



## 第六章

# 局域网与介质访问子层



# 主要内容

## ■ 局域网概述

## ■ 局域网技术

- 信道分配
- 多路访问协议
- IEEE 802.3 和 Ethernet
- 逻辑链路控制LLC
- IEEE 802.3 和 Ethernet
- 快速以太网
- 千兆以太网

## ■ 其他局域网技术

- IEEE 802.5和Token Ring
- 光纤分布式数据接口FDDI
- DPT

## ■ 网桥技术

- 连接 802.X和 802.Y的网桥
- 透明网桥/生成数网桥
- 源路由网桥



# 局域网概述

## ■ 局域网产生的原因

- 1980年代，个人计算机发展迅速，彼此需要**近距离**相互通信，共享资源
- 分布式的网络应用：分布式计算，分布式数据库

## ■ 定义

- **局域网**是一种将小区域内的各种通信设备互连在一起的通信网络



# 局域网概述（续）

## ■ 局域网的基本特点

- 高传输率 (10 Mbps ~ 100 Gbps)
- 短距离 (0.1 km ~ 10 km)
- 低出错率 ( $10^{-8}$  ~  $10^{-11}$ )

## ■ 局域网发展趋势

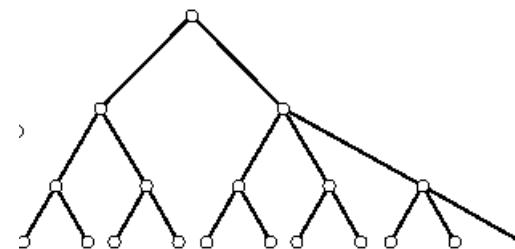
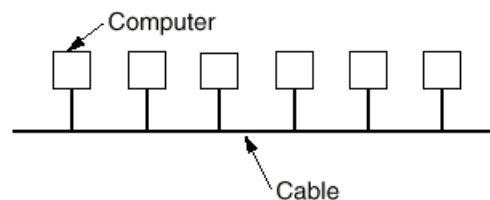
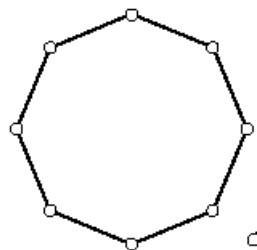
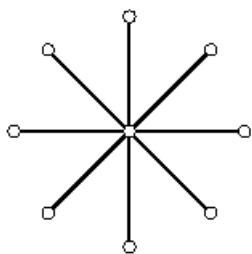
- 高速: 400G Ethernet
- 无线: 无线局域网 IEEE 802.11



# 局域网概述（续）

## ■ 局域网拓扑结构

- 星型结构
- 环型结构
- 总线型结构
- 树型结构



## ■ 传输介质

- 双绞线
- 基带同轴电缆
- 光纤
- 无线



无线网卡和桌面天线



无线网卡和天线



无线**PCMCIA**网卡



无线 **PCMCIA** 网卡和发送/接收器



# 信道分配

- **计算机网络可以分成两类**
  - 使用点到点连接的网络 —— 广域网
  - 使用广播信道（多路访问信道，随机访问信道）的网络 —— 局域网
    - 关键问题：如何解决对信道争用
- 解决信道争用的协议称为**介质访问控制协议 MAC (Medium Access Control)**，是数据链路层协议的一部分
- **信道分配方法有两种**
  - 静态分配
  - 动态分配



# 信道分配（续）

## ■ 静态分配

### ■ 频分多路复用 FDM（波分复用WDM）

- 原理：将频带平均分配给每个要参与通信的用户
- 优点：适合于用户较少，数目基本固定，各用户的通信量都较大的情况
- 缺点：无法灵活地适应站点数及其通信量的变化

### ■ 时分多路复用 TDM

- 原理：每个用户拥有固定的信道传送时槽
- 优点：适合于用户较少，数目基本固定，各用户的通信量都较大的情况
- 缺点：无法灵活地适应站点数及其通信量的变化





# 信道分配（续）

## ■ 动态分配

### ■ 信道分配模型

- **独立站点假设**：每个站点是独立的，并以统计固定的速率产生帧，一帧产生后到被发送走之前，站点被封锁
- **单信道假设**：所有的通信都是通过单一的信道来完成的，各个站点都可以从信道上收发信息
- **冲突假设**：若两帧同时发出，会相互重叠，结果使信号无法辨认，称为冲突。所有的站点都能检测到冲突，冲突帧必须重发
- **确定何时发送**：连续时间/时间分槽
- **确定能否发送**：载波监听/非载波监听



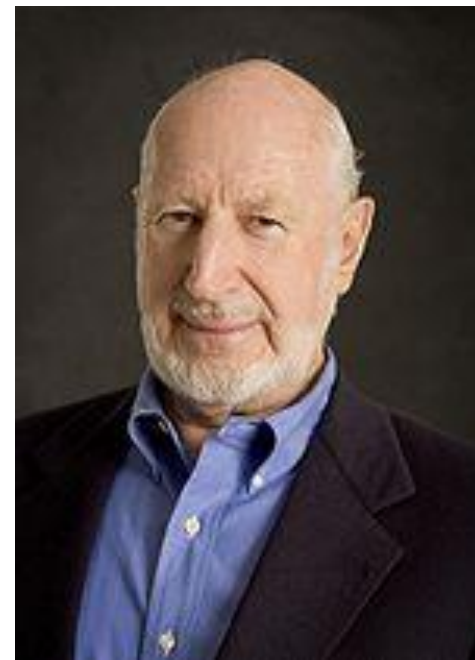
# 多路访问协议

- **定义：**控制多个用户共用一条信道的协议
- **多路访问协议**
  - ALOHA 协议
  - 载波监听多路访问协议 CSMA
  - 带冲突检测的载波监听多路访问协议 CSMA/CD
  - 无冲突协议
  - 有限竞争协议
  - 无线局域网协议



# ALOHA协议

- 1970年代，夏威夷大学的 Norman Abramson 设计了 ALOHA 协议
- 目的：解决信道的动态分配
  - 基本思想可用于任何无协调关系的用户争用单一共享信道使用权的系统
- 分类
  - 纯 ALOHA 协议
  - 分槽 ALOHA 协议





# 纯ALOHA协议

- **基本思想：** 用户有数据要发送时，可以直接发至信道；然后监听信道看是否产生冲突，若产生冲突，则等待一段随机的时间重发
- **竞争系统：** 多用户共享单一信道，并由此产生冲突的系统

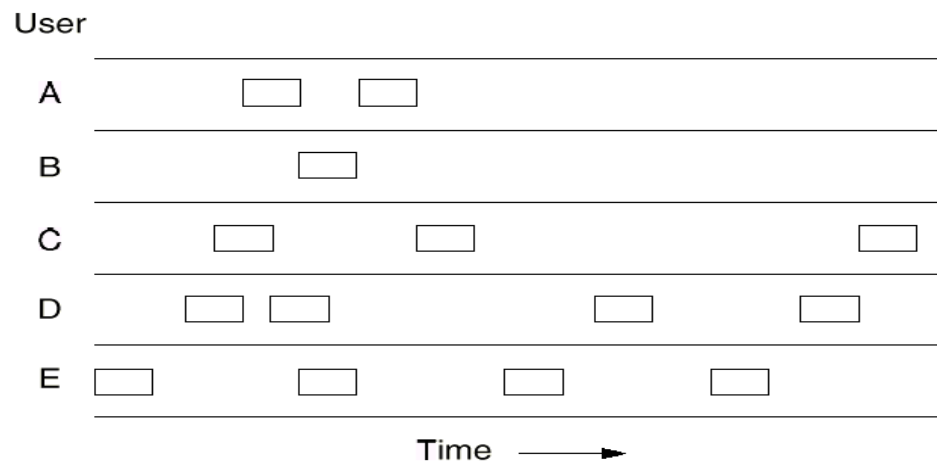


Fig. 4-1. In pure ALOHA, frames are transmitted at completely arbitrary times.



# 纯ALOHA协议（续）

## ■ 信道效率

- 假设：帧长固定，无限个用户，按泊松分布产生新帧，平均每个帧时 (frame time) 产生  $S$  帧 ( $0 < S < 1$ )；发生冲突重传，新旧帧共传  $k$  次，遵从泊松分布，平均每个帧时产生  $G$  帧
- 吞吐率  $S = GP_0$ ， $P_0$  为发送一帧不受冲突影响的概率
- 冲突危险区
- 一个帧时内产生  $k$  帧的概率： $\Pr[k] = G^k e^{-G} / k!$ ，两个帧时平均产生  $2G$  个帧，在冲突危险区内无其它帧产生的概率为： $P_0 = e^{-2G}$ ，所以  $S = Ge^{-2G}$
- 效率：信道利用率最高只有18.4%

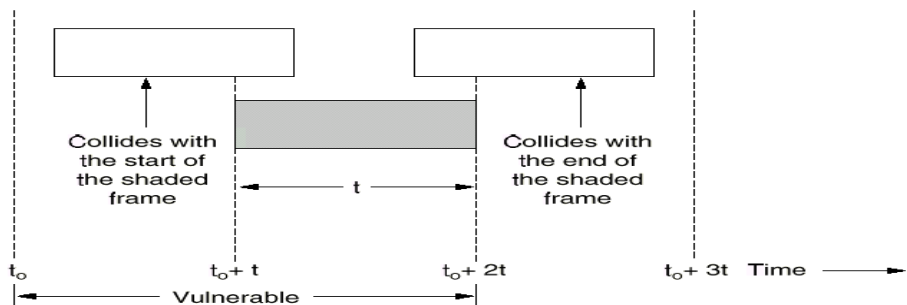


Fig. 4-2. Vulnerable period for the shaded frame.

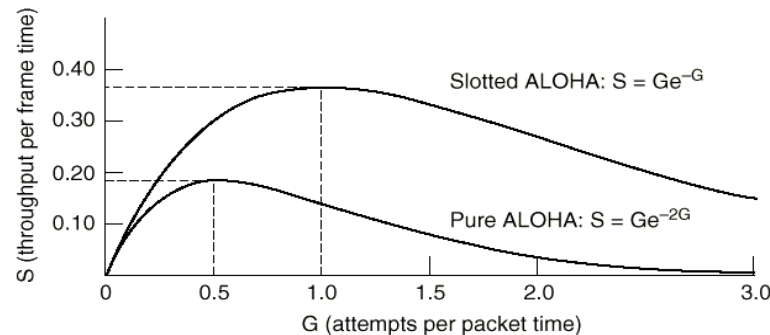


Fig. 4-3. Throughput versus offered traffic for ALOHA systems.



# 分槽ALOHA协议

- **基本思想**：把信道时间分成离散的时间槽，槽长为发送一个帧所需的时间。每个站点只能在时槽开始时才允许发送。其他过程与纯ALOHA协议相同
- **信道效率**
  - 冲突危险区是纯ALOHA的一半，所以  $P_0 = e^{-G}$ ,  $S = Ge^{-G}$
  - 与纯ALOHA协议相比，降低了产生冲突的概率，信道利用率最高为 36.8%

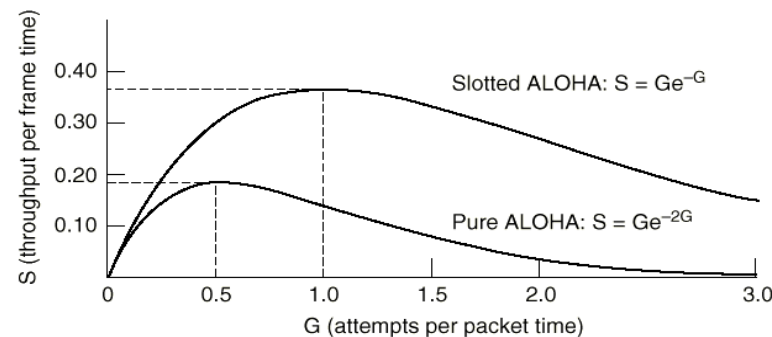


Fig. 4-3. Throughput versus offered traffic for ALOHA systems.



# 载波监听多路访问协议CSMA

- **CSMA: Carrier Sense Multiple Access Protocols**
- **载波监听 (Carrier Sense)**
  - 站点在为发送帧而访问传输信道之前, 首先监听信道有无载波
  - 若有载波, 说明已有用户在使用信道, 则不发送帧以避免冲突
- **多路访问 (Multiple Access)**
  - 多个用户共用一条线路



# 1-坚持型CSMA

## ■ 1-persistent CSMA

### ■ 原理

- 若站点有数据发送，先监听信道
- 若站点发现信道空闲，则发送
- 若信道忙，则继续监听直至发现信道空闲，然后完成发送
- 若产生冲突，等待一随机时间，然后重新开始发送过程

### ■ 优点：减少了信道空闲时间

### ■ 缺点：增加了发生冲突的概率

### ■ 广播延迟对协议性能的影响

- 广播延迟越大，发生冲突的可能性越大，协议性能越差





# 非坚持型CSMA

## ■ nonpersistent CSMA

### ■ 原理

- 若站点有数据发送，先监听信道
- 若站点发现信道空闲，则发送
- 若信道忙，等待一随机时间，然后重新开始发送过程
- 若产生冲突，等待一随机时间，然后重新开始发送过程

### ■ 优点：减少了冲突的概率

### ■ 缺点：增加了信道空闲时间，数据发送延迟增大

- 随着每个帧时发送帧数量（G）的增加，非坚持型CSMA信道效率比1-坚持CSMA高，传输延迟比1-坚持CSMA大



# p-坚持型CSMA

- **p-persistent CSMA**

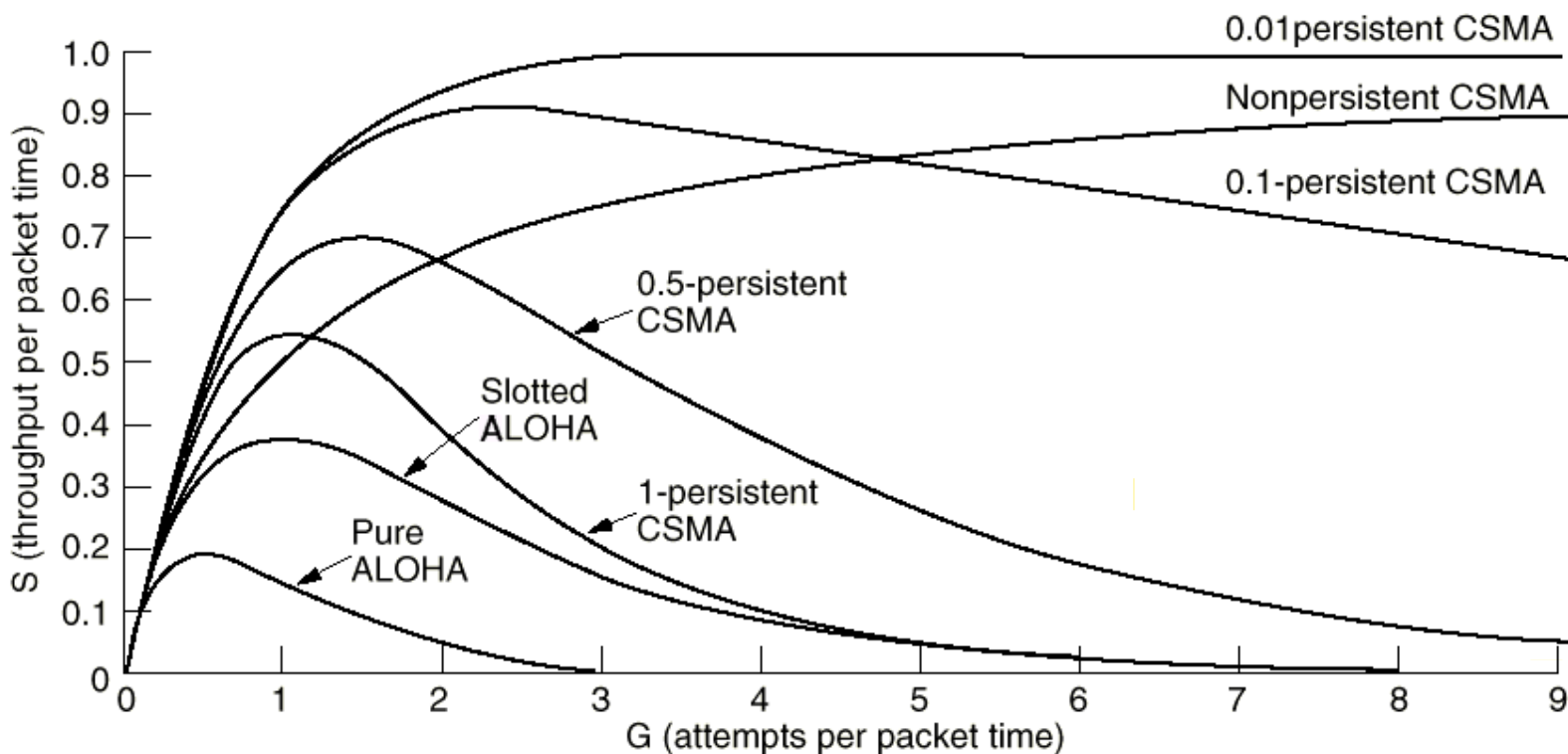
- 适用于分槽信道

- 原理

- 若站点有数据发送，先监听信道
- 若站点发现信道空闲，则以概率 $p$ 发送数据，以概率 $q = 1 - p$ 延迟至下一个时槽发送。若下一个时槽仍空闲，重复此过程，直至数据发出或时槽被其他站点所占用
- 若信道忙，则等待下一个时槽，重新开始发送
- 若产生冲突，等待一随机时间，然后重新开始发送



