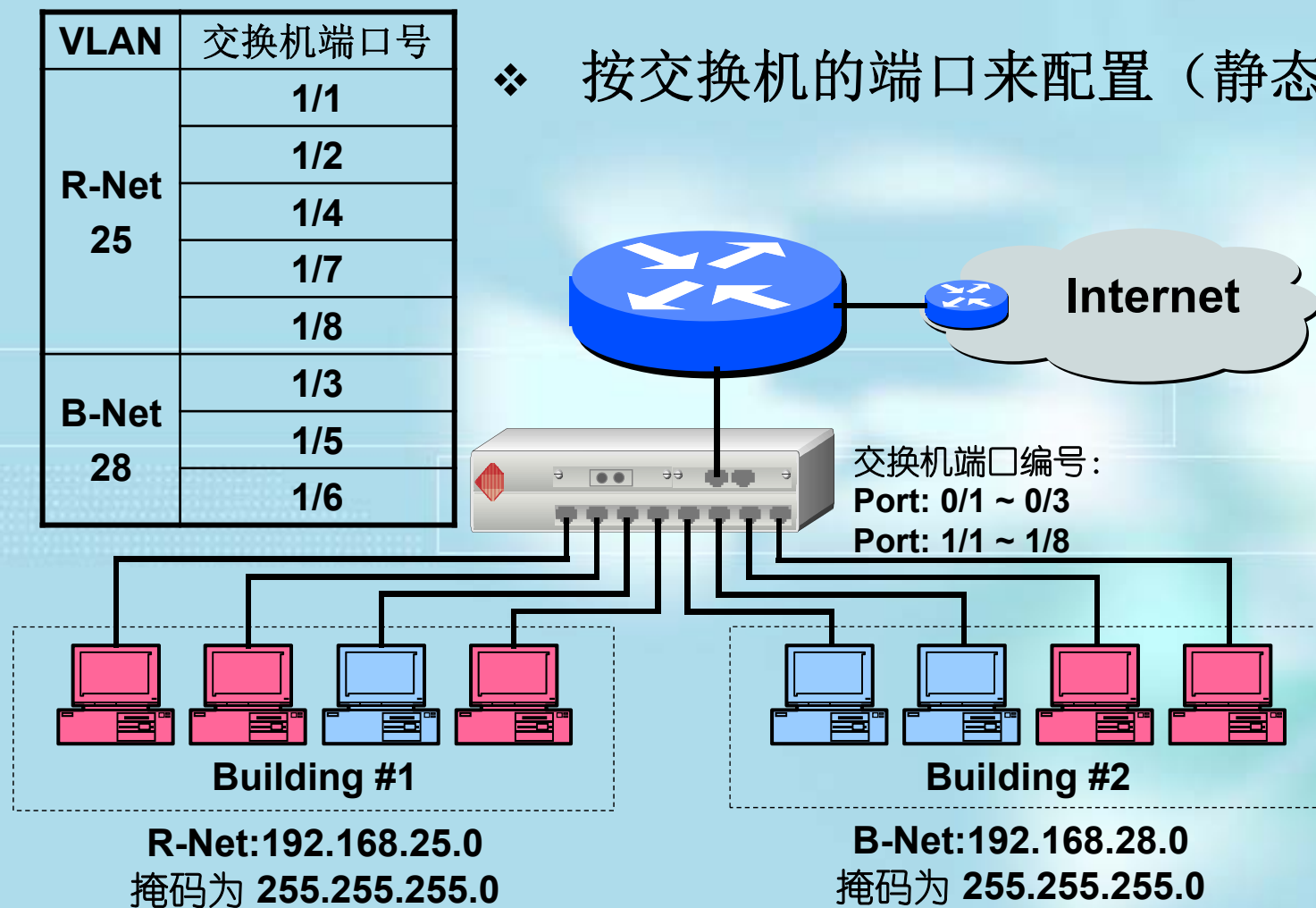
- ❖ 按端口划分
- ❖ 按主机的**MAC**地址划分
- ❖ 按主机的**IP**地址划分





按端口划分

❖ 按交换机的端口来配置（静态）





VLAN的划分

- ❖ 按端口划分
- ❖ 按主机的**MAC**地址划分
- ❖ 按主机的**IP**地址划分

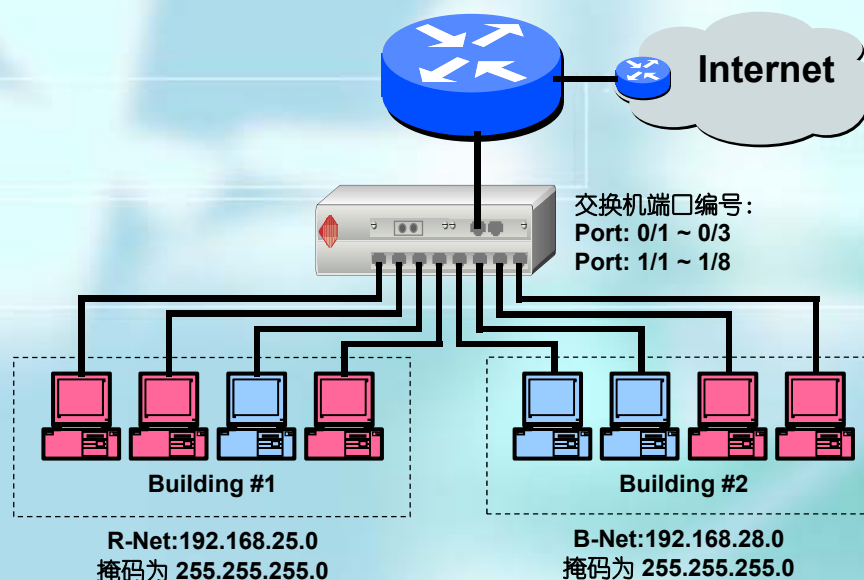




按MAC地址划分

- ❖ 按主机的**MAC**地址来配置（动态）
- ❖ 必须先为每个注册用户（**MAC**）划分**VLAN**

VLAN	主机的MAC
R-Net 25	121235415121
	238923483756
	304537848445
	546372896745
	424872064821
B-Net 28	246879015426
	987461200455
	357878840212





VLAN的划分

- ❖ 按端口划分
- ❖ 按主机的**MAC**地址划分
- ❖ 按主机的**IP**地址划分

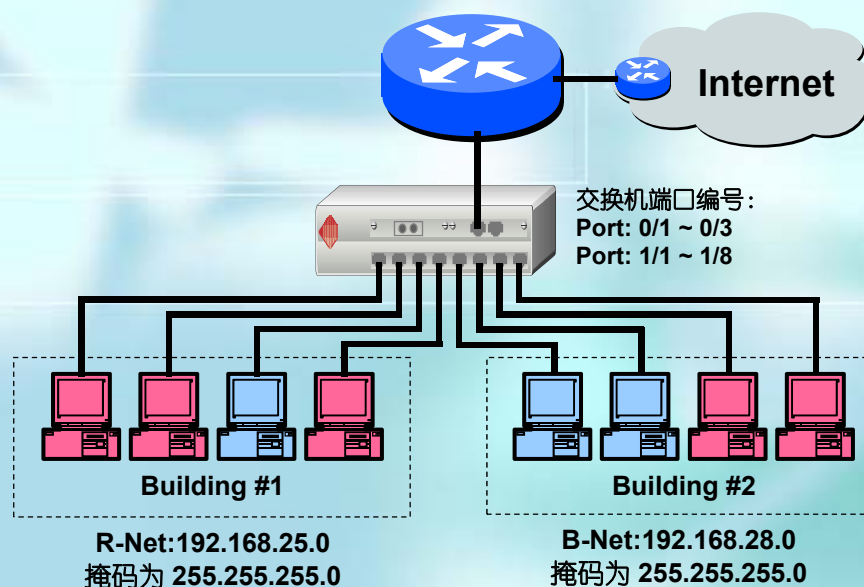




按主机的IP地址划分

- ❖ 按主机的**IP**地址来配置（动态）
- ❖ 必须先为每个注册用户（**IP**）划分**VLAN**

VLAN	主机的IP地址
R-Net 25	192.168.25.41
	192.168.25.42
	192.168.25.43
	192.168.25.44
	192.168.25.45
B-Net 28	192.168.28.65
	192.168.28.66
	192.168.28.67