# 五种多路访问协议性能比较



**Fig. 4-4.** Comparison of the channel utilization versus load for various random access protocols.



# 带冲突检测的载波监听多路访问协议CSMA/CD

## ■ 引入原因

- 当两个帧发生冲突时，两个被损坏帧继续传送毫无意义，而且信道无法被其他站点使用，浪费信道
- 如果站点边发送边监听，并在监听到冲突之后立即停止发送，可以提高信道的利用率，因此产生了 CSMA/CD

## ■ 原理

- 站点使用 CSMA 协议进行数据发送
- 在发送期间如果检测到冲突，立即终止发送，并发出一个瞬间干扰信号，使所有的站点都知道发生了冲突
- 在发出干扰信号后，等待一段随机时间，再重新开始发送

## ■ 问题：一个站点确定发生冲突要花多少时间？

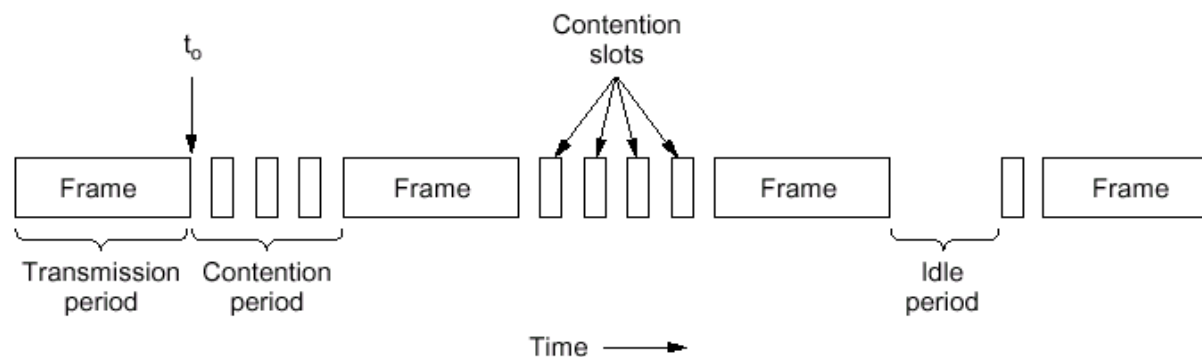
- 最坏情况下，2倍电缆传输时间



# 无冲突协议

## ■ 工作状态

- 传输周期
- 竞争周期
- 空闲周期



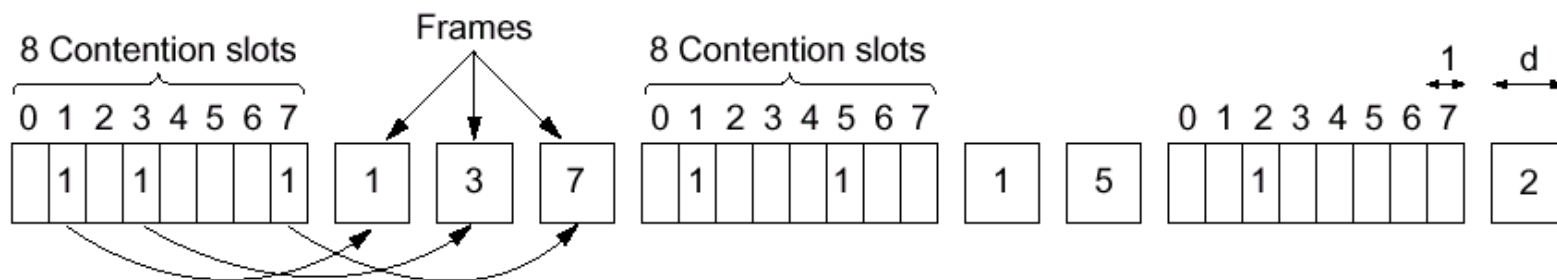


# 无冲突协议（续）

## ■ 基本位图协议 (A Bit-Map Protocol)

### ■ 工作原理

- 共享信道上共有N个站，竞争周期分为N个时槽，如果一个站有帧发送，则在对应的时槽内发送比特1
- N个时槽之后，每个站都知道哪个站要发送帧，这时按站序号发送





# 无冲突协议（续）

- 像这样在实际发送信息前先广播发送请求的协议称为预留协议 (reservation protocol)
- 效率
  - 轻负载下, 效率为  $d / (N + d)$ , 数据帧由  $d$  个时间单位组成
  - 重负载下, 效率为  $d / (d + 1)$
- 缺点
  - 与站序号有关的不平等性, 序号大的站得到的服务好
  - 每个站都有 1 比特的开销



# 无冲突协议（续）

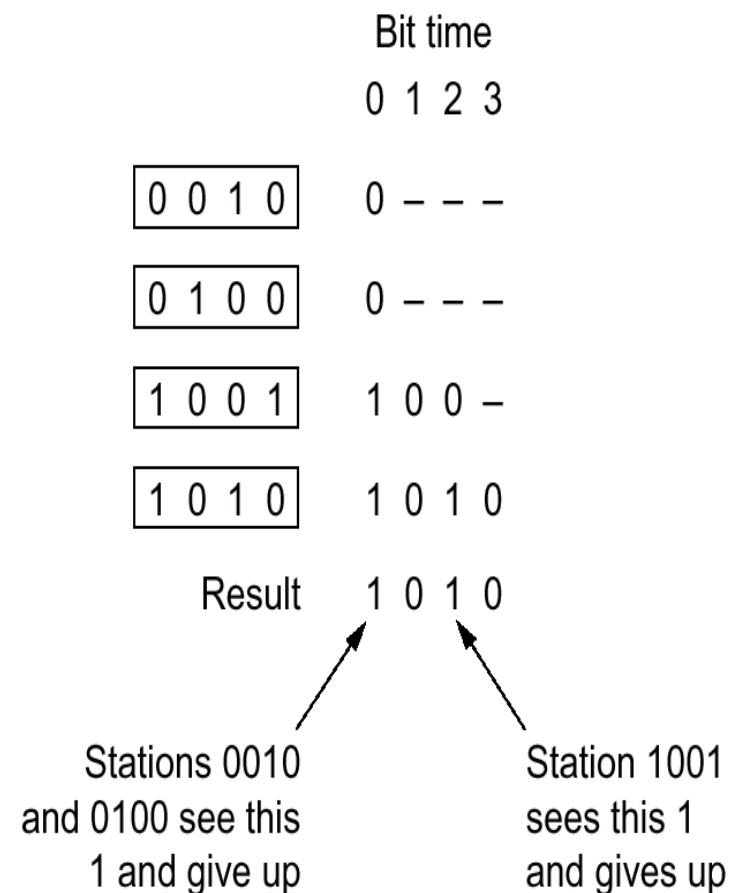
## ■ 二进制下数法（Binary Countdown）

### ■ 工作原理

- 所有站的地址用等长二进制位串表示，若要占用信道，则广播该位串
- 不同站发的地址中的位做“或”操作，一旦某站了解到比本站地址高位更高的位置被置为“1”，便放弃发送请求

### ■ 效率

- $d / (d + \log_2 N)$







# 有限竞争协议

## ■ 占用信道的策略

### ■ 竞争方法

#### ■ 例, CSMA

■ 轻负载下, 发送延迟小; 重负载下, 信道效率低

### ■ 无冲突方法

#### ■ 例, 基本位图法

■ 轻负载下, 发送延迟大; 重负载下, 信道效率高



# 有限竞争协议（续）

## ■ 占用信道的策略（续）

### ■ 有限竞争方法

- 结合以上两种方法，轻负载下使用竞争，重负载下使用无冲突方法
- 减少竞争的站的数目可以增加获取信道的概率
- 基本思路：将站分组，组内竞争
- 问题：如何分组？



# 适应树搜索协议

## ■ 工作原理

- 站点组织成二叉树
- 一次成功传输之后，第0槽全部站可竞争信道，只有一个站要使用信道则发送；有冲突则在第1槽内半数站（2以下站）参与竞争。如其中之一获得信道，本帧后的时槽留给3以下的站；如发生冲突，继续折半搜索

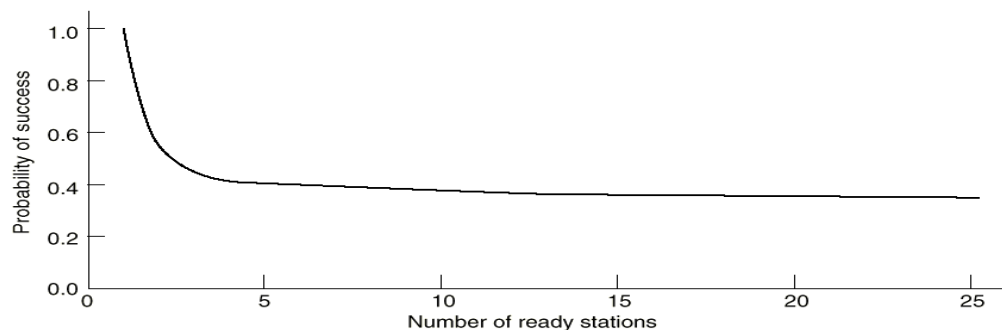
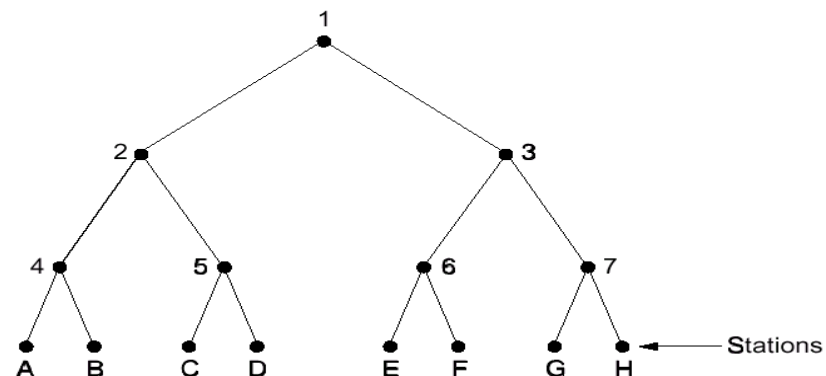


Fig. 4-8. Acquisition probability for a symmetric contention channel.





# 适应树搜索协议（续）

- 当系统负载很重时，从根结点开始竞争发生冲突的概率非常大。为提高效率，**可以从中间结点开始竞争**
  - 问题：搜索应该从树的哪一级开始？

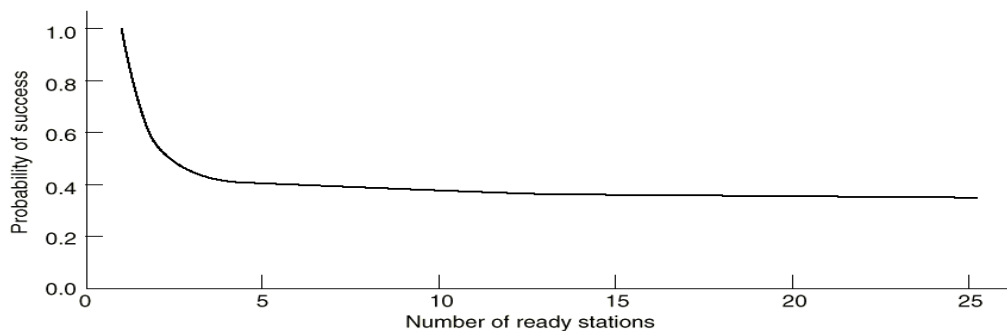
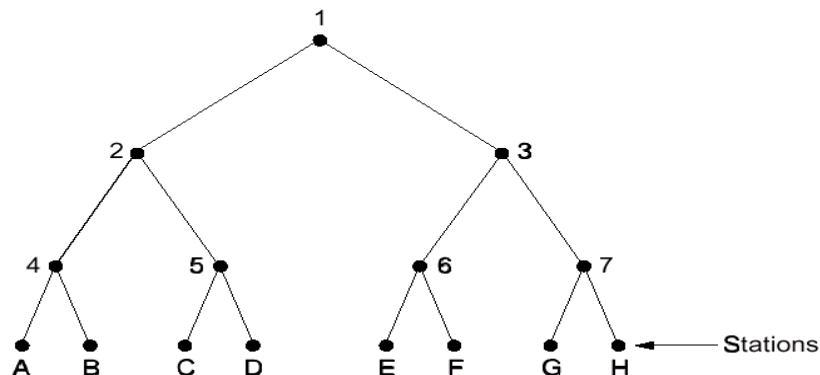


Fig. 4-8. Acquisition probability for a symmetric contention channel.





# 无线局域网协议

## ■ 无线局域网产生背景

- 笔记本电脑等便携设备的普及促进了无线局域网的发展
- portable  $\neq$  mobile
- 要做到真正的移动，需要使用无线信号进行通信

## ■ 无线局域网的特点

- 只有一个信道（与蜂窝电话不同）
- 短距离传输
- 一个站点发送的信号，只能被它周围一定范围内的站点接收到

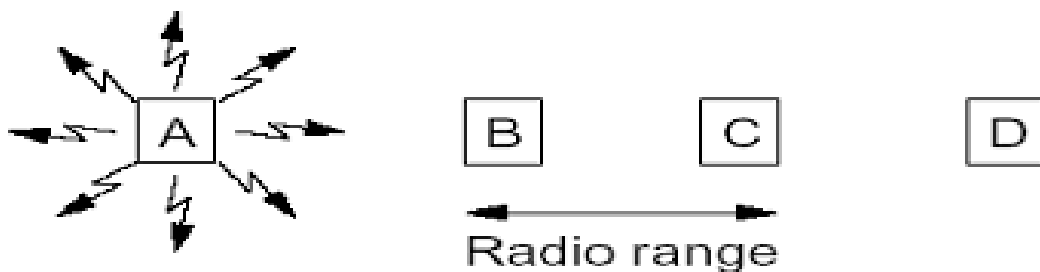


# 无线局域网协议（续）

## ■ 无线局域网与有线局域网不同

### ■ 隐藏站点问题 (hidden station problem)

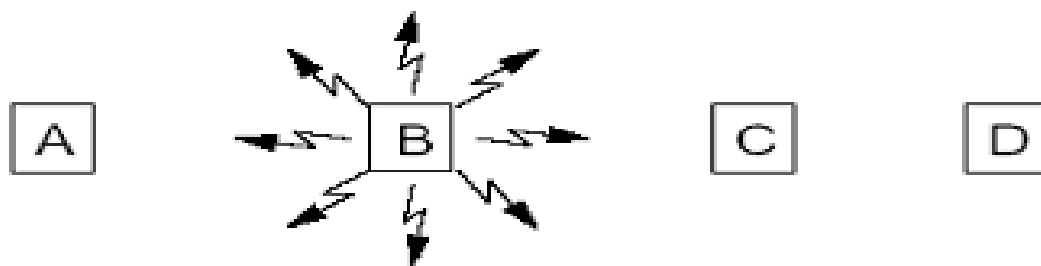
- 由于站点距离竞争者太远，从而不能发现潜在介质竞争者的问题称为隐藏站点问题
- A 向 B 发送数据的过程中，C 由于收不到 A 的数据，也可以向 B 发送数据，导致 B 接收时发生冲突





# 无线局域网协议（续）

- **暴露站点问题 (exposed station problem)**
  - 由于非竞争者距离发送站点太近，从而导致介质非竞争者不能发送数据的问题称为暴露站点问题
  - B 向 A 发送数据，被 C 监听到，导致 C 不能向 D 发送数据





# 无线局域网协议（续）

- **传统的CSMA协议不适合于无线局域网，需要特殊的MAC子层协议**
  - CSMA
    - 电缆上的信号传播给所有站点
    - CSMA只判断发送站点周围是否有其它活跃发送站点
    - 冲突被发送站点发现
    - 某一时刻，信道上只能有一个有效数据帧
  - 无线局域网
    - 信号只能被发送站点周围一定范围内的站点接收
    - 需要尽量保证接收站点周围一定范围内只有一个发送站点
    - 冲突被接收站点发现
    - 某一时刻，信道上可以有多个有效数据帧





# 无线局域网协议（续）

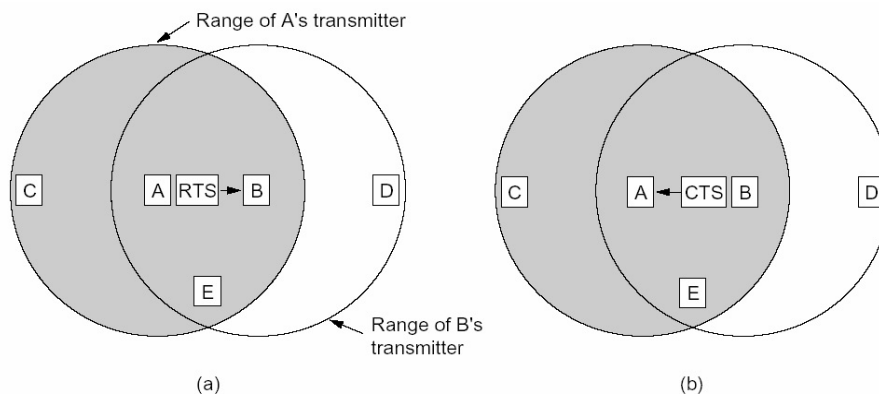
- **MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)**
  - 是 IEEE 802.11 无线局域网标准的基础
  - **基本思想：**发送站点刺激接收站点发送应答短帧，从而使得接收站点周围的站点监听到该帧，并在一定时间内避免发送数据



# 无线局域网协议（续）

## ■ 基本过程

- A向B发送 RTS(Request To Send) 帧，A周围的站点在一定时间内不发送数据，以保证 CTS 帧返回给A
- B 向 A 回答 CTS(Clear To Send) 帧，B 周围的站点在一定时间内不发送数据，以保证A发送完数据
- A 开始发送
- 若发生冲突，采用二进制指数后退算法等待随机时间，再重新开始





# 无线局域网协议（续）

## ■ MACAW

- 对 MACA 协议做了改进，提高了性能
- 主要改进
  - 对每个成功传输的数据帧，都要产生**确认帧**
  - 增加了发送站点的载波监听
  - 发生冲突后，针对每个数据流（相同源和目的地址）执行后退算法，而不是针对每个站点
  - 发生拥塞时，站点间交互信息



# 小结

- **关键问题：** 在MAC子层如何解决多个站点争用共享信道？
- **信道分配方式：** 静态（FDM、WDM、TDM）， 动态
- **多路访问协议**
  - 竞争协议
    - ALOHA： 纯ALOHA、 分槽ALOHA
    - CSMA： 1-坚持型CSMA、 非坚持型CSMA、 p-坚持型CSMA（分槽协议）
    - CSMA/CD
    - Ethernet采用哪种CSMA协议？
  - 无冲突协议
  - 有限竞争协议
  - 无线局域网协议（MACA, MACAW）

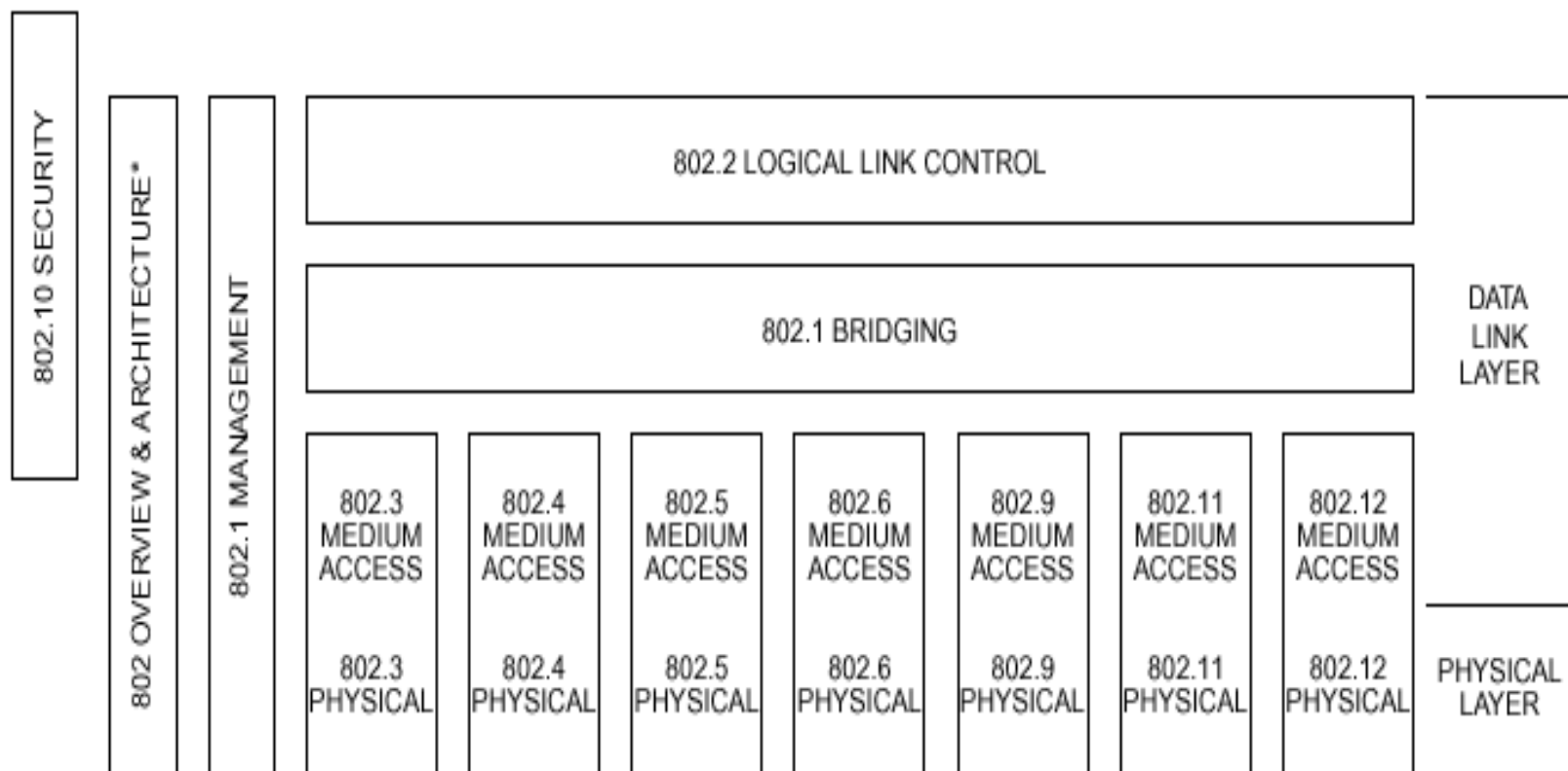


# IEEE 802协议

- **IEEE 802系列标准定义了若干种LAN，包括对物理层、MAC子层的定义和描述。它的组成如下：**
  - 802.1 基本介绍和接口原语定义
  - 802.2 逻辑链路控制 (LLC) 子层
  - 802.3 采用CSMA/CD技术的局域网
  - 802.4 采用令牌总线 (Token Bus) 技术的局域网
  - 802.5 采用令牌环 (Token Ring) 技术的局域网
  - ...



# 802标准在网络体系结构中的位置



\* Formerly IEEE Std 802.1A.



# IEEE 802 family

- IEEE Std 802 *Overview and Architecture.* This standard provides an overview to the family of IEEE 802 Standards.
- ANSI/IEEE Std 802.1B and 802.1k [ISO/IEC 15802-2] *LAN/MAN Management.* Defines an OSI management-compatible architecture, and services and protocol elements for use in a LAN/MAN environment for performing remote management.
- ANSI/IEEE Std 802.1D [ISO/IEC 15802-3] *Media Access Control (MAC) Bridges.* Specifies an architecture and protocol for the interconnection of IEEE 802 LANs below the MAC service boundary.
- ANSI/IEEE Std 802.1E [ISO/IEC 15802-4] *System Load Protocol.* Specifies a set of services and protocol for those aspects of management concerned with the loading of systems on IEEE 802 LANs.
- ANSI/IEEE Std 802.1F *Common Definitions and Procedures for IEEE 802 Management Information*
- ANSI/IEEE Std 802.1G [ISO/IEC 15802-5] *Remote Media Access Control (MAC) Bridging.* Specifies extensions for the interconnection, using non-LAN communication technologies, of geographically separated IEEE 802 LANs below the level of the logical link control protocol.
- ANSI/IEEE Std 802.2 [ISO/IEC 8802-2] *Logical Link Control*
- ANSI/IEEE Std 802.3 [ISO/IEC 8802-3] *CSMA/CD Access Method and Physical Layer Specifications*
- ANSI/IEEE Std 802.4 [ISO/IEC 8802-4] *Token Passing Bus Access Method and Physical Layer Specifications*



# IEEE 802 family (续)

- ANSI/IEEE Std 802.5 [ISO/IEC 8802-5] *Token Ring Access Method and Physical Layer Specifications*
- ANSI/IEEE Std 802.6 [ISO/IEC 8802-6] *Distributed Queue Dual Bus Access Method and Physical Layer Specifications*
- ANSI/IEEE Std 802.9 [ISO/IEC 8802-9] *Integrated Services (IS) LAN Interface at the Medium Access Control (MAC) and Physical (PHY) Layers*
- ANSI/IEEE Std 802.10 *Interoperable LAN/MAN Security*
- ANSI/IEEE Std 802.11 [ISO/IEC DIS 8802-11] *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer Specifications*
- ANSI/IEEE Std 802.12 [ISO/IEC DIS 8802-12] *Demand Priority Access Method, Physical Layer and Repeater Specifications*

In addition to the family of standards, the following is a recommended practice for a common Physical Layer technology:

- IEEE Std 802.7 *IEEE Recommended Practice for Broadband Local Area Networks*

The following additional working group has authorized standards projects under development:

- IEEE 802.14 *Standard Protocol for Cable-TV Based Broadband Communication Network*

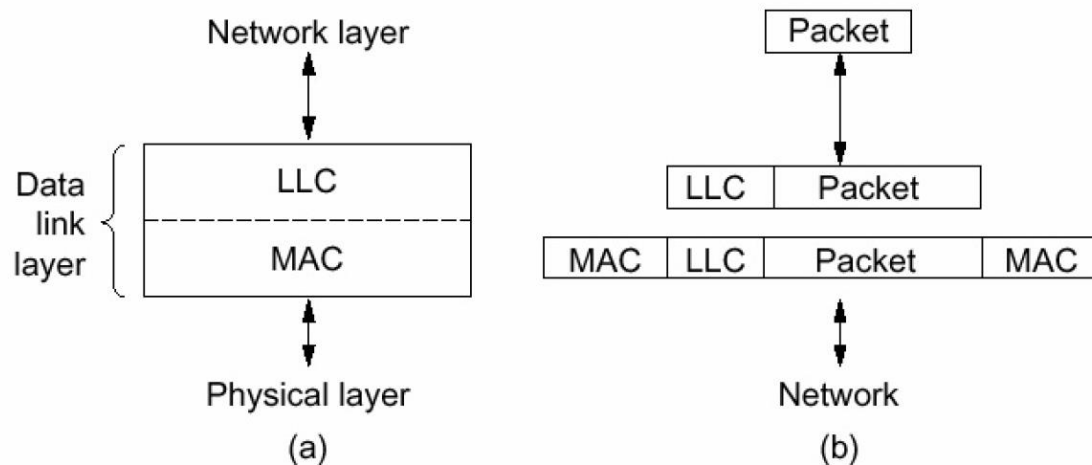




# LAN的参考模型

## ■ 引入LLC子层的原因：

- MAC子层只提供**尽力而为**的数据报服务，**不提供确认机制和流量控制**（滑动窗口）
- 有些情况下，这种服务足够，如支持 IP 协议；当需要确认和流控的时候，这种服务就不能满足，需要 LLC
- 对于同一个 LLC，可以提供多个 MAC 选择





# 逻辑链路控制子层 LLC

- **LLC: Logical Link Control**
- LLC 子层提供**确认机制**和**流量控制**
- LLC 隐藏了不同 802 MAC 子层的差异，为网络层提供单一的格式和接口
- LLC 提供三种服务选项：
  - **不可靠数据报服务，有确认数据报服务，可靠的面相连接的服务**
- LLC 帧头**基于 HDLC 协议**



# 介质访问控制子层 MAC

- **MAC: Medium Access Control**
- **MAC子层的功能**
  - 数据帧封装、发送和接收
    - 组帧（帧定界、帧同步）
    - 寻址（源和目的MAC地址处理）
    - 差错检测
  - 介质访问管理
    - 介质分配（避免冲突）
    - 冲突解决（处理冲突）



# IEEE 802.3 和 Ethernet

## ■ 历史

- ALOHA系统
- ALOHA + 载波监听
- Xerox 设计了 2.94Mbps 的采用 CSMA/CD 协议的 Ethernet
- Xerox, DEC, Intel 共同制定了 10Mbps 的 CSMA/CD 以太网标准
- IEEE 定义了采用1-坚持型 CSMA/CD 技术的 802.3 局域网标准，速率从 1M 到 10Mbps

## ■ IEEE 802.3标准与以太网协议略有差别

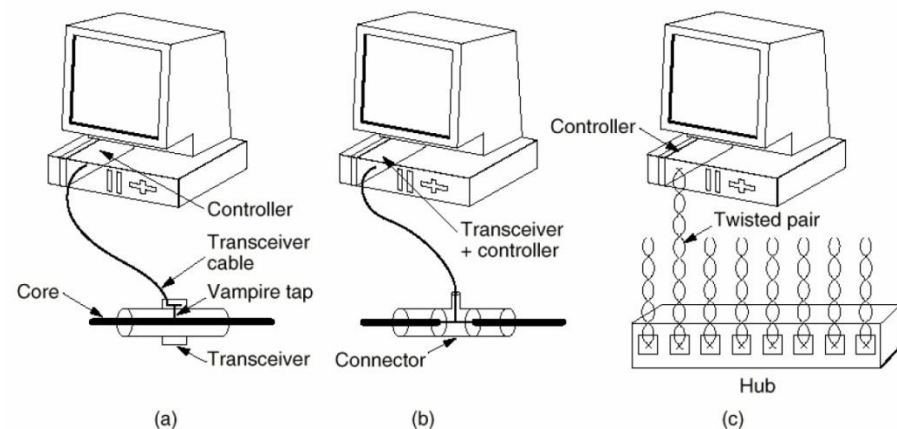


# IEEE 802.3 和 Ethernet（续）

## ■ 802.3采用的电缆标准

- 10Base5：粗缆，AUI接口
- 10Base2：细缆，BNC接口，T型头
- 10Base-T：RJ-45接口
- 10Base-F：光纤接口

Name	Cable	Max. segment	Nodes/seg.	Advantages
10Base5	Thick coax	500 m	100	Good for backbones
10Base2	Thin coax	200 m	30	Cheapest system
10Base-T	Twisted pair	100 m	1024	Easy maintenance
10Base-F	Fiber optics	2000 m	1024	Best between buildings





# IEEE 802.3 和 Ethernet（续）

## ■ 物理层类型用以下域表示

- <data rate in Mb/s> <medium type> <maximum segment length (\*100m)>
- 10Base5含义
  - 10: 10Mbps
  - Base: 基带传输 (baseband medium)
  - 5: 500米