虚拟局域网VLAN

VLAN是采用交换机技术，将原有网络分成若干个逻辑上的子网，逻辑子网也具有物理子网相同的网络性能，一个**VLAN**是一个广播域

- ❖ **VLAN**基于交换技术
- ❖ **VLAN**的划分
- ❖ **VLAN**的技术特点



VLAN的技术特点

- ❖ 提高网络的可管理性，便于建立虚拟工作组
 - 不同物理网络中的主机可定义在同一个**VLAN**内，同一物理网络内的主机也可定义在不同的**VLAN**中
- ❖ 提高网络的安全性
 - 不在一个**VLAN**中的主机，无法监听
- ❖ 有效地避免广播风暴，以提高信道利用率，并降低路由器的投资成本
 - 在一个物理网络（一个路由器端口连接的网络）内可划分多个逻辑子网
- ❖ 减少主机因网络逻辑拓扑改变而在物理上的移动



虚拟局域网VLAN

- ❖ 局域网的广播域
- ❖ 局域网的网段分隔
- ❖ 局域网的子网划分
- ❖ 虚拟局域网**VLAN**
- ❖ **IEEE 802.1Q** 标准





IEEE 802.1Q 标准

- ❖ 由于广播消息只在一个**VLAN**中传播，按理说发送的以太网帧中应该包含一个**VLAN**标记
- ❖ **IEEE 802.1Q** 标准就是解决这个问题



IEEE 802.1Q 标准

VLAN标准802.1Q于1998年公布

❖ 802.1Q必须解决的两个问题：

➤ VLAN必须有一个VLAN的field来标志

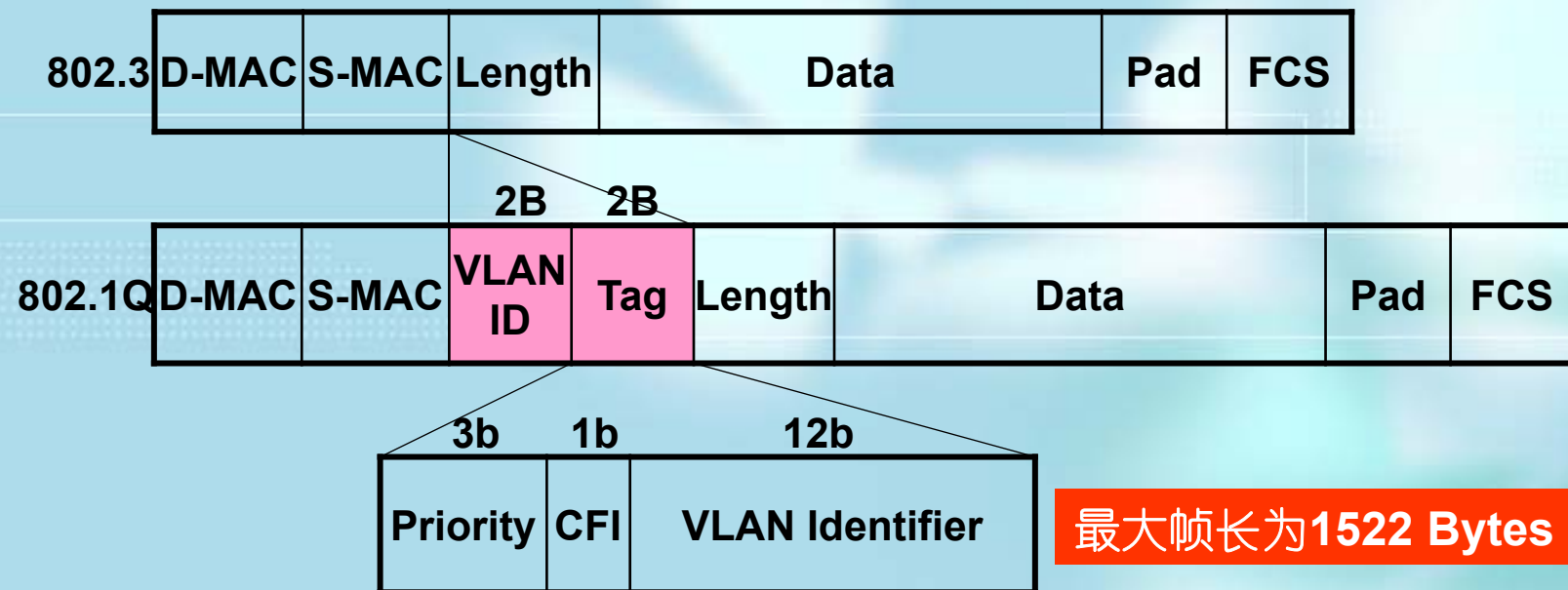
➤ 802.1Q必须与802.3标准相兼容

数据帧的成帧工作由数据链路层完成，即由网卡完成，但现有网卡不支持802.1Q



以太网中的VLAN标志域

❖ 802.1Q 的以太网帧格式



Tnbn P335 Fig. 4-51 802.3和802.1Q以太网帧格式



802.1Q 的以太网帧格式说明

- ❖ **VLAN-ID 16 bit**
 - VLAN协议标识，恒为0x8100
- ❖ **Priority 3 bit**
 - Priority，暂且保留
- ❖ **CFI 1 bit**
 - 标准格式标志位
- ❖ **VLAN Identifier 12 bit**
 - VLAN标识，VLAN编号



IEEE 802.1Q 标准

VLAN标准802.1Q在1998年公布

❖ 802.1Q必须解决的两个问题：

➤ VLAN必须有一个VLAN的field来标志

➤ 802.1Q必须与802.3标准相兼容

数据帧的成帧工作由数据链路层完成，即由网卡完成，但现有网卡不支持802.1Q



与802.3标准兼容

802.3的帧长为1518 Bytes

❖ 802.3协议包括:

- 802.3 10M bps的以太网协议
- 802.3u 100M bps的快速以太网协议
- 802.3z 1000M bps的千兆以太网协议

❖ 千兆以太网的网卡已支持VLAN

- 可识别和生成帧长为1522 Bytes的帧



传统帧格式与VLAN兼容

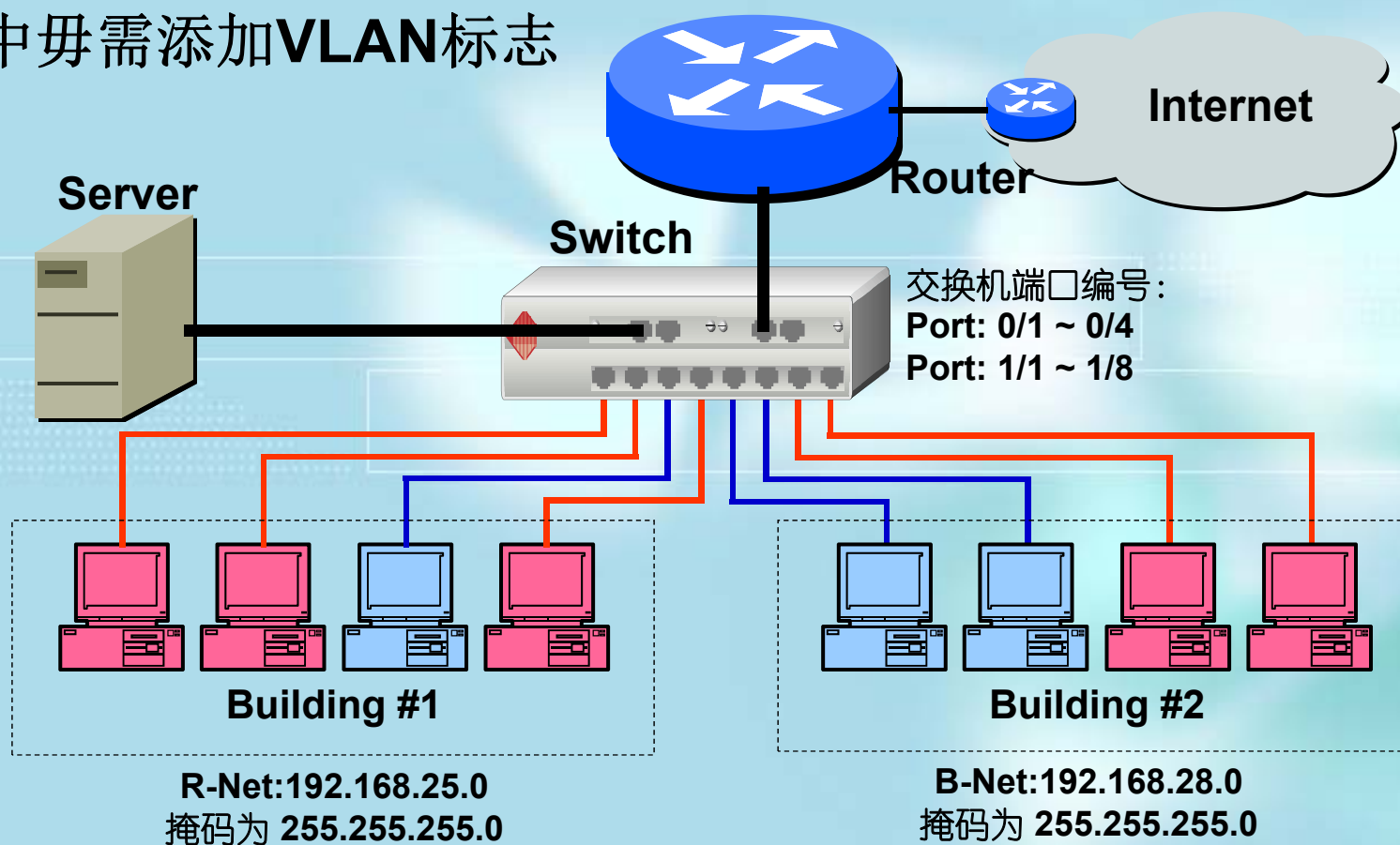
对**VLAN** 敏感 (**aware**) 的和不敏感的
交换机必须允许混合使用

- ❖ **VLAN**标志是供交换机（网桥）来识别该帧的源站点主机属哪个**VLAN**
- ❖ 目前使用的网卡基本都对**VLAN**不敏感，即不允许帧长超过**1518 Bytes**：既不能识别或也不能生成**VLAN**标志
- ❖ 如一个**VLAN**涉及多台交换机，则在帧的传输中，第一台**VLAN**敏感的交换机负责在帧格式中添加**VLAN**标志，并由最后一台交换机删除**VLAN**标志



VLAN的标志

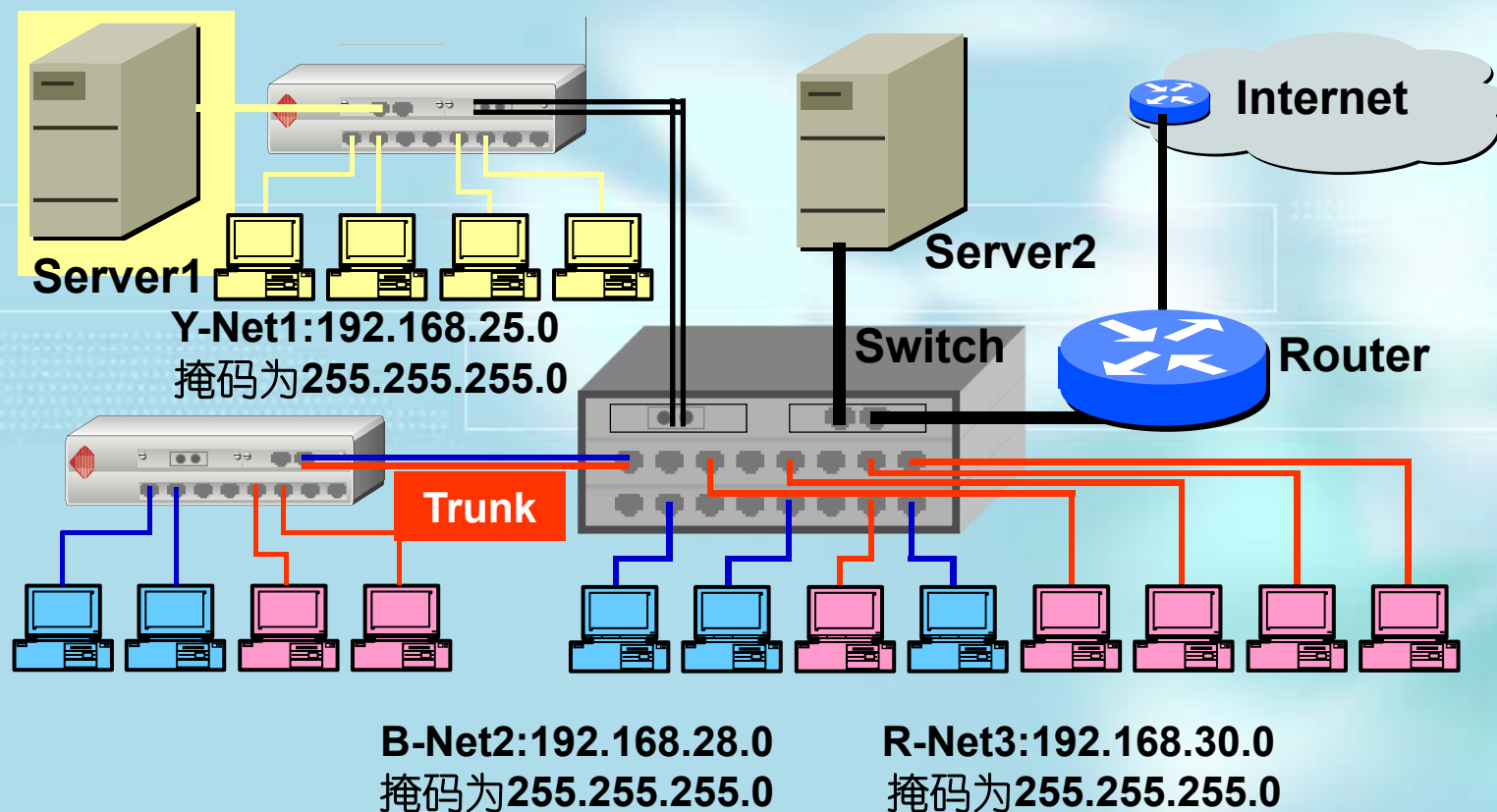
- ❖ 各主机所属**VLAN**由交换机识别，送给主机的帧格式中毋需添加**VLAN**标志





VLAN的标志 (续)

- ❖ 两台交换机间要传输VLAN信息，帧格式中必须包含VLAN标志，这就是Trunk功能





介绍两种常用的交换机

❖ CISCO公司的Catalyst 6500



- **Catalyst 6500**通常作为主干网交换机用，有两种机型，6模块扩充槽的**6506**和9模块扩充槽的**6509**

❖ CISCO公司的Catalyst 2924



- **Catalyst 2924**通常作为中、大型网络的部门级交换机或中、小型网络的主干网交换机用



Catalyst 6500主要特性

- ❖ 最多可支持**384**个**10/100M**以太网或**192**个**100 Base-FX**快速以太网或**130**个千兆以太网端口
- ❖ 具有多层交换功能，速率可扩充达**150 Mpps**
- ❖ 端口密度：**8**端口千兆以太网/模块
- ❖ **24**端口**100FX**以太网/模块
- ❖ **48**端口**10/100TX**以太网/模块
- ❖ 背板速率可扩充到**256 Gpps**
- ❖ 可划虚网数**1000**