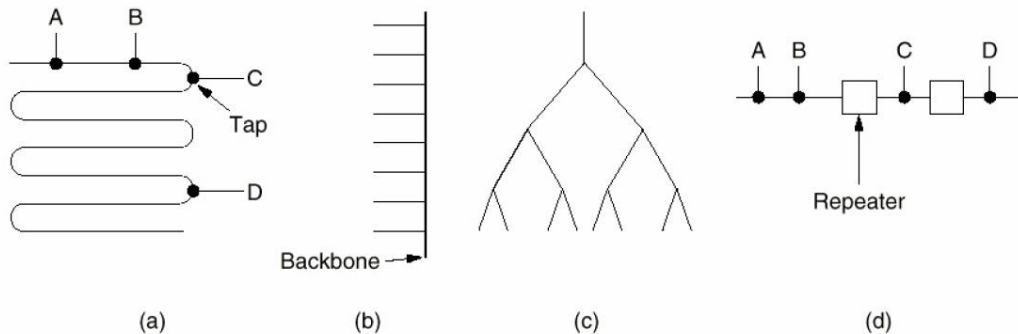
## ■ 收发器 (transceiver) : 处理载波监听和冲突检测



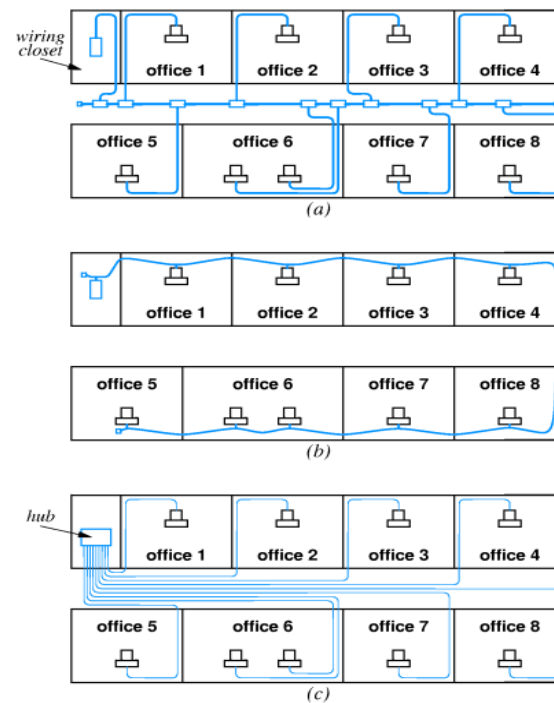
# IEEE 802.3 和 Ethernet（续）

## ■ 布线拓扑结构

- 总线形，脊椎形，树形，分段



## ■ 三种电缆布线



8个办公室的网络连接 (a)  
粗缆 (b) 细缆 (c) 10Base-T 双绞线



# IEEE 802.3 和 Ethernet（续）

## ■ 扩展网段长度

- **中继器**：物理层设备，只对信号进行接收、放大和双向重传
- 两个收发器之间最多使用 4 个中继器，最长 2500 米

## ■ 802.3的信号编码

- 由于曼彻斯特编码简单，所有的 802.3 基带系统都使用曼彻斯特编码



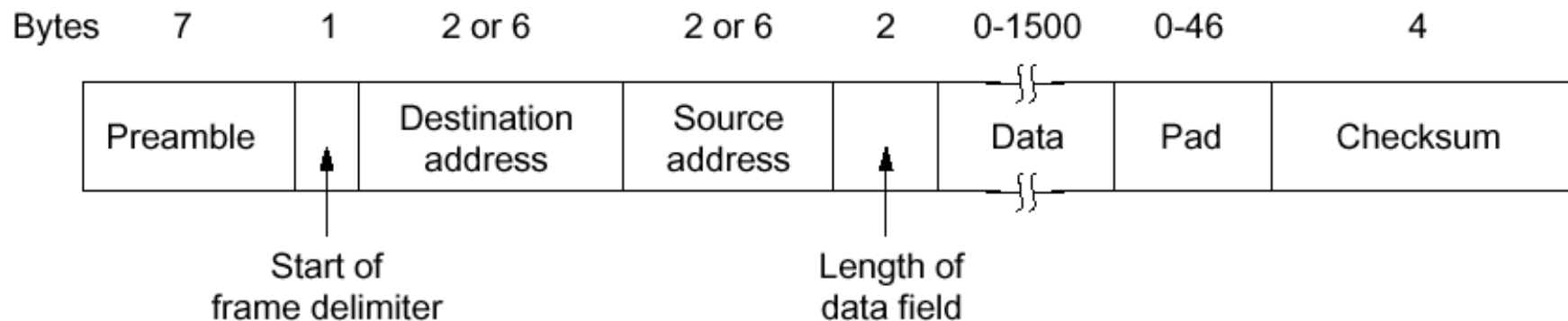


**10Base-T hub**



# IEEE 802.3 和 Ethernet（续）

## ■ 802.3的MAC子层帧格式

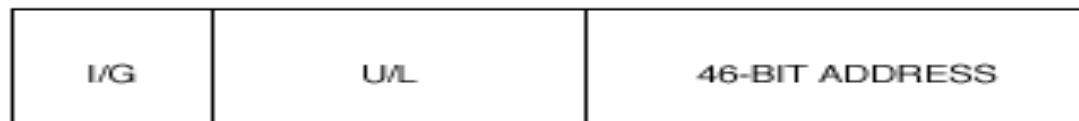


- 前导序列（7个字节10101010）
- 帧开始标志（1字节， 10101011）



# IEEE 802.3 和 Ethernet（续）

- 目标地址和源地址
  - 2 或 6个字节，以太网为6个字节
  - 目的地址第一位（LSB: Least Significant Bit）为 0，表示单地址（individual address）；为 1，表示组地址（group address），支持 multicast，目的地址全 1，为广播地址。源地址第一位（LSB）为 0
  - 地址中的第二位（LSB）用来区分本地地址和全球地址。



I/G = 0 INDIVIDUAL ADDRESS  
I/G = 1 GROUP ADDRESS  
U/L = 0 GLOBALLY ADMINISTERED ADDRESS  
U/L = 1 LOCALLY ADMINISTERED ADDRESS

Figure 3-2—Address field format



# IEEE 802.3 和 Ethernet（续）

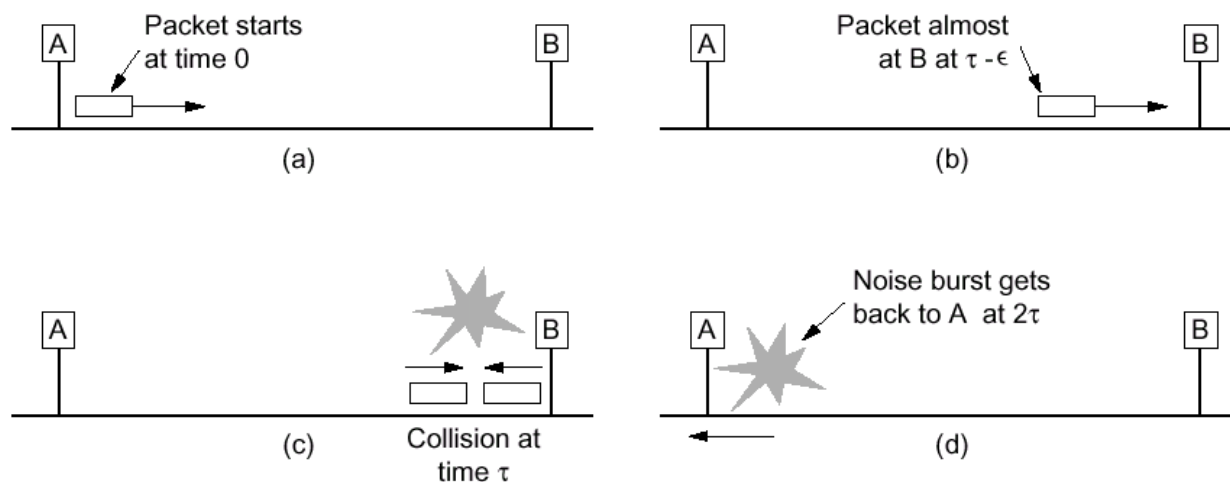
- 帧长度域（2字节，取值在0-1500之间）
- 数据（0-1500个字节）
- 填充（0-46字节）
- 校验和：CRC校验（4个字节）



# IEEE 802.3 和 Ethernet（续）

## ■ 最短帧长

- 避免帧的第一个比特到达电缆的远端前帧已经发完，帧发送时间应该大于  $2\tau$ ;
- 10Mbps LAN，最大冲突检测时间为51.2微秒，最短帧长为64字节;
- 网络速度提高，最短帧长也应该增大或者站点间的距离要减小。

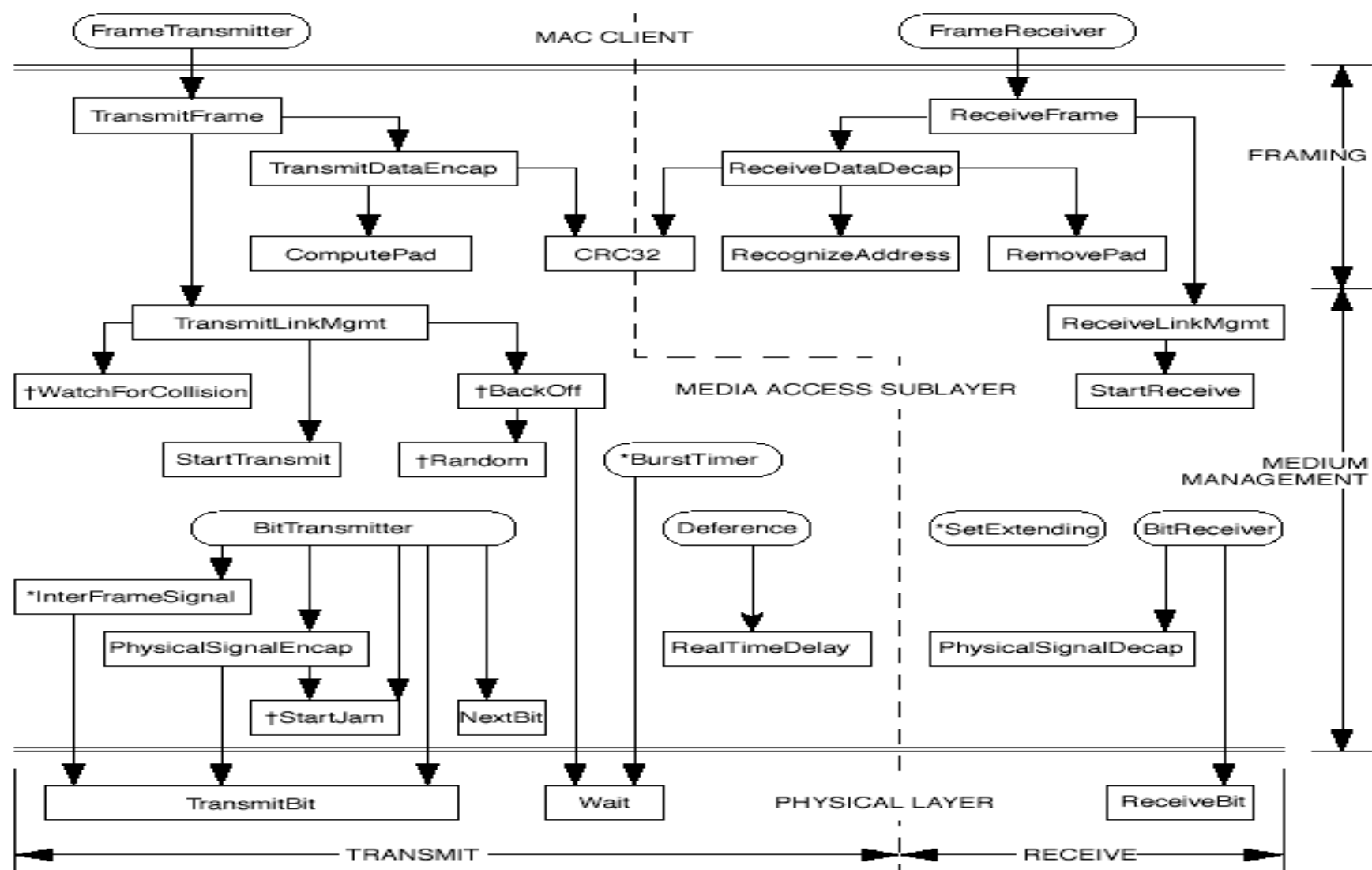




# IEEE 802.3 和 Ethernet (续)

## ■ 二进制指数后退算法 (binary exponential backoff)

- 将冲突发生后的时间划分为长度为 51.2 微秒的时槽
- 发生第一次冲突后, 各个站点等待 0 或 1 个时槽再开始重传;
- 发生第二次冲突后, 各个站点随机地选择等待 0, 1, 2 或 3 个时槽再开始重传;
- 第  $i$  次冲突后, 在 0 至  $2^i-1$  间随机地选择一个等待的时槽数, 再开始重传;
- 10 次冲突后, 选择等待的时槽数固定在 0 至  $2^{10}-1$  间;
- 16 次冲突后, 发送失败, 报告上层。



† Not applicable to full duplex operation  
 \* Applicable only to half duplex operation at > 100 Mb/s

Figure 4-3—Relationship among CSMA/CD procedures



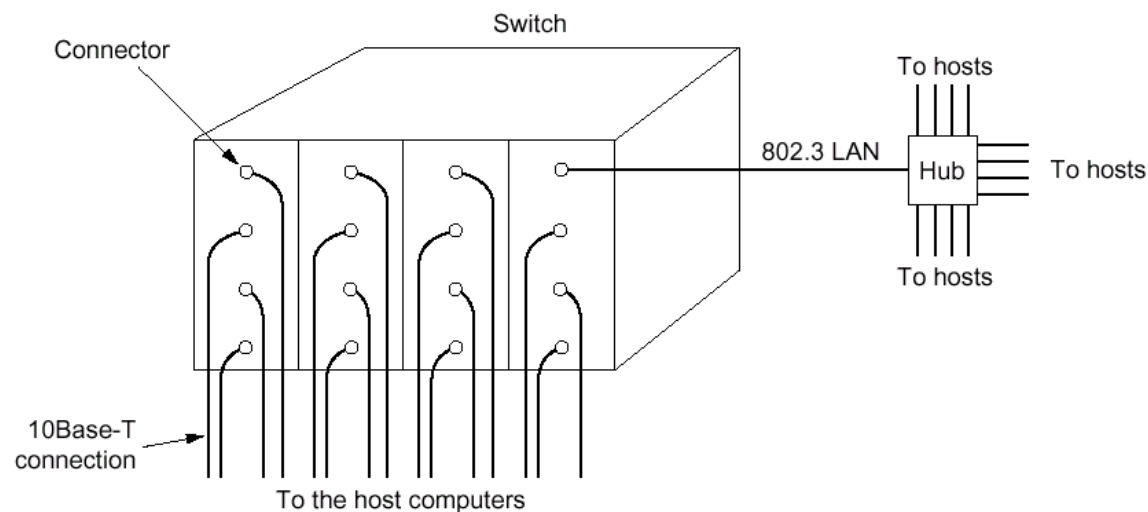
# IEEE 802.3 和 Ethernet（续）

## ■ 交换式802.3 LAN

- 目的：减少冲突

- 两种实现方法

- 一个卡内是一个802.3LAN，构成自己的冲突域，卡间并行
- 使用端口缓存，无冲突发生







# IEEE 802.3 和 Ethernet（续）

This standard provides for two modes of operation of the MAC sublayer:

- a) In *half duplex* mode, stations contend for the use of the physical medium, using the CSMA/CD algorithms specified. Bidirectional communication is accomplished by rapid exchange of frames, rather than full duplex operation. Half duplex operation is possible on all supported media; it is required on those media that are incapable of supporting simultaneous transmission and reception without interference, for example, 10BASE2 and 100BASE-T4.
- b) The *full duplex* mode of operation can be used when all of the following are true:
  - 1) The physical medium is capable of supporting simultaneous transmission and reception without interference (e.g., 10BASE-T, 10BASE-FL, and 100BASE-TX/FX).
  - 2) There are exactly two stations on the LAN. This allows the physical medium to be treated as a full duplex point-to-point link between the stations. Since there is no contention for use of a shared medium, the multiple access (i.e., CSMA/CD) algorithms are unnecessary.
  - 3) Both stations on the LAN are capable of and have been configured to use full duplex operation.

The most common configuration envisioned for full duplex operation consists of a central bridge (also known as a switch) with a dedicated LAN connecting each bridge port to a single device.