介绍两种常用的交换机

❖ CISCO公司的Catalyst 6500



- **Catalyst 6500**通常作为主干网交换机用，有两种机型，6模块扩充槽的**6506**和9模块扩充槽的**6509**

❖ CISCO公司的Catalyst 2924



- **Catalyst 2924**通常作为中、大型网络的部门级交换机或中、小型网络的主干网交换机用



Catalyst 2924主要特性

- ❖ 最大**1.6G bps**的发送带宽
- ❖ 所有端口共享**4MB**存储器
- ❖ **10M**和**100M**端口的吞吐率分别为**14,880 pps**和**148,800 pps**
- ❖ 可划虚网数**64**
- ❖ **2048**个**MAC**地址

共有**24**个**10/100M**自适应端口，扩充模块通常用于上连（**Uplink**）服务器或主干网交换机

可选：**2/4**个**100Base-FX**端口

1个**1000Base-X**以太网端口

1个**155M ATM**端口等



第4章 介质访问子层

- ❖ 局域网概述
- ❖ 信道共享问题
- ❖ 多路访问协议
- ❖ 以太网
- ❖ 虚拟局域网
- ❖ 无线局域网





无线网

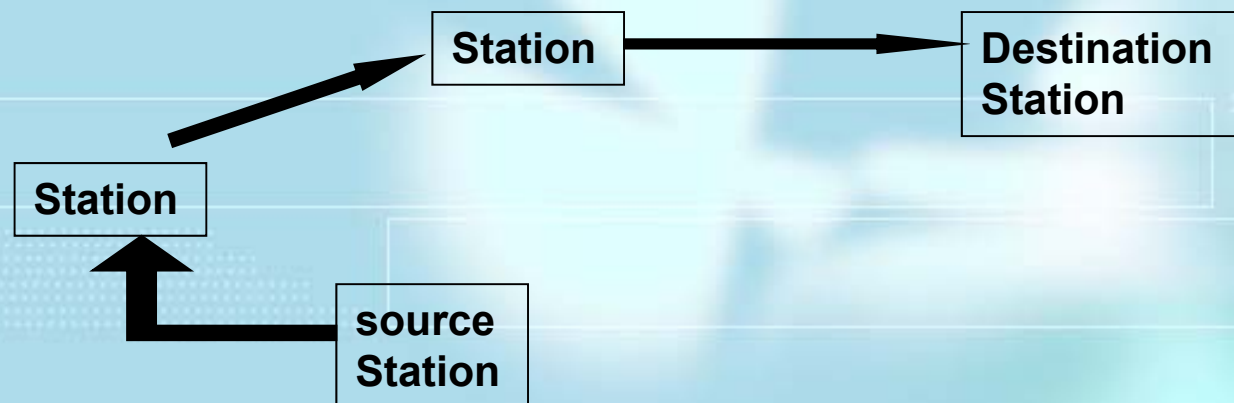
- ❖ 无线网的组成
- ❖ **WiFi: 无线LAN**
- ❖ 其他的无线网
- ❖ 蜂窝因特网接入