# 快速以太网

## ■ Fast Ethernet

### ■ 标准

- 1995年, IEEE通过 802.3u 标准, 实际上是 802.3 的一个补充。原有的帧格式、接口、规程不变, 只是将比特时间从 100ns 缩短为 10ns
- 已合并到 IEEE 802.3 中

### ■ 对 10 Mbps 802.3 LAN 的改进

- 一种方法是改进 10Base-5 或 10Base-2, 采用 CSMA/CD, 最大电缆长度减为 1/10, 未被采纳
- 另一种方法是改进 10Base-T, 使用 HUB, 被采纳



Name	Cable	Max. segment	Advantages
100Base-T4	Twisted pair	100 m	Uses category 3 UTP
100Base-TX	Twisted pair	100 m	Full duplex at 100 Mbps
100Base-FX	Fiber optics	2000 m	Full duplex at 100 Mbps; long runs

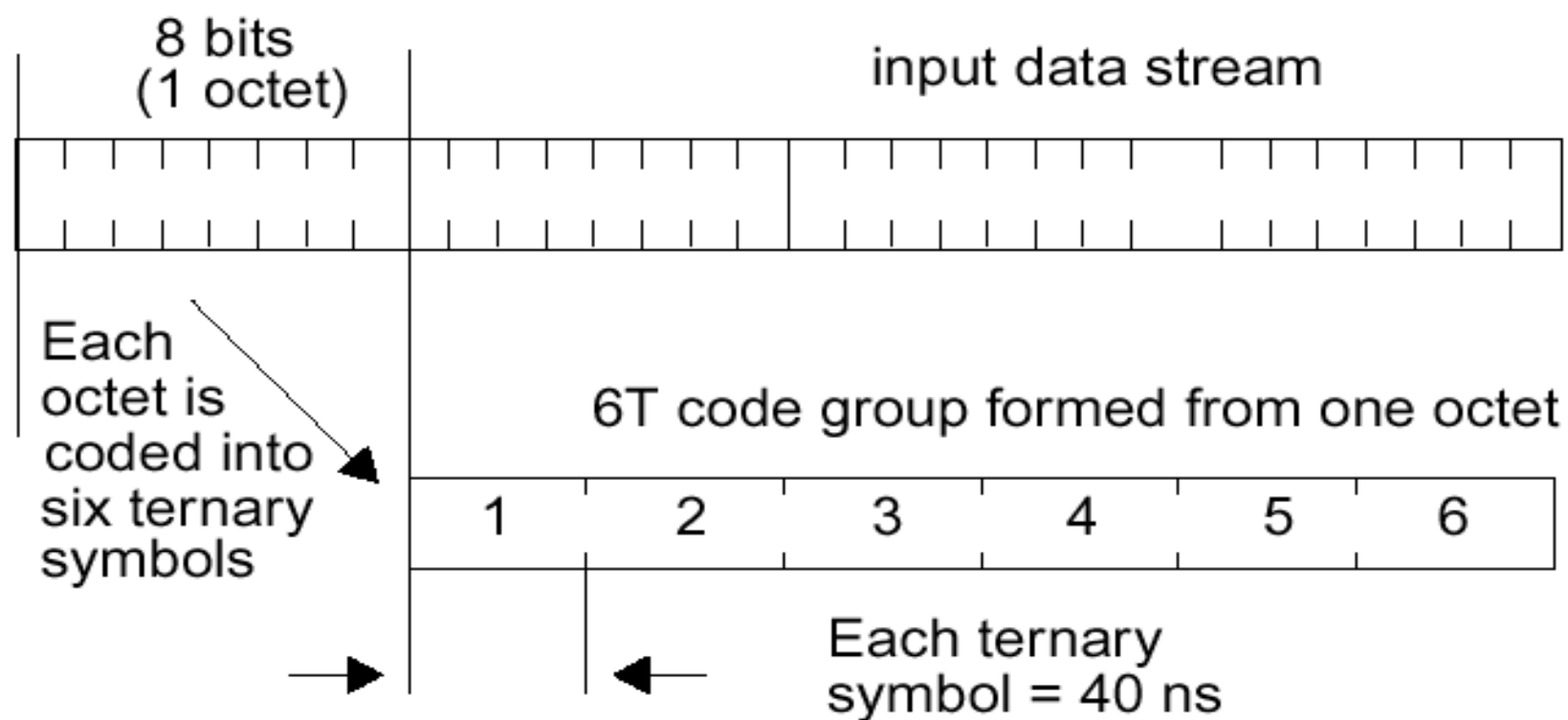
**Fig. 4-47.** Fast Ethernet cabling.



# 快速以太网（续）

## ■ 100Base-T4

- 使用 4 对 ISO/IEC 11801定义的 3、4、5 类平衡双绞线
- 3 类非屏蔽双绞线 (UTP) , 使用 25MHz 的信号
  - 802.3 10M LAN 使用 20MHz 的信号, 由于使用 Manchester 编码,  
波特率=2\*比特率
- 4 对双绞线, 1 对 to the hub, 1对 from the hub, 另外 2 对根据数据传输方向变换
- 8B6T (8 bits map to 6 trits) 编码, 使用三进制信号 (ternary signals) ,  
1对双绞线的比特率为  $25 * 8/6 = 33.3 \text{ Mbps}$ , 正向 100M, 反向33.3M



**Figure 23-4—8B6T coding**



# 快速以太网（续）

## ■ 100Base-TX

- 使用2对5类平衡双绞线或150Ω屏蔽平衡电缆，1对 to the hub，1对 from the hub，全双工
- 5类双绞线使用125 MHz的信号
- 4B5B编码，5个时钟周期发送4个比特，物理层与FDDI兼容，比特率为  $125 * 4/5 = 100$  Mbps

## ■ 100Base-FX

- 使用2根多模光纤，全双工

## ■ 100Base-T4 和 100Base-TX 统称 100Base-T



# 快速以太网（续）

## ■ 两种类型的HUB

- 共享式 HUB，一个冲突域，工作方式与802.3相同，CSMA/CD，二进制指数后退算法，半双工 ...
- 交换式HUB，输入帧被缓存，一个端口构成一个冲突域



# 千兆以太网

- **Gigabit Ethernet**
- **标准：802.3z**
  - 已合并到IEEE 802.3中
- **Gigabit Ethernet 使用扩展的 802.3 MAC 子层接口，通过GMII (Gigabit Media Independent Interface) 与物理层相连**





# 千兆以太网（续）

- 物理层实体
  - 1000BASE-LX, 1000BASE-SX, 1000BASE-CX, 1000BASE-T
- **1000BASE-X**（包括1000BASE-SX, 1000BASE-LX, 和 1000BASE-CX）物理层标准符合 ANSI X3.230-1994 (Fibre Channel) FC-0 和 FC-1，采用**8B/10B**编码
- **1000BASE-T** 采用**4B/5B**编码
- 在一个冲突域内，只允许一个repeater



## ■ 帧格式

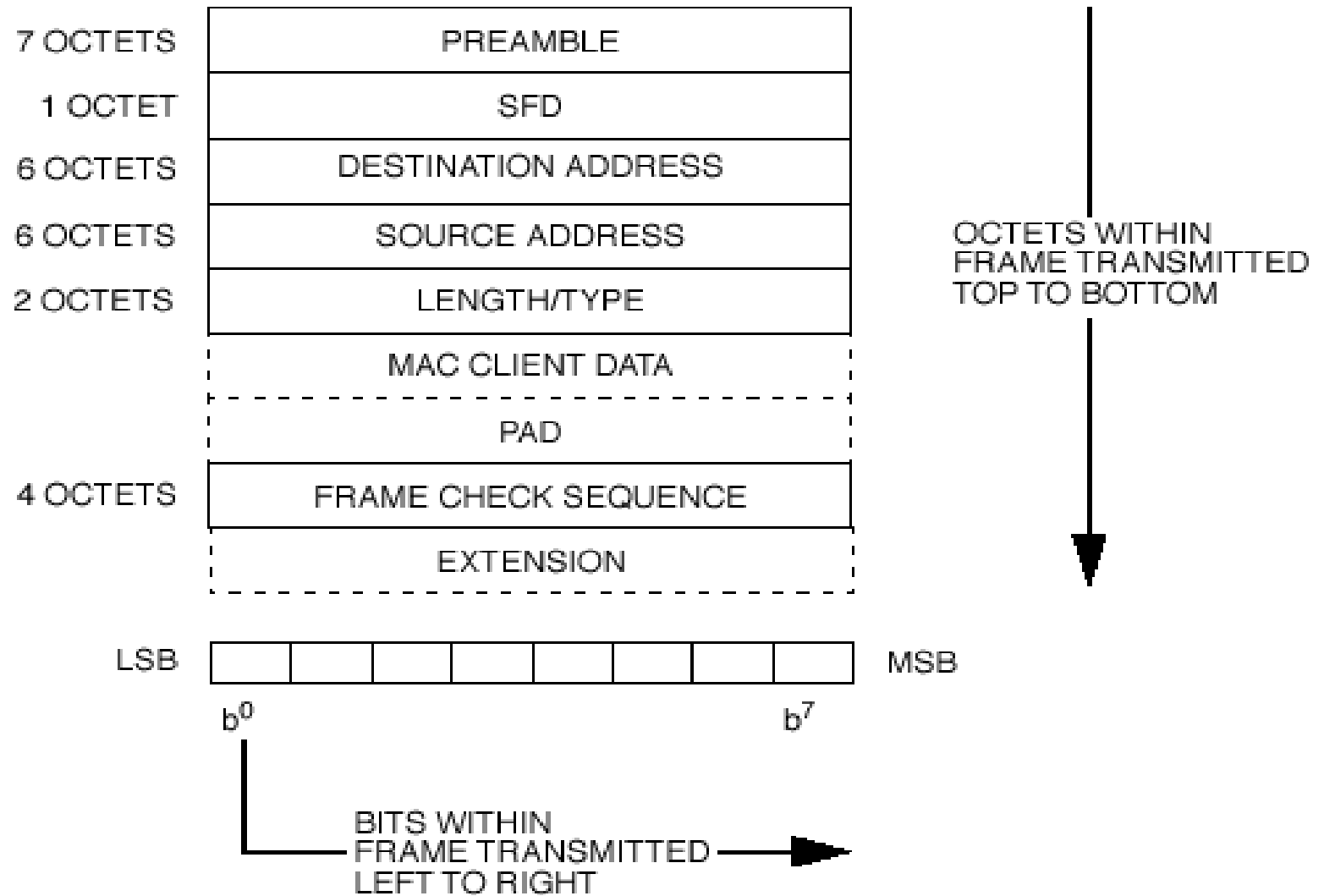


Figure 3-1 – MAC frame format



1000BASE-SX Short Wave Length Optical	Duplex multimode fibers	Clause 38
1000BASE-LX Long Wave Length Optical	Duplex single-mode fibers or Duplex multimode fibers	Clause 38
1000BASE-CX Shielded Jumper Cable	Two pairs of specialized balanced cabling	Clause 39
1000BASE-T Category 5 UTP	Advanced multilevel signaling over four pairs of Category 5 balanced copper cabling.	Clause 40 (under development in IEEE P802.3ab)



# 万兆以太网

- **10 Gigabit Ethernet / 10GE**
- **标准：IEEE 802.3ae, 2002年6月完成**
- **10GE 帧格式与 10/100/1000M 以太网的帧格式完全相同**
- **10GE 主要以光纤作为传输介质**
  - 使用单模光纤，可以工作在广域网和城域网
  - 也可使用多模光纤，但传输距离为65~300m
- **10GE 只工作在全双工方式，不使用 CSMA/CD 协议，传输距离大大提高**



# 万兆以太网（续）

## ■ 10GE有两种不同的物理层

- 局域网物理层 LAN PHY, 10Gb/s
- 可选的广域网物理层 WAN PHY, 使用 SONET/SDH 传输, OC-192/STM-64 的速率是 9.95328Gb/s, 有效载荷的速率是 9.58464Gb/s



# 以太网与Metcalfe

- 1972 – 1975年（通常认为1973年），施乐公司（Xerox）的 Robert Metcalfe 等人发明了 Ethernet
- 1979年，Metcalfe 离开施乐，成立了 3Com（**C**omputer, **C**ommunication, **C**ompatibility）
  - 3Com 一度是 Cisco 的强大竞争对手
  - 2010.4，3Com 为惠普收购，退出市场
- **Metcalfe**
  - 以太网发明人
  - 创建3Com公司
  - 提出Metcalfe's Law ( $V \sim N^2$ )
  - 2023年获得图灵奖



3Com



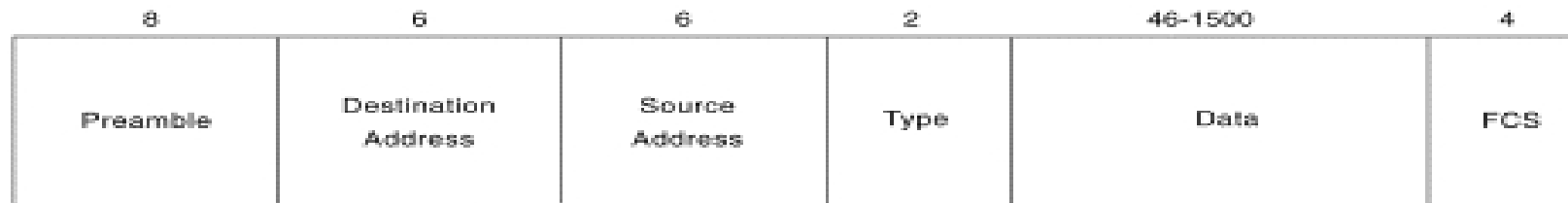
# IEEE 802.3与Ethernet的区别

## ■ 帧格式

- IEEE 802.3 MAC 地址长度为 2 或 6 个字节
- Ethernet MAC 地址长度为 6 个字节

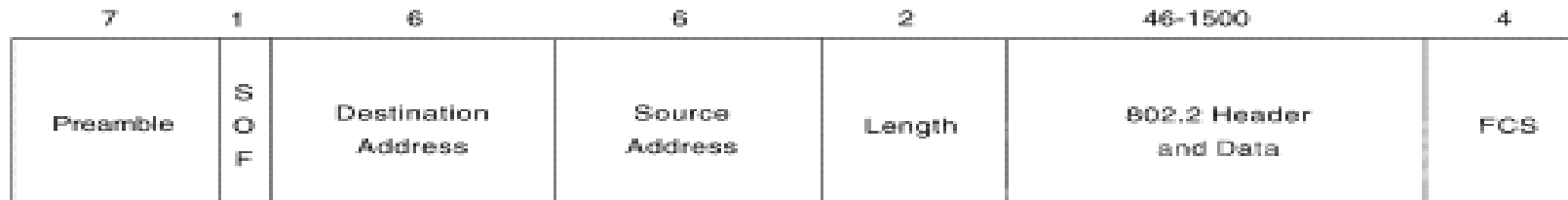
Field Length,  
in Bytes

Ethernet



Field Length,  
in Bytes

IEEE 802.3



SOF = Start-of-Frame Delimiter  
FCS = Frame Check Sequence



# IEEE 802.5 令牌环

- **Token Ring**
- **1980年代，IBM开发出令牌环作为它的LAN技术**
- **IEEE 802.5标准是主要基于IBM的令牌环网络的，但是也有一些细微的差别**
- **令牌环技术提出时声称理论上比Ethernet好，但是随着交换以太网的出现和以太网速率不断提高，令牌环技术落后于以太网**





# IEEE 802.5 令牌环（续）

## ■ 技术特点

- 环实际上并不是一个广播介质，而是不同的点到点链路组成的环，点到点链路有很多技术优势
- 各个站点是公平的，获得信道的时间有上限，避免冲突发生



# IEEE 802.5 令牌环（续）

## ■ 基本思想

- 令牌 (Token) 是一种特殊的比特组合模式，一个站要发送帧时，需要抓住令牌，并将其移出环
- 环本身必须有足够的时延容纳一个完整的令牌，时延由两部分组成：每站的1比特延迟和信号传播延迟。对于短环，必要时需要插入人工延迟
- 环接口有两种操作模式：监听模式和传输模式

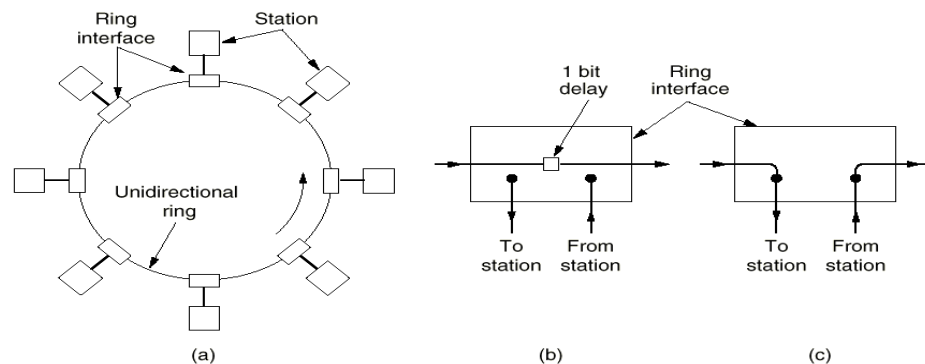


Fig. 4-28. (a) A ring network. (b) Listen mode. (c) Transmit mode.



## IEEE 802.5 令牌环（续）

- 当一个站点有数据发送时，在令牌通过此站点时，将令牌从环上取下，发送自己的数据，发送站负责将发出的帧从环上移去，然后重新生成令牌，并转入监听模式
- 确认：帧内一个比特域，初值为0，目的站收到后，将其变为1；对广播的确认比较复杂
- 重负载下，效率接近100%
- 环网设计分析的一个主要问题是 1 比特的“物理长度”，数据传输速率为  $R$  Mbps，典型信号传播速率为200米/微秒，则1 比特的“物理长度”为  $200/R$  米
- 环接口引入了1比特的传输延迟



# IEEE 802.5 令牌环（续）

## ■ 802.5的布线

- 屏蔽双绞线，速率为 1/4/16M，采用差分曼彻斯特编码传输
- 为解决环断裂导致整个环无法工作的问题，使用**线路中心**（Wire Center）进行布线，线路中心设有**旁路中继器**

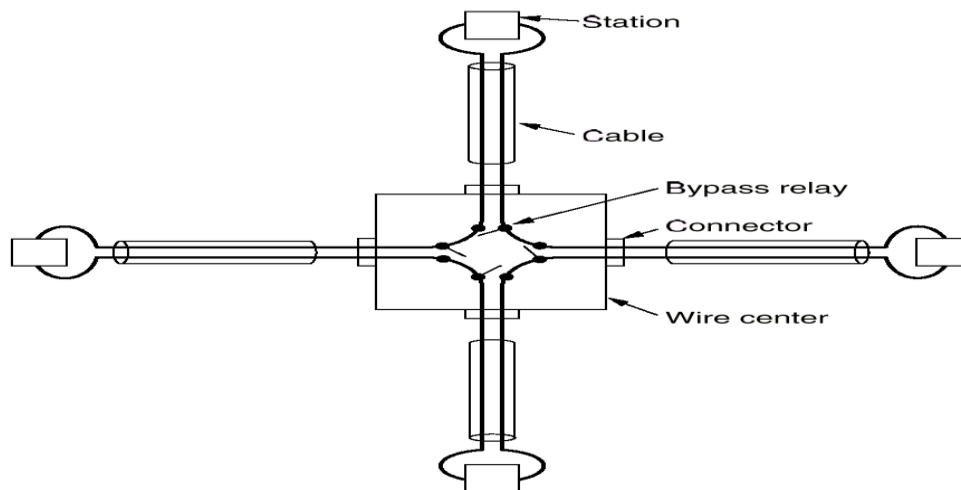
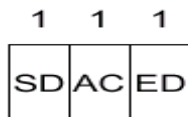


Fig. 4-29. Four stations connected via a wire center.

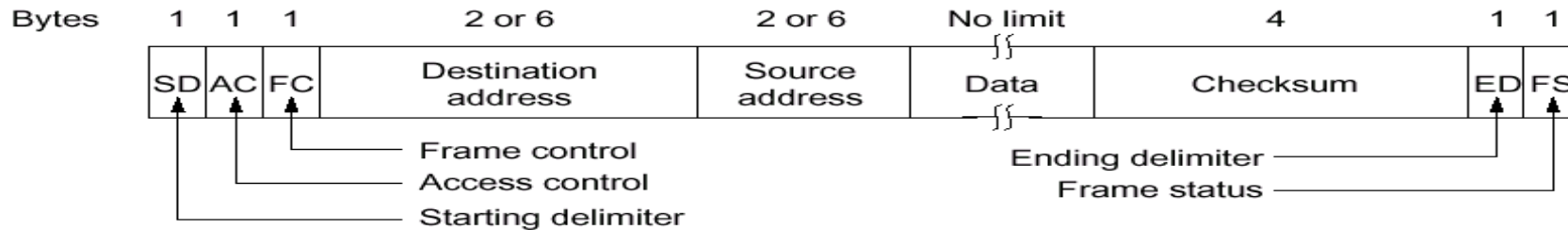


# IEEE 802.5 令牌环（续）

## ■ 令牌环MAC子层协议



(a)



(b)

- **协议基本操作：**无信息传输时，3字节的令牌在环上循环；有信息要发送时，站获得令牌，并将第二个字节的某一位由 0 变成 1，将令牌的前两个字节变成帧的起始序列，然后输出帧的其它部分



# IEEE 802.5 令牌环（续）

- 开始定界符 SD 和结束定界符 ED 标志着帧的开始和结束,使用差分曼彻斯特编码模式(HH和LL, 物理层编码违例法)
- 访问控制域 AC 包括令牌位、监视位、优先级位和保留位
- 帧控制域 FC 用于将数据帧和控制帧区别开来和进行环的维护; 帧状态字节 FS 用于报告帧的传送情况, 包括地址位 A 和拷贝位 C, 帧经过目的站, A 置为 “1”, 帧被接收, C 置为 “1”。A、C 位提供了自动确认。为增加可靠性, A、C 在 FS 中出现两次
  - $A = 0, C = 0$ , 目的站不存在或未加电
  - $A = 1, C = 0$ , 目的站存在但帧未被接收
  - $A = 1, C = 1$ , 目的站存在且帧被复制
- 令牌持有时间 (token-holding time), 一般为10毫秒
- 提供优先级控制: 访问控制域中的优先级位给出令牌的优先级, 只有当要发送的帧的优先级大于等于令牌的优先级时才能获得令牌, 站还可以预约某个优先级的令牌



# IEEE 802.5 令牌环（续）

## ■ 环的维护

- 环上存在一个监控站，负责环的维护，通过站的竞争产生
- 监控站的职责
  - 保证令牌不丢失
  - 处理环断开情况
  - 清除坏帧，检查无主帧



# 光纤分布式数据接口

## ■ FDDI (Fiber Distributed Data Interface)

### ■ 特征

- 使用多模光纤作为传输介质
- MAC 协议与 Token Ring 类似
- 100M 的速率
- 采用 4B5B 编码方法
  - 32 中组合中的 16 种表示数据，3 种表示定界符，2 种表示控制，3 种表示硬件信号，8 种保留
- 最大距离 200 公里
- 最多 1000 个站点

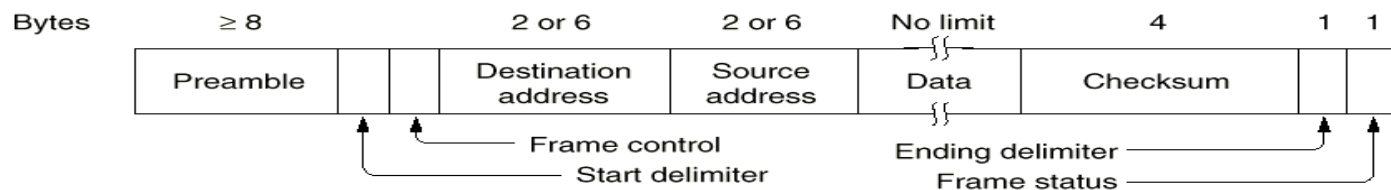


Fig. 4-46. FDDI frame format.





# 光纤分布式数据接口（续）

- 通常作为连接 LAN 的主干网络
- FDDI 的双环操作
- FDDI 定义了两类站：A 类站连接双环，B 类站连接单环。
- 为提高信道利用率，站点发完数据后立即产生新令牌，环上可能同时存在多个帧

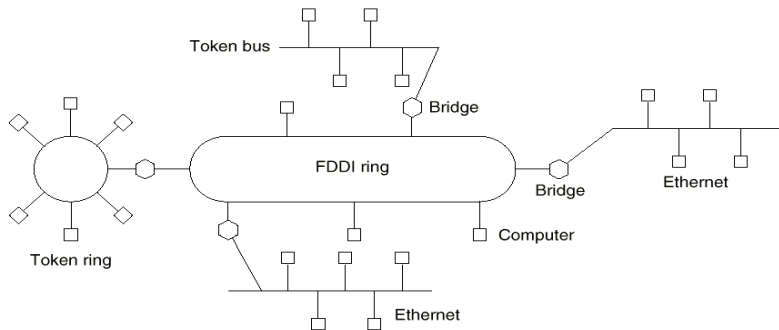


Fig. 4-44. An FDDI ring being used as a backbone to connect LANs and computers.

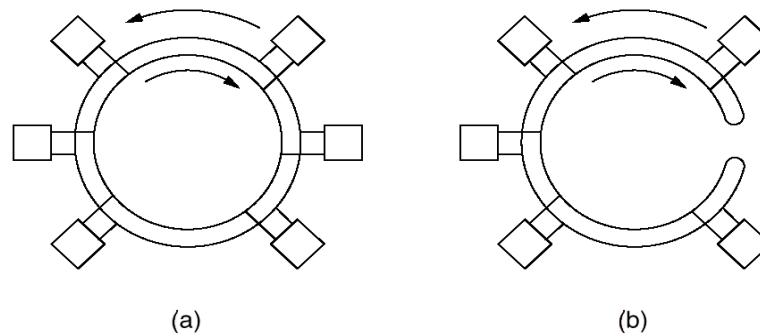


Fig. 4-45. (a) FDDI consists of two counterrotating rings. (b) In the event of failure of both rings at one point, the two rings can be joined together to form a single long ring.



- FDDI的hub



# DPT/RPR

- **Dynamic Packet Transport**
- Cisco 的技术，主要用于城域网
- **OC-12 (622 Mbps), OC-48 (2.488 Gbps)**
- 结合了IP带宽利用率高、服务种类丰富的特点和光纤环高带宽、自愈的特点
- DPT 环是双环，每个环都同时用于用户数据和控制数据的传输
- **Spatial Reuse Protocol (SRP)**
  - SRP 是介质无关的 MAC 层协议，用来实现 DPT 在光纤环情况上的功能
  - SRP 提供基本的寻址，报文封装，带宽控制和控制信息的传输机制



## DPT/RPR（续）

- **目的地提取报文:** 报文被目的节点从环上取下，不继续占用带宽。这样 DPT 环可以提供空间复用，使得多个不同网段可以同时全速使用带宽
- DPT 结合了 SONET/SDH 的处理能力和第二层的管理能力，来实现 **多层性能监视，错误检查和错误隔离功能**

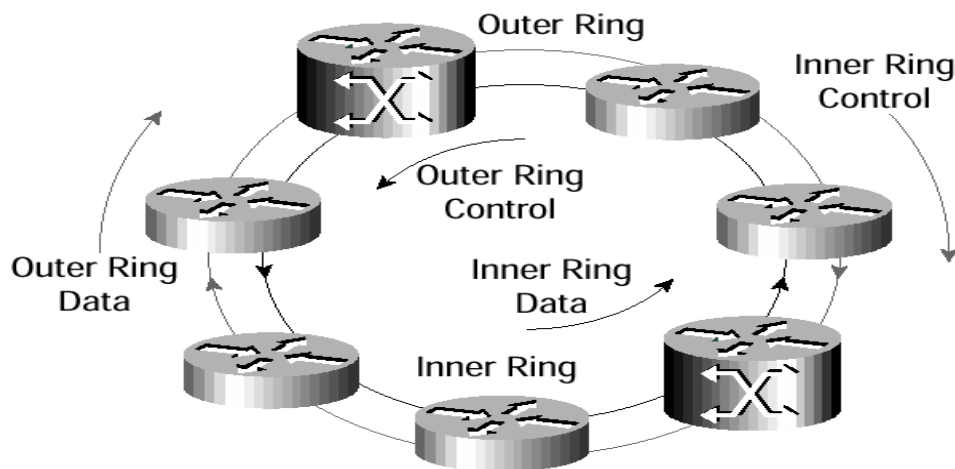


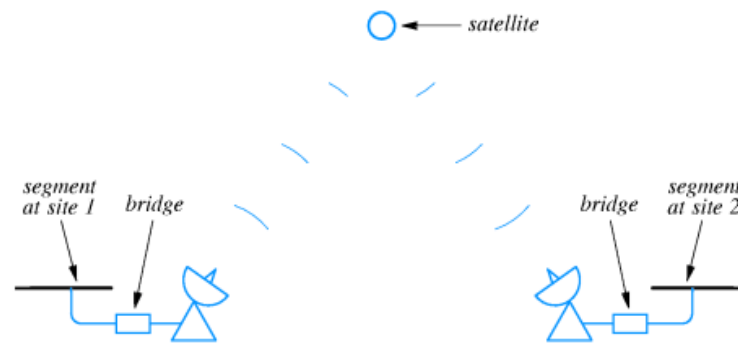
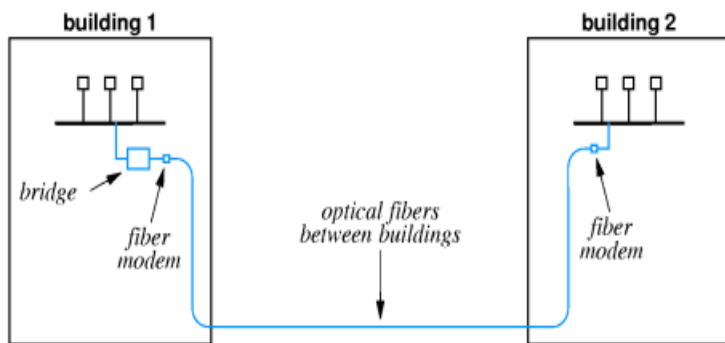
Figure 2 Cisco DPT Line Card





# 网桥技术

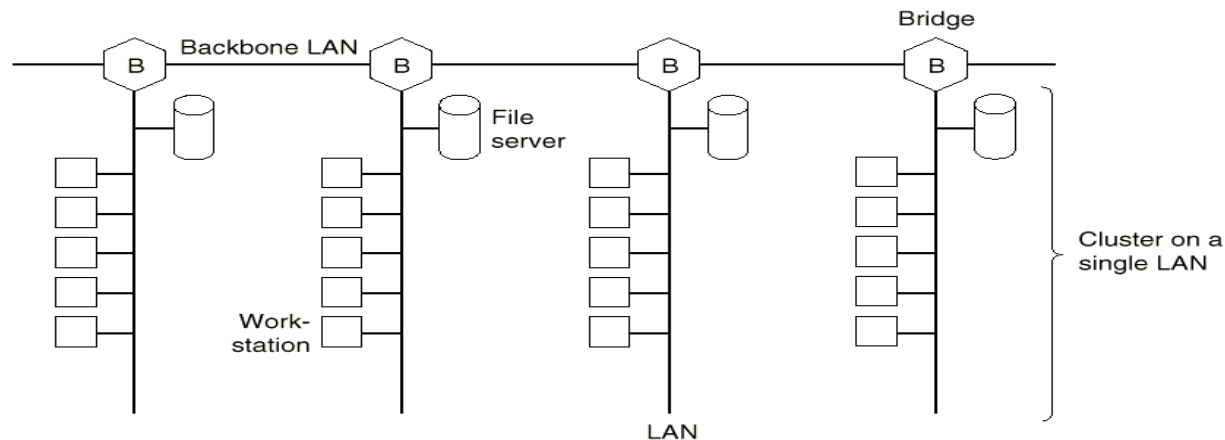
- **定义：**网桥（bridge）是工作在数据链路层的一种网络互连设备，它在互连的LAN之间实现帧的存储和转发
- **为什么使用网桥？**
  - 两个LAN之间的距离超过2500米，一个比较经济的方案是使用桥将它们连接起来





## 网桥技术（续）

- 将一个负载很重的大 LAN 分隔成使用网桥互连的几个 LAN 以减轻负担，防止出故障的站点损害全网
  - 冲突域：在使用 CSMA/CD 协议的以太网中，如果两个站点同时发送帧会产生冲突，则这个 CSMA/CD 网络就是一个冲突域
  - 中继器不能隔离冲突域，网桥/交换机可以隔离冲突域