无线网的组成

- ❖ **Ad-Hoc 模式**：所有的移动站之间互相平等，每个节点既是主机又是路由器



- ❖ **WiFi**（无线局域网）：通过移动接入点接入网络
- ❖ 蜂窝因特网的接入：通过移动电话网上网



无线网

- ❖ 无线网的组成
- ❖ **WiFi: 无线LAN**
- ❖ 其他的无线网
- ❖ 蜂窝因特网接入





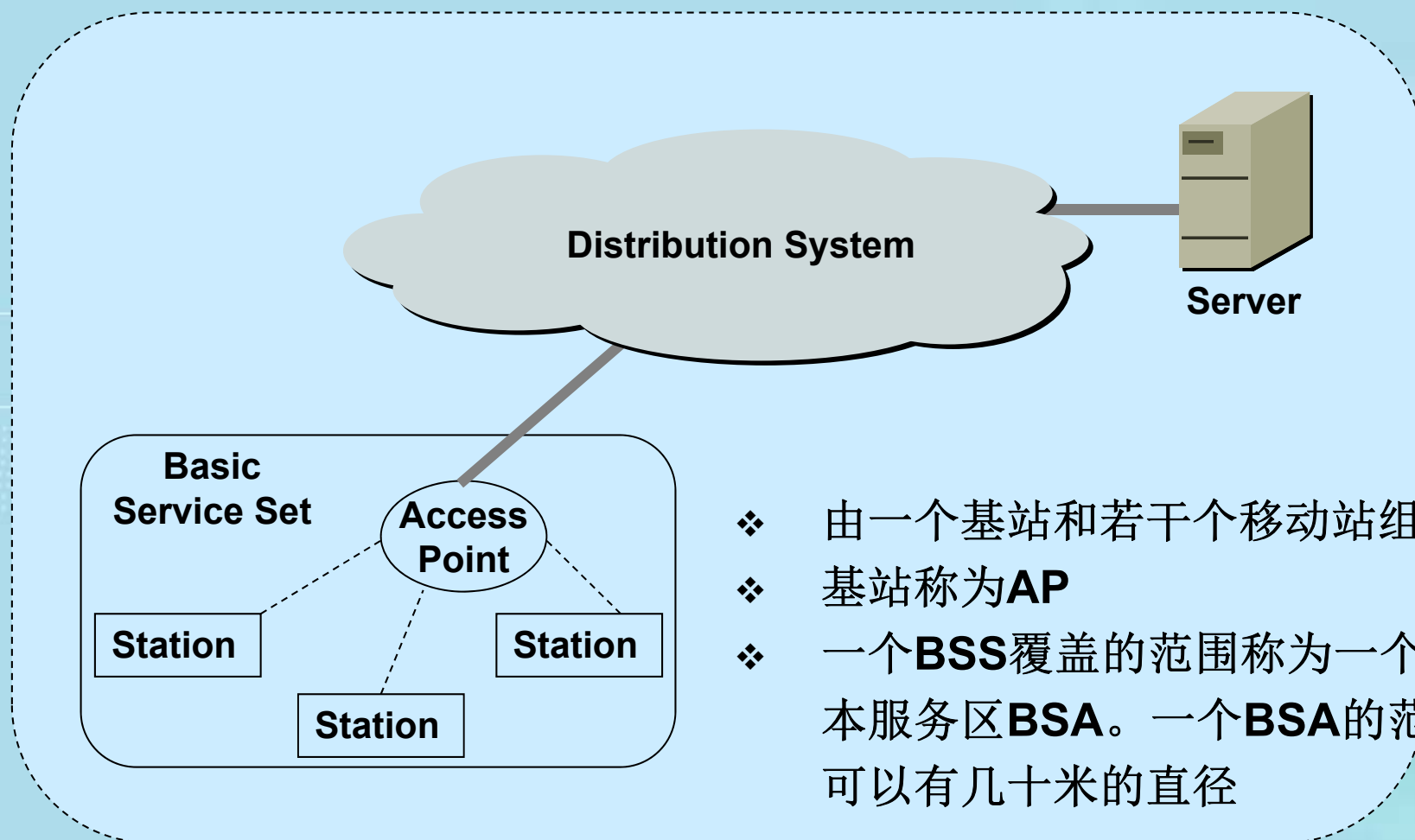
WiFi: 无线LAN

- ❖ 无线局域网的组成
- ❖ 802.11物理层
- ❖ 802.11MAC子层协议





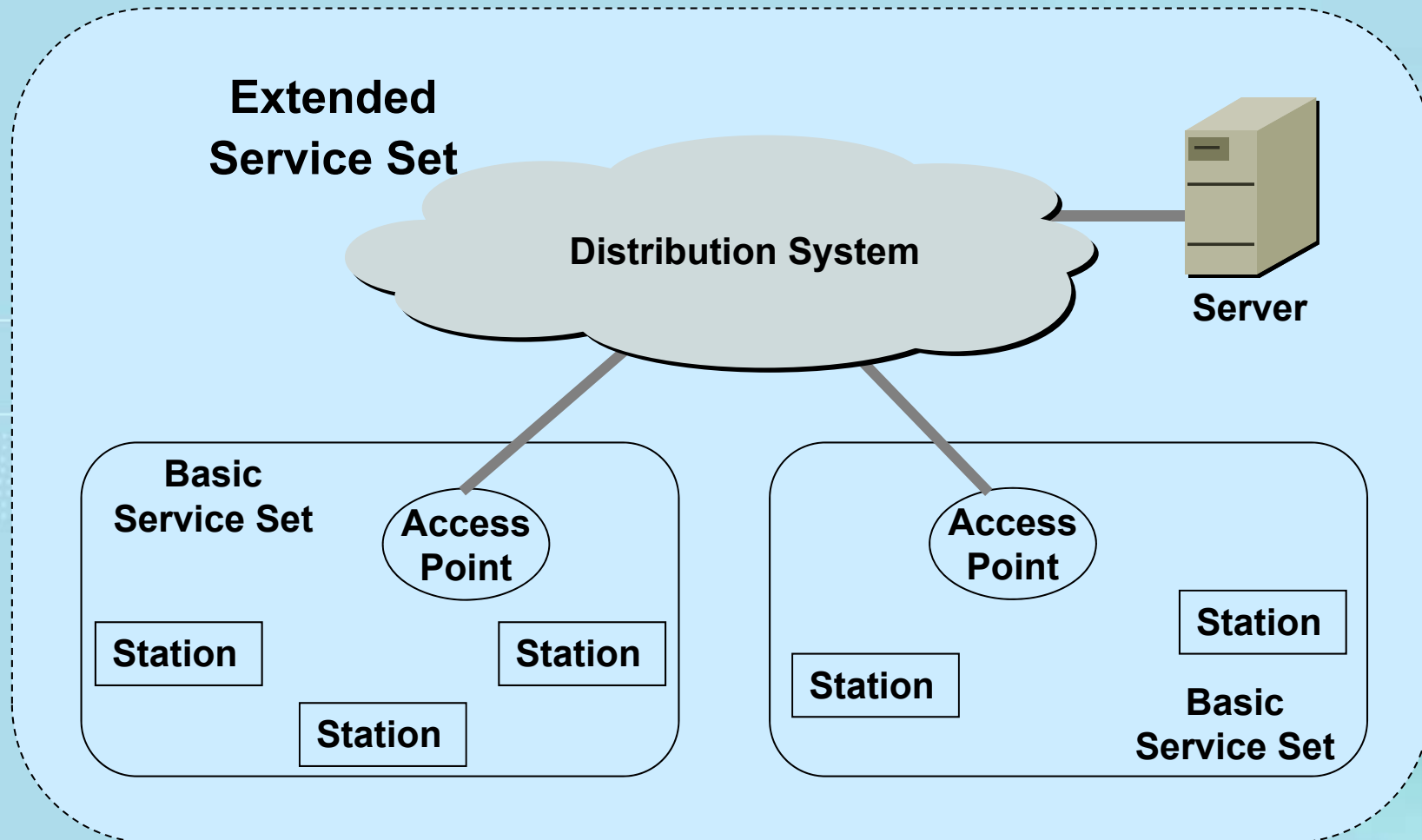
基本服务集BSS



- ❖ 由一个基站和若干个移动站组成
- ❖ 基站称为**AP**
- ❖ 一个**BSS**覆盖的范围称为一个基本服务区**BSA**。一个**BSA**的范围可以有几十米的直径



扩展服务集ESS





扩展服务集合ESS

- ❖ **ESS: Extended Service Set** 扩展服务集合
- ❖ 由多个**BSS**通过一个分布式系统**DS** (**Distribution System**) 互联而成, 就像一个逻辑上的局域网
- ❖ 一般来说, **DS**是一个有线主干局域网, 通常表现为以太网
- ❖ **BSS**之间的通信将通过**DS**实现, **BSS**在**LLC**子层上相统一, 至此, 一个移动主机可以漫游在不同的**BSS**之间



WiFi: 无线LAN

- ❖ 无线局域网的组成
- ❖ 802.11物理层
- ❖ 802.11MAC子层协议





802.11标准中的物理层

标准	频率范围	数据率
802.11b	2.4 – 2.485GHz	最高为11Mbps
802.11a	5.1 – 5.8GHZ	最高为54Mbps
802.11g	2.4 – 2.485GHZ	最高为54Mbps



AP的设置

- ❖ 安装**AP**时，管理员为**AP**分配一个服务集标识符**SSID**，以及一个信道号
- ❖ 通过这个**AP**接入的移动站点用这个信道与**AP**通信
- ❖ 物理层标准中的每个频率范围都被分成若干个有部分重叠的信道，当且仅当两个**AP**的信道频率完全不重复时，两个**AP**可以工作在同一区域



移动站点的接入

❖ 被动扫描

- 每个**AP**周期性地发送信标帧，包含**AP**的**SSID**和**MAC**地址
- 站点接入时，扫描工作频段中的所有信道，接收可能位于该区域的**AP**发出的信标帧
- 选择一个**AP**

❖ 主动扫描

- 主机广播探测帧
- **AP**回答一个响应帧
- 主机选择一个**AP**



无线局域网

- ❖ 无线局域网的组成
- ❖ **802.11物理层**
- ❖ **802.11MAC子层协议**





802.11MAC子层协议

- ❖ 所有与某个**AP**关联的移动主机都通过管理员分配给**AP**的一个信道通信
- ❖ 如何让多个移动主机共享一条信道？答案是多路访问协议



802.11的MAC层协议栈

无争用服务

点协调功能PCF
Point coordination function



MAC
Sublayer

争用服务

分布协调功能DCF
CSMA/CA



802.11
Infrared

802.11
FHSS

802.11
DSSS

802.11a
OFDM

802.11b
HR-DSSS

802.11g
OFDM

Physical
Layer



分布式协调功能

- ❖ **DCF**模型中每个站点都是相互独立的，没有主从关系，如同在**Ethernet**中一样，必须通过竞争获得信道
 - ❖ **DCF**采用**CSMA/CA**，即带冲突避让的载波多路侦听
- CSMA/CA: CSMA with Collision Avoidance**
- ❖ 由于无线信道误码率较高，**802.11**采用确认/重新换机制



为什么不使用CSMA/CD

- ❖ **CSMA/CD**要求每个站点在发送数据的同时还必须不间断地检测信道，而在无线局域网的设备中要实现这个功能花费过大
- ❖ 即使发送端能够实现碰撞检测，在接收端仍可能发生碰撞



信号发送半径

每个移动主机的发射功率有限，其发出的信号只能使一定半径范围内的主机能够检测到，从而存在两种错误的判断

❖ 信号发送半径引起的错误判断 1



❖ 信号发送半径引起的错误判断 2



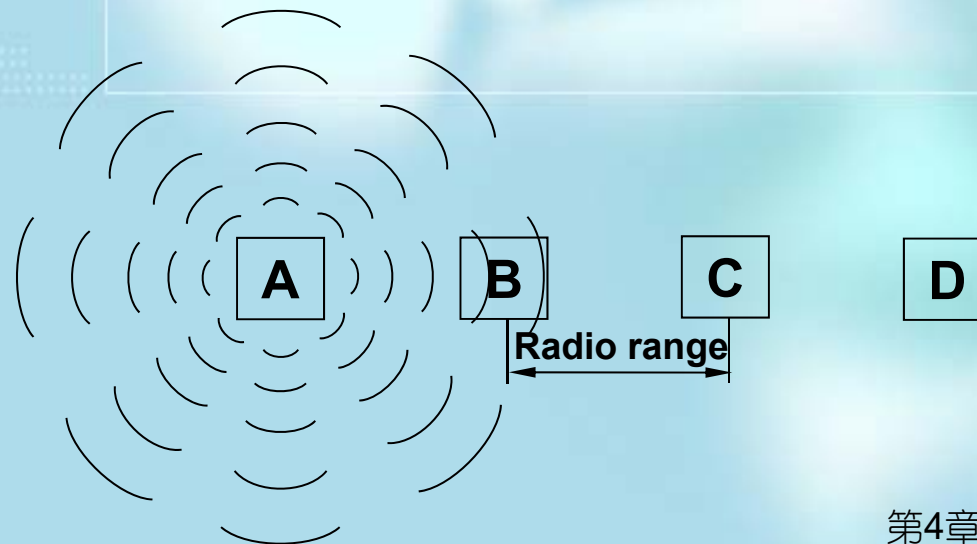


信号发送半径引起的错误判断 1

A、C同时发数据给B

- ❖ **A**发送报文给**B**，但因**C**在**A**的信号范围之外，**C**没有察觉**A**的发射信号，如果**C**同时也发报文给**B**，则会干扰**B**对**A**信号的接收。这个问题称为隐藏站点的问题。