**Fig. 4-34.** Multiple LANs connected by a backbone to handle a total load higher than the capacity of a single LAN.



## 网桥技术（续）

---

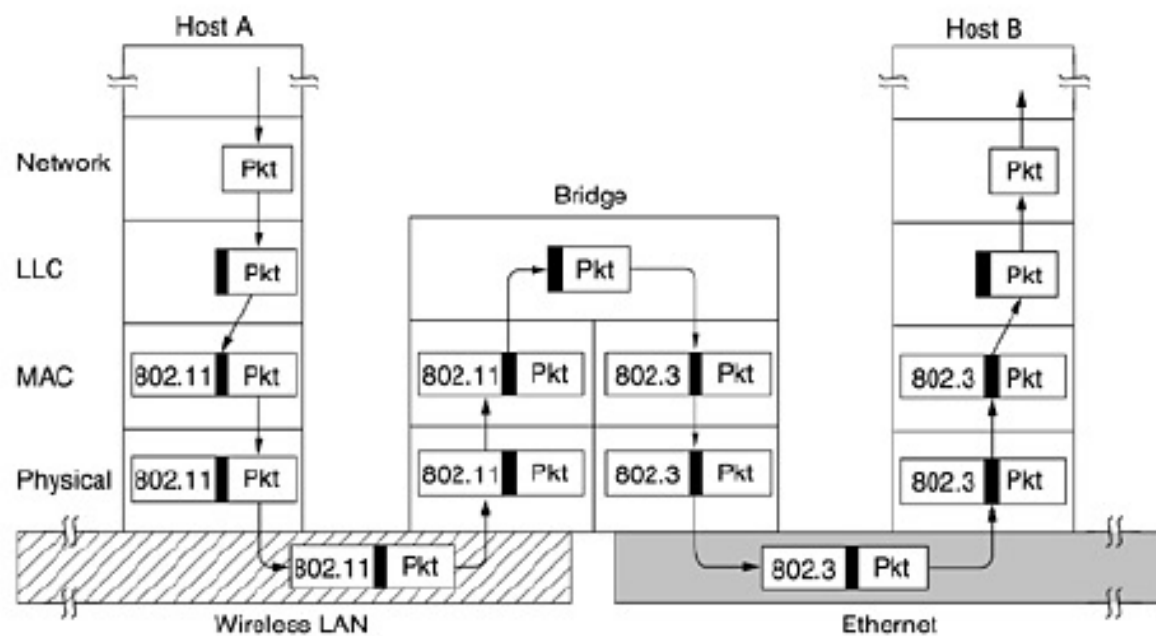
- 网桥可以互连不同类型的LAN
- 网桥可以有助于安全保密



# 网桥技术（续）

## ■ 网桥的工作原理

- 连接  $k$  个不同 LAN 的网桥具有  $k$  个 MAC 子层和  $k$  个物理层







# 连接 802. X和 802. Y的网桥

## ■ 互连时需要解决的不同问题

- 不同 LAN 帧格式的转换
- 不同的 LAN 速率不同，网桥要有缓存能力
- 高层协议的计时器设置
- 不同的 LAN 支持的最大帧长度不同，分别为1500，8191，5000。解决办法：丢弃无法转发的帧

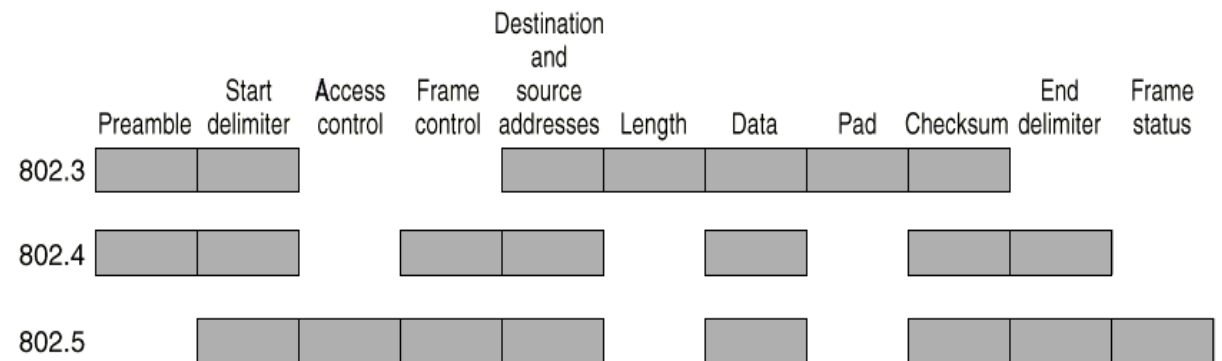


Fig. 4-36. The IEEE 802 frame formats.



# 连接 802. X和 802. Y的网桥（续）

## ■ 三种不同的LAN互连共有九种组合

### ■ 操作

- 格式转换和重新计算校验和
- 变换位的顺序
- 复制优先级
- 产生一个虚拟的优先级
- 放弃优先级
- 把环排空
- 设置A/C位
- 解决速率快慢问题
- 处理帧太长的的问题

	Destination LAN		
	802.3 (CSMA/CD)	802.4 (Token bus)	802.5 (Token ring)
Source LAN	802.3	1, 4	1, 2, 4, 8
	802.4	1, 5, 8, 9, 10	1, 2, 3, 8, 9, 10
	802.5	1, 2, 5, 6, 7, 10	6, 7

#### Actions:

1. Reformat the frame and compute new checksum
2. Reverse the bit order.
3. Copy the priority, meaningful or not.
4. Generate a fictitious priority.
5. Discard priority.
6. Drain the ring (somehow).
7. Set A and C bits (by lying).
8. Worry about congestion (fast LAN to slow LAN).
9. Worry about token handoff ACK being delayed or impossible.
10. Panic if frame is too long for destination LAN.

#### Parameters assumed:

802.3: 1500-byte frames, 10 Mbps (minus collisions)  
802.4: 8191-byte frames 10 Mbps  
802.5: 5000-byte frames 4 Mbps

Fig. 4-37. Problems encountered in building bridges from 802.x to 802.y.



# 透明网桥/生成树网桥

## ■ 工作原理

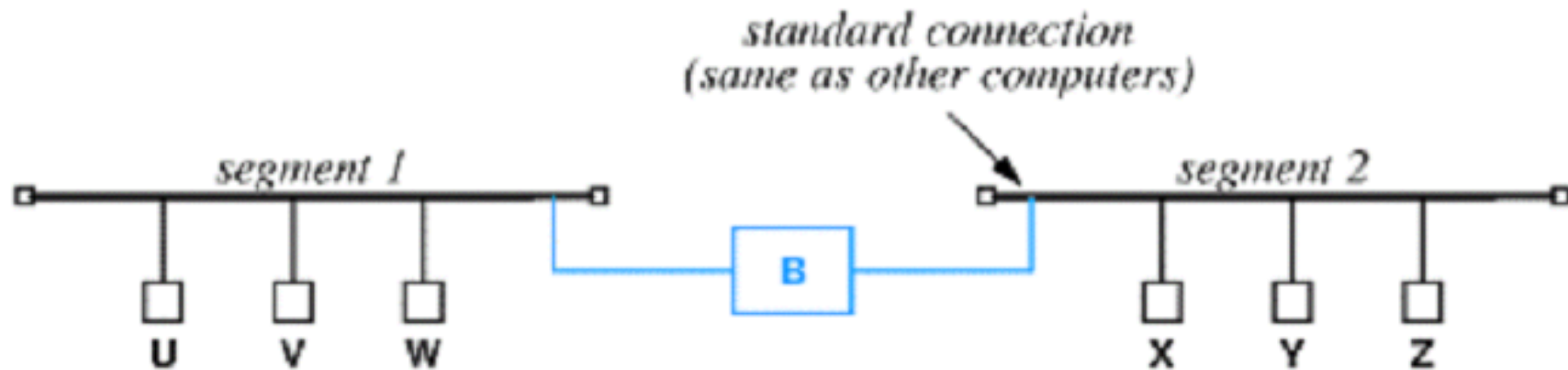
- 网桥工作在**混杂 (promiscuous) 方式**，接收所有的帧
- 网桥接收到一帧后，通过查询地址/端口对应表来确定是丢弃还是转发
- 网桥刚启动时，地址/端口对应表为空，采用**洪泛 (flooding)** 方法转发帧
- 在转发过程中采用**逆向学习 (backward learning)** 算法收集 MAC 地址。  
网桥通过分析帧的源 MAC 地址得到 MAC 地址与端口的对应关系,并写入地址/端口对应表
- 网桥软件对地址/端口对应表进行不断的更新，并定时检查，删除在一段时间内没有更新的地址/端口项



# 透明网桥/生成树网桥（续）

## ■ 帧的路由过程

- 目的 LAN 与源 LAN 相同，则丢弃帧
- 目的 LAN 与源 LAN 不同，则转发帧
- 目的 LAN 未知，则洪泛帧



Event	Segment 1 List	Segment 2 List
Bridge boots	—	—
U sends to V	U	—
V sends to U	U, V	—
Z broadcasts	U, V	Z
Y sends to V	U, V	Z, Y
Y sends to X	U, V	Z, Y
X sends to W	U, V	Z, Y, X
W sends to Z	U, V, W	Z, Y, X



# 透明网桥/生成树网桥（续）

- 多个网桥（并行网桥）可能产生回路

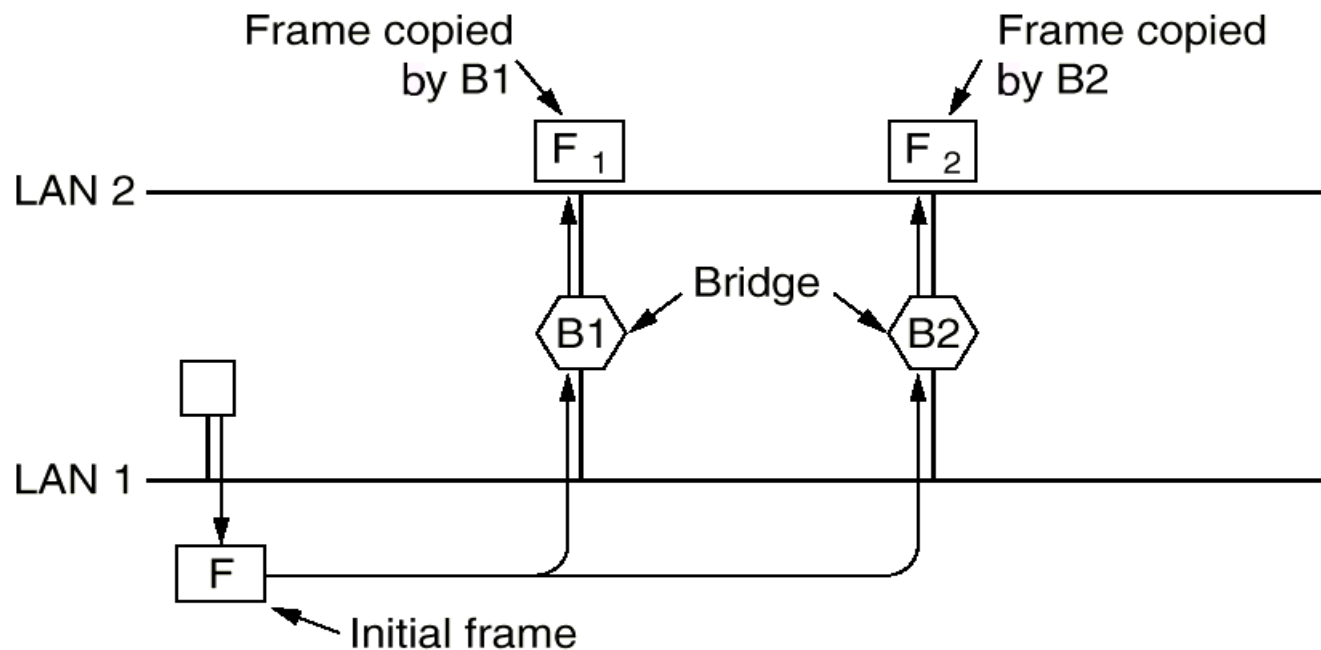


Fig. 4-39. Two parallel transparent bridges.



# 透明网桥/生成树网桥（续）

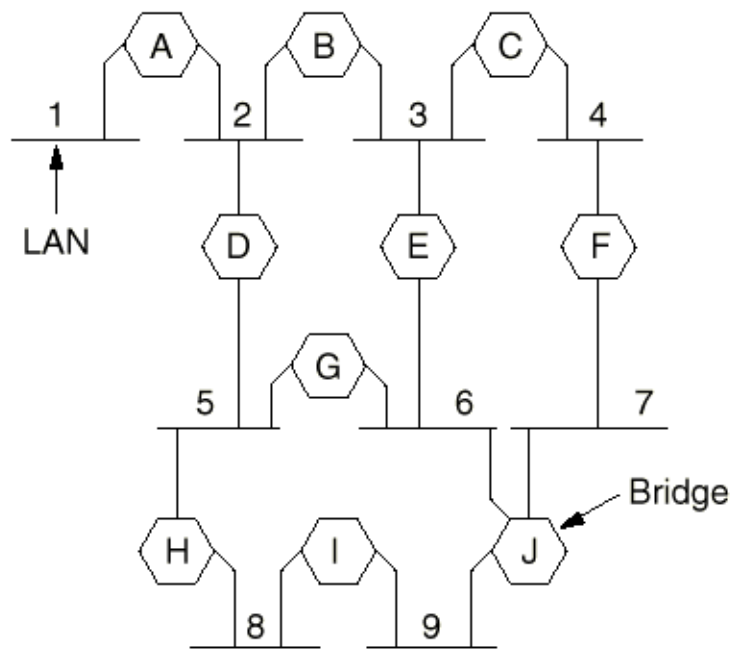
## ■ 解决多个网桥产生回路的问题

### ■ 思想

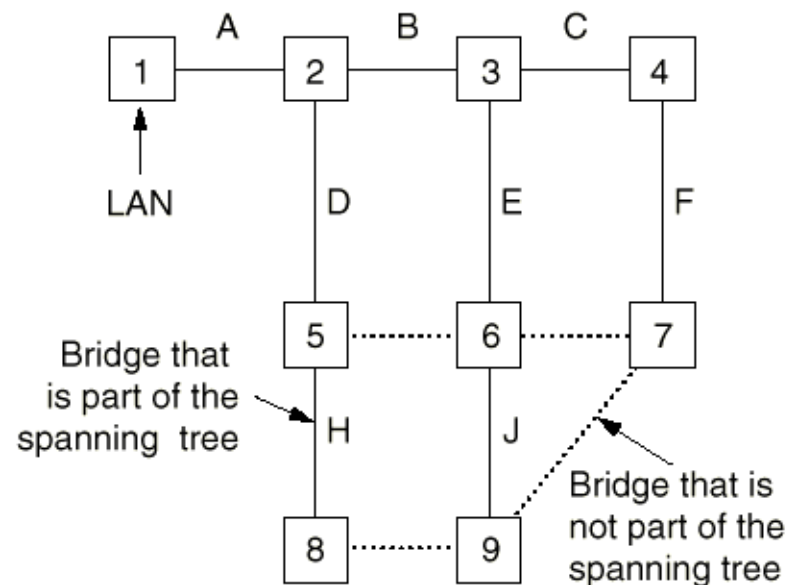
- 让网桥之间互相通信，用一棵连接每个LAN的生成树（Spanning Tree）覆盖实际的拓扑结构

### ■ 构造生成树

- 每个桥广播自己的桥编号，号最小的桥称为生成树的根
- 每个网桥计算自己到根的最短路径，构造出生成树，使得每个LAN和桥到根的路径最短
- 当某个LAN或网桥发生故障时，要重新计算生成树
- 生成树构造完后，算法继续执行以便自动发现拓扑结构变化，更新生成树



(a)



(b)

**Fig. 4-40.** (a) Interconnected LANs. (b) A spanning tree covering the LANs. The dotted lines are not part of the spanning tree.