(Tnbnm P268 Fig. 4-11a)





信号发送半径

每个移动主机的发射功率有限，其发出的信号只能使一定半径范围内的机器能够检测到，从而存在两种错误的判断

❖ 信号发送半径引起的错误判断 1



❖ 信号发送半径引起的错误判断 2

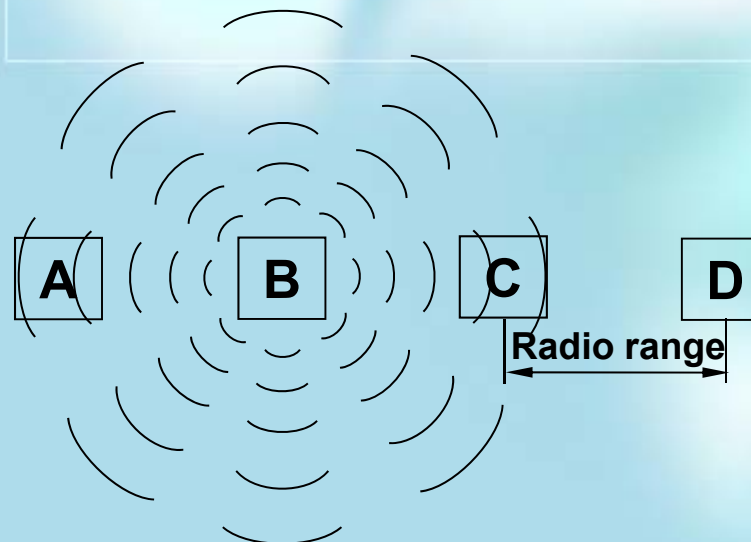




信号发送半径引起的错误判断 2

B向A发数据影响C向D发数据

- ❖ 如果**B**正发送报文给**A**，**C**也暴露在**B**的发送信号范围之内，如果此时**C**希望发送报文给**D**，但由于**C**检测到信道上有信号，就不会发送，其实，此时**C**发报文给**D**应该是没有问题的。这个问题称为暴露站的问题（Tnbm P268 Fig. 4-11b）





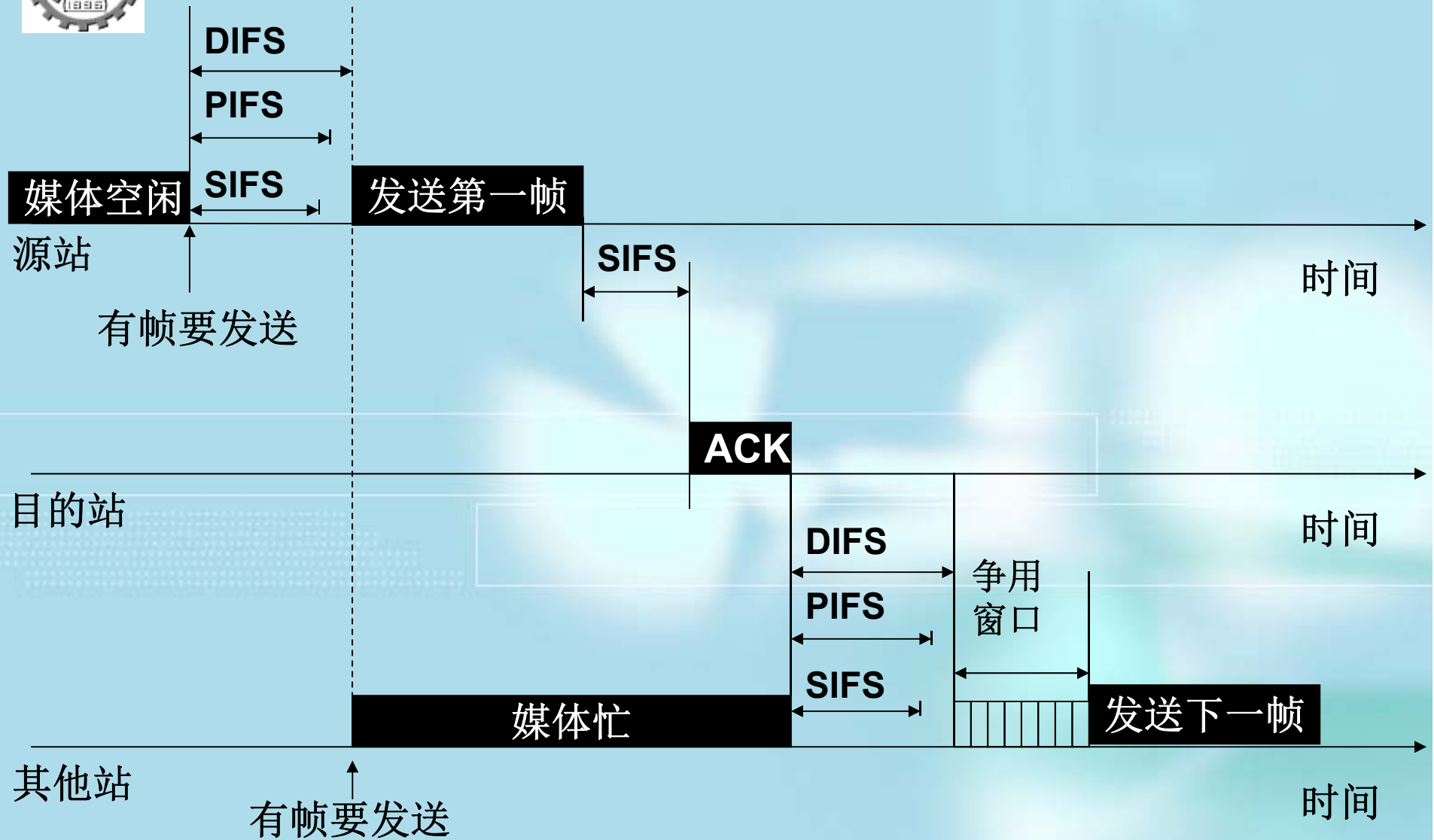
CSMA/CA

- ❖ 报文发送之前侦听信道
 - 如果忙，用二进制指数后退选择一个值，继续侦听。当听到信道为空时，开始发送
 - 不忙，则发送
- ❖ 发送前，先等待一个很短的称为帧间间隔的时间，再等待二进制指数后退选择的时间，然后才发送
- ❖ 发送后不检测冲突。数据是否发送成功是由**ACK**报文完成。如发送方没有收到**ACK**，就认为报文丢失了，并采用二进制指数后退算法
- ❖ 与以太网不一样的是第*i*次后退是从 2^{2+i} 个时隙中选取一个



CA的体现

- ❖ 任何站在发送下一帧前必须等待一段很短的时间，这段时间称为帧间间隔 **IFS(InterFrame Space)**。
- ❖ 当信道从忙转为空闲时，任何站在发送数据前，都要采用二进制后退算法减少发生冲突的概率。





帧间间隔IFS

- ❖ 无线局域网定义了几种不同的帧间间隔
- ❖ 高优先级的帧间隔时间短，低优先级的帧间隔时间长
- ❖ 当有多个站点同时发送数据时，保证高优先级的能先发送



帧间间隔IFS

- ❖ **SIFS**: 短帧间间隔，长度为**28 μ s**，用来分隔一次对话的各帧。使用**SIFS**的帧类型有**ACK**、**CTS**、**RTS**和长的帧分片后的数据帧以及所有回答**AP**探寻的帧和在**PCF**方式下**AP**发出的任何帧
- ❖ **PIFS**: 比**SIFS**长。为了在开始使用**PCF**方式时优先获得接入到媒体中。它的长度是**SIFS**加一个时隙，为**78 μ s**。
- ❖ **DIFS**: 最长的**IFS**。用在**DCF**方式中发送数据帧和管理帧。长度为**PIFS**加一个时隙，为**128 μ s**



DCF的其他功能

- ❖ 预约机制
- ❖ 虚拟载波侦听



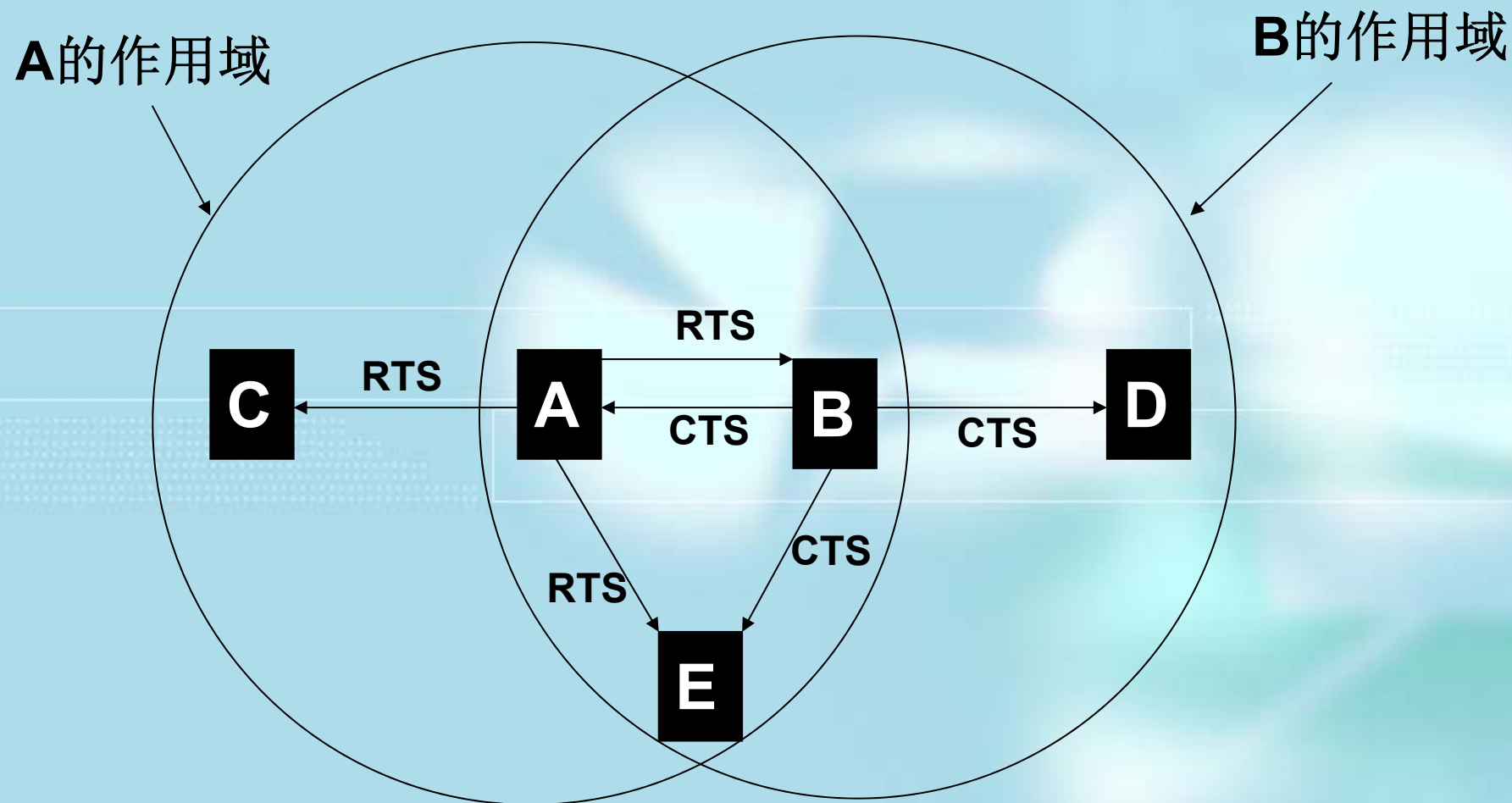


对信道进行预约

- ❖ 用于处理隐蔽站点问题
- ❖ 为了保证长帧的正确传输，可以在传输前先预约信道，告诉其他站点不得发送数据，以防止长帧在传输过程中发生碰撞
- ❖ 源站**A**在发送数据前先发送一个控制帧**RTS**（请求发送），它包括源地址、目的地址和所需时间。若信道空闲，目的站**B**发回一个控制帧**CTS**（允许发送）。**A**收到**CTS**后就可开始发送数据帧。



其他站点的反应





其他站点的反应

- ❖ **C**能收到**RTS**但收不到**CTS**，因此在**A**、**B**通信期间，**C**不可以和其他站点通信，
- ❖ **D**收到**CTS**，因此**D**知道**B**将和**A**通信，在这段时间内，**D**不能发送数据
- ❖ **E**既能收到**RTS**又能收到**CTS**，因此在**A**、**B**通信期间，**E**不能和其他站点通信

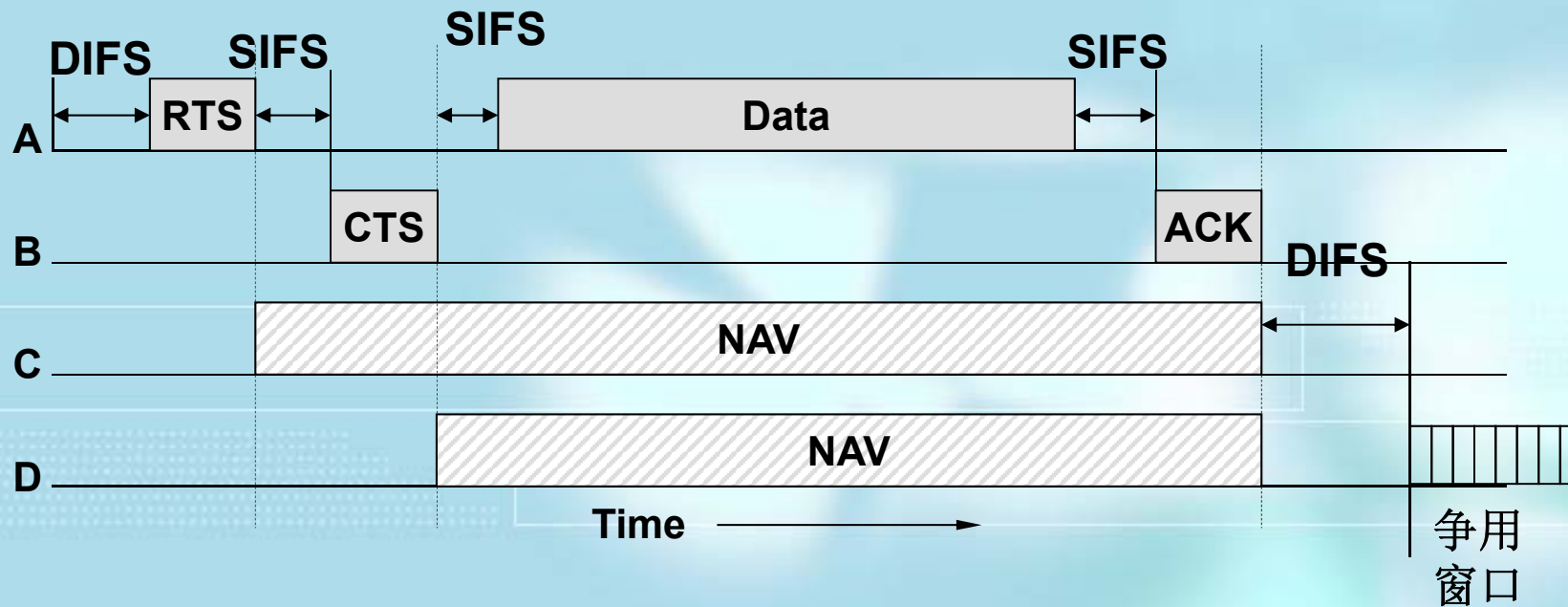


碰撞的解决

- ❖ 当**B**、**C**同时向**A**发**RTS**时，将会发生碰撞
- ❖ 碰撞后将会采用二进制后退算法解决



P C F 的实现过程



Tnbm P297 Fig.4-27 使用CSMA/CA的虚拟信道侦听



DCF的其他功能

- ❖ 预约机制
- ❖ 虚拟载波侦听





虚拟载波侦听

- ❖ **802.11**的帧头中有一个字段是持续时间，表示当前帧所需发送的时间
- ❖ 正在侦听的这些站只要看到这个字段就知道信道忙的时间（包括发送确认的时间），使他们在这一段时间都停止发送
- ❖ 实现方式：源站将所需时间填入**MAC**帧的“持续时间”字段中，其他站根据该字段值调整自己的网络分配向量**NAV**。**NAV**指出需要多少时间才能使信道转为空闲