# 透明网桥/生成树网桥（续）

## ■ 生成树协议 (Spanning Tree Protocol, STP) 发明人Radia Perlman

- 1983年，在DEC公司时发明生成树协议STP (Spanning Tree Protocol)
- 因生成树算法基础而深远的贡献，被人尊称为互联网之母
- 美国工程院院士、入选互联网名人堂，获 Sigcomm 终身成就奖

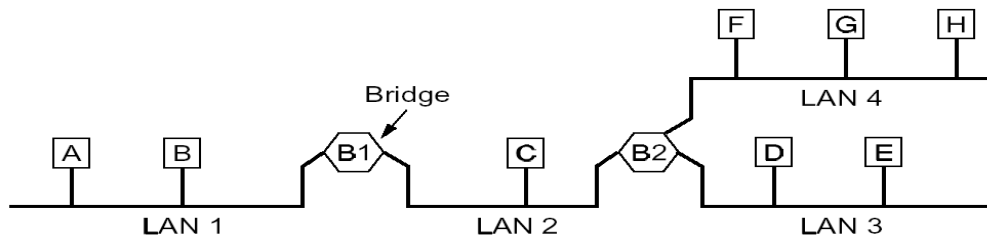


*I think that I shall never see  
A graph more lovely than a tree.  
A tree whose crucial property  
Is loop-free connectivity.  
A tree that must be sure to span  
So packets can reach every LAN.  
First, the root must be selected.  
By ID, it is elected.  
Least cost paths from root are traced.  
In the tree, these paths are placed.  
A mesh is made by folks like me,  
Then bridges find a spanning tree.  
— Radia Perlman Algorhyme*



# 源路由网桥

- CSMA/CD 和 Token Bus 选择了透明网桥，Token Ring 选择了源路由网桥
- 源路由网桥的原理
  - 帧的发送者知道目的主机是否在自己的 LAN 内
  - 如果不在，在发出的帧头内构造一个准确的路由序列，包含要经过的网桥、LAN 的编号。并将发出的帧的源地址的最高位置1
    - 例：图中A到D的路由为: (L1, B1, L2, B2, L3)





## 源路由网桥（续）

- 每个 LAN 有一个 12 位的编号，每个网桥有一个 4 位的编号
- 网桥只接收源地址的最高位为 1 的帧，判定是转发还是丢弃
- 源路由的产生：每个站点通过广播“发现帧” (discovery frame) 来获得各个站点的最佳路由
  - 若目的地址未知，源站发送“发现帧”，每个网桥收到后广播，目的站收到后发应答帧，该帧经过网桥时被加上网桥的标识，源站收到后就知道到目的站的最佳路由
- 优点：对带宽进行最优的使用
- 缺点：网桥的插入对于网络是不透明的，需要人工干预



# 网桥的比较

Issue	Transparent bridge	Source routing bridge
Orientation	Connectionless	Connection-oriented
Transparency	Fully transparent	Not transparent
Configuration	Automatic	Manual
Routing	Suboptimal	Optimal
Locating	Backward learning	Discovery frames
Failures	Handled by the bridges	Handled by the hosts
Complexity	In the bridges	In the hosts

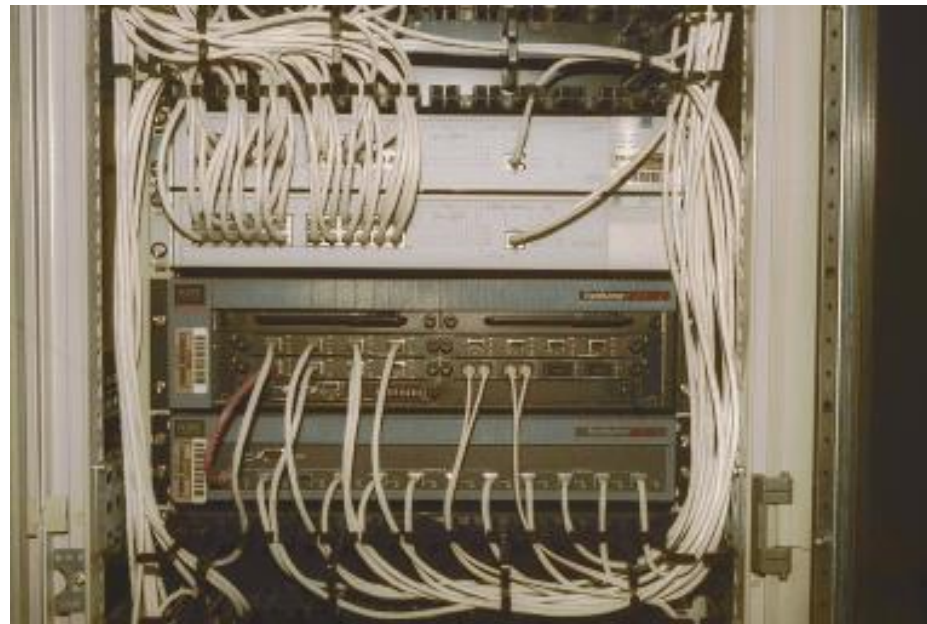
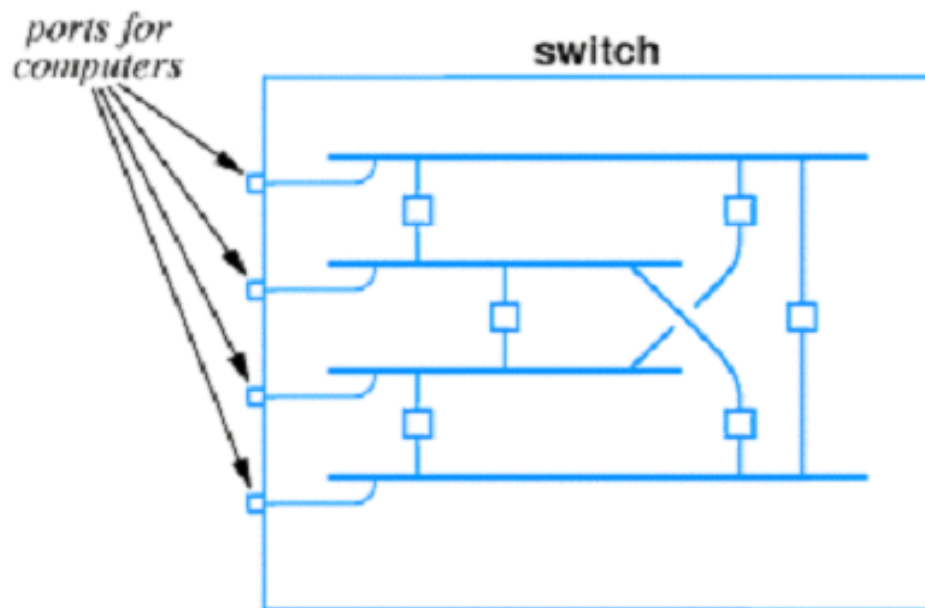
**Fig. 4-42.** Comparison of transparent and source routing bridges.



- **无线网桥，用于连接无线局域网和一般的局域网**



# 交换机



- 交换机内的电路让每个计算机位于单独的局域网网段上并与其他网段通过网桥连接



**1.4.1 10BASE2:** IEEE 802.3 Physical Layer specification for a 10 Mb/s CSMA/CD local area network over RG 58 coaxial cable. (See IEEE 802.3 Clause 10.)

**1.4.2 10BASE5:** IEEE 802.3 Physical Layer specification for a 10 Mb/s CSMA/CD local area network over coaxial cable (i.e., thicknet). (See IEEE 802.3 Clause 8.)

**1.4.3 10BASE-F:** IEEE 802.3 Physical Layer specification for a 10 Mb/s CSMA/CD local area network over fiber optic cable. (See IEEE 802.3 Clause 15.)

**1.4.9 10BASE-T:** IEEE 802.3 Physical Layer specification for a 10 Mb/s CSMA/CD local area network over two pairs of twisted-pair telephone wire. (See IEEE 802.3 Clause 14.)

**1.4.10 100BASE-FX:** IEEE 802.3 Physical Layer specification for a 100 Mb/s CSMA/CD local area network over two optical fibers. (See IEEE 802.3 Clauses 24 and 26.)

**1.4.11 100BASE-T:** IEEE 802.3 Physical Layer specification for a 100 Mb/s CSMA/CD local area network. (See IEEE 802.3 Clauses 22 and 28.)

**1.4.12 100BASE-T2:** IEEE 802.3 specification for a 100 Mb/s CSMA/CD local area network over two pairs of Category 3 or better balanced cabling. (See IEEE 802.3 Clause 32.)

**1.4.13 100BASE-T4:** IEEE 802.3 Physical Layer specification for a 100 Mb/s CSMA/CD local area network over four pairs of Category 3, 4, and 5 unshielded twisted-pair (UTP) wire. (See IEEE 802.3 Clause 23.)

**1.4.14 100BASE-TX:** IEEE 802.3 Physical Layer specification for a 100 Mb/s CSMA/CD local area network over two pairs of Category 5 unshielded twisted-pair (UTP) or shielded twisted-pair (STP) wire. (See IEEE 802.3 Clauses 24 and 25.)





**1.4.15 100BASE-X:** IEEE 802.3 Physical Layer specification for a 100 Mb/s CSMA/CD local area network that uses the Physical Medium Dependent (PMD) sublayer and Medium Dependent Interface (MDI) of the ISO/IEC 9314 group of standards developed by ASC X3T12 (FDDI). (See IEEE 802.3 Clause 24.)

**1.4.16 1000BASE-CX:** 1000BASE-X over specialty shielded balanced copper jumper cable assemblies. (See IEEE 802.3 Clause 39.)

**1.4.17 1000BASE-LX:** 1000BASE-X using long wavelength laser devices over multimode and single-mode fiber. (See IEEE 802.3 Clause 38.)

**1.4.18 1000BASE-SX:** 1000BASE-X using short wavelength laser devices over multimode fiber. (See IEEE 802.3 Clause 38.)

**1.4.19 1000BASE-T:** IEEE 802.3 Physical Layer specification for a 1000 Mb/s CSMA/CD LAN using four pairs of Category 5 balanced copper cabling. (See IEEE 802.3 Clause 40.)

**1.4.20 1000BASE-X:** IEEE 802.3 Physical Layer specification for a 1000 Mb/s CSMA/CD LAN that uses a Physical Layer derived from ANSI X3.230-1994 (FC-PH) [B19]<sup>9</sup>. (See IEEE 802.3 Clause 36.)

**1.4.46 bridge:** A layer 2 interconnection device that does not form part of a CSMA/CD collision domain but conforms to the ISO/IEC 15802-3: 1998 [ANSI/IEEE 802.1D, 1998 Edition] International Standard. A bridge does not form part of a CSMA/CD collision domain but, rather appears as a Media Access Control (MAC) to the collision domain. (See also IEEE Std 100-1996.)





**1.4.50 carrier sense:** In a local area network, an ongoing activity of a data station to detect whether another station is transmitting. *Note*—The carrier sense signal indicates that one or more DTEs are currently transmitting.

**1.4.74 collision:** A condition that results from concurrent transmissions from multiple data terminal equipment (DTE) sources within a single collision domain.

**1.4.75 collision domain:** A single, half duplex mode CSMA/CD network. If two or more Media Access Control (MAC) sublayers are within the same collision domain and both transmit at the same time, a collision will occur. MAC sublayers separated by a repeater are in the same collision domain. MAC sublayers separated by a bridge are within different collision domains. (See IEEE 802.3.)

**1.4.120 Fibre Distributed Data Interface (FDDI):** A 100 Mb/s, fiber optic-based, token-ring local area network standard (ISO/IEC 9314, formerly X3.237-1995).

**1.4.124 full duplex:** A mode of operation of a network, DTE, or Medium Attachment Unit (MAU) that supports duplex transmission as defined in IEEE Std 100-1996. Within the scope of this standard, this mode of operation allows for simultaneous communication between a pair of stations, provided that the Physical Layer is capable of supporting simultaneous transmission and reception without interference. (See IEEE 802.3.)

**1.4.128 half duplex:** A mode of operation of a CSMA/CD local area network (LAN) in which DTEs contend for access to a shared medium. Multiple, simultaneous transmissions in a half duplex mode CSMA/CD LAN result in interference, requiring resolution by the CSMA/CD access control protocol. (See IEEE 802.3.)



**1.4.130 header hub (HH):** The highest-level hub in a hierarchy of hubs. The HH broadcasts signals transmitted to it by lower-level hubs or DTEs such that they can be received by all DTEs that may be connected to it either directly or through intermediate hubs. (See IEEE 802.3, 12.2.1 for details.)

**1.4.131 hub:** A device used to provide connectivity between DTEs. Hubs perform the basic functions of restoring signal amplitude and timing, collision detection, and notification and signal broadcast to lower-level hubs and DTEs. (See IEEE 802.3 Clause 12.)

**1.4.133 in-band signaling:** The transmission of a signal using a frequency that is within the bandwidth of the information channel. *Contrast with:* **out-of-band signaling**. *Syn:* **in-channel signaling**. (From IEEE Std 610.7-1995 [B25].)

**1.4.134 intermediate hub (IH):** A hub that occupies any level below the header hub in a hierarchy of hubs. (See IEEE 802.3, 12.2.1 for details.)

**1.4.135 Inter-Packet Gap (IPG):** A delay or time gap between CSMA/CD packets intended to provide interframe recovery time for other CSMA/CD sublayers and for the Physical Medium. (See IEEE 802.3,

4.2.3.2.1 and 4.2.3.2.2.) For example, for 10BASE-T, the IPG is 9.6  $\mu$ s (96 bit times); for 100BASE-T, the IPG is 0.96  $\mu$ s (96 bit times).

**1.4.227 segment:** The medium connection, including connectors, between Medium Dependent Interfaces (MDIs) in a CSMA/CD local area network.

**1.4.246 switch:** A layer 2 interconnection device that conforms to the ISO/IEC 10038 [ANSI/IEEE 802.1D-1990] International Standard. *Syn:* **bridge**.



**1.4.154 Media Access Control (MAC):** The data link sublayer that is responsible for transferring data to and from the Physical Layer.

**1.4.155 Media Independent Interface (MII):** A transparent signal interface at the bottom of the Reconciliation sublayer. (See IEEE 802.3 Clause 22.)

**1.4.156 Medium Attachment Unit (MAU):** A device containing an Attachment Unit Interface (AUI), Physical Medium Attachment (PMA), and Medium Dependent Interface (MDI) that is used to connect a repeater or data terminal equipment (DTE) to a transmission medium.

**1.4.157 Medium Dependent Interface (MDI):** The mechanical and electrical interface between the transmission medium and the Medium Attachment Unit (MAU) (10BASE-T) or PHY (100BASE-T).

**1.4.215 repeater:** Within IEEE 802.3, a device as specified in Clauses 9 and 27 that is used to extend the length, topology, or interconnectivity of the physical medium beyond that imposed by a single segment, up to the maximum allowable end-to-end transmission line length. Repeaters perform the basic actions of restoring signal amplitude, waveform, and timing applied to the normal data and collision signals. For wired star topologies, repeaters provide a data distribution function. In 100BASE-T, a device that allows the interconnection of 100BASE-T Physical Layer (PHY) network segments using similar or dissimilar PHY implementations (e.g., 100BASE-X to 100BASE-X, 100BASE-X to 100BASE-T4, etc.). Repeaters are only for use in half duplex mode networks. (See IEEE 802.3, Clauses 9 and 27.)



**1.4.256 twisted pair:** A cable element that consists of two insulated conductors twisted together in a regular fashion to form a balanced transmission line. (From ISO/IEC 11801: 1995.)

**1.4.257 twisted-pair cable:** A bundle of multiple twisted pairs within a single protective sheath. (From ISO/IEC 11801: 1995.)

**1.4.232 shielded twisted-pair (STP) cable:** An electrically conducting cable, comprising one or more elements, each of which is individually shielded. There may be an overall shield, in which case the cable is referred to as shielded twisted-pair cable with an overall shield (from ISO/IEC 11801: 1995). Specifically for IEEE 802.3 100BASE-TX, 150  $\Omega$  balanced inside cable with performance characteristics specified to 100 MHz (i.e., performance to Class D link standards as per ISO/IEC 11801: 1995). In addition to the requirements specified in ISO/IEC 11801: 1995, IEEE 802.3 Clauses 23 and 25 provide additional performance requirements for 100BASE-T operation over STP.

**1.4.262 unshielded twisted-pair cable (UTP):** An electrically conducting cable, comprising one or more pairs, none of which is shielded. There may be an overall shield, in which case the cable is referred to as unshielded twisted-pair with overall shield. (From ISO/IEC 11801: 1995.)