802.11的MAC层协议栈

无争用服务

点协调功能PCF
Point coordination function



MAC
Sublayer

争用服务

分布协调功能DCF
CSMA/CA



802.11
Infrared

802.11
FHSS

802.11
DSSS

802.11a
OFDM

802.11b
HR-DSSS

802.11g
OFDM

Physical
Layer



PCF

- ❖ 接入点对基本服务组内的站点实施控制，
以确保传输不会相互干扰
- ❖ 例如，接入点可以为每个站点分配一个
独立的频率或由**AP**轮询各站点



无线网

- ❖ 无线网的组成
- ❖ **WiFi: 无线LAN**
- ❖ 其他的无线网
- ❖ 蜂窝因特网接入





其他的无线网

- ❖ 蓝牙（**802.15.1**）：短距离、低功率、低速率，通常用于替代电缆。用于互联笔记本、**PDA**、移动电话、外围设备等。
- ❖ **WiMAX（802.16）**：无线广域的接入



无线网

- ❖ 无线网的组成
- ❖ **WiFi: 无线LAN**
- ❖ 其他的无线网
- ❖ 蜂窝因特网接入





蜂窝因特网接入

利用移动电话网接入因特网

❖ 蜂窝网体系结构

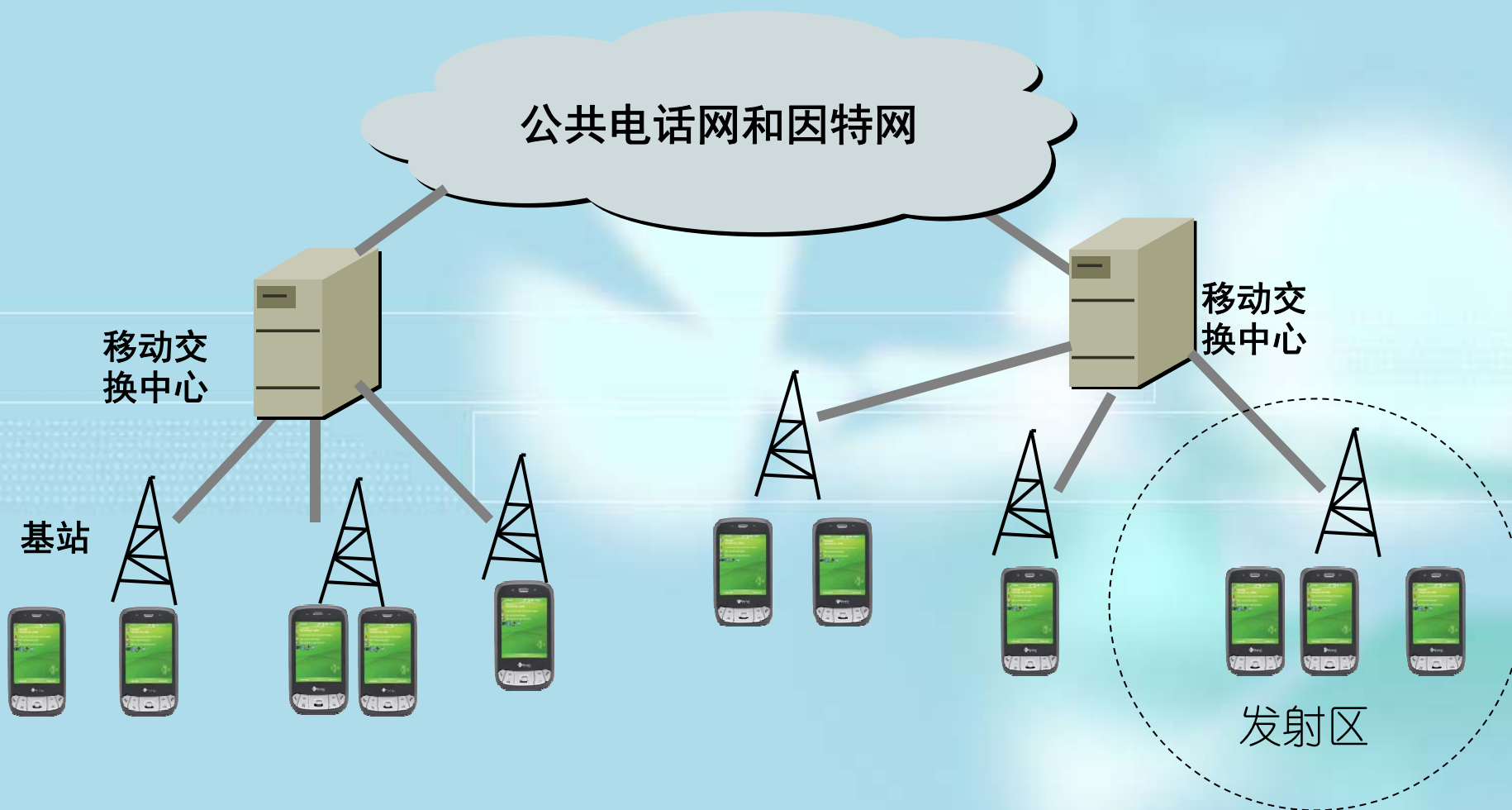


❖ 蜂窝网的标准





蜂窝网体系结构





空中接入技术

❖ 发射区中的主机共享给定的频段。常用的共享技术：

- **FDM和TDM**
- **CDMA**：抗干扰能力强



蜂窝因特网接入

利用移动电话网接入因特网

- ❖ 蜂窝网体系结构



- ❖ 蜂窝网的标准





蜂窝网的标准

Computer Networks v4》cs.sjtu 2023/3/19

- ❖ **1G**: 模拟传输, 仅用于语音电话, 现已消失
- ❖ **2G**: 采用数字传输技术, 但也主要被用于语音传输。常用的**2G**标准:
 - **GSM**: 全球移动通信系统
 - **IS-95 CDMA**
- ❖ **2.5G**: 在**2G**基础上增加了数据通信, 采用的标准:
 - **GPRS**: 通用分组无线服务。在**GSM**的基础上扩展数据通信, 速率可达**40到60K**
 - **EDGE**: 支持全球演化的增强数据速率。用于增强**GSM/GPRS**的速率, 可达到**384K**
 - **CDMA 2000, phase1**: 有**IS-95**演变而来, 速率可达**144k**
- ❖ **3G**: 驾车行驶速率达**144k**, 行走时速率达**384k**, 室内速率达**2M**。常用标准:
 - **CDMA 2000**
 - **UMTS**: 通用移动通信
- ❖ **4G**: 提供无处不在的、支持高速移动的、支持语音和视频的通信环境



第4章 习题

Tnbnm v5 P271

**#13、#15、#16、
#18、#41**



本章复习

- ❖ 介质访问控制子层
- ❖ **ALOHA**及相关协议
- ❖ 以太网：概念 性能 由来 协议标准
- ❖ 无线局域网：**802.11**体系结构 协议栈 帧结构
- ❖ 数据链路层的交换：网桥以及其与集线器/中继器/交换机/路由器还有网关的区别