

以太网

理论课程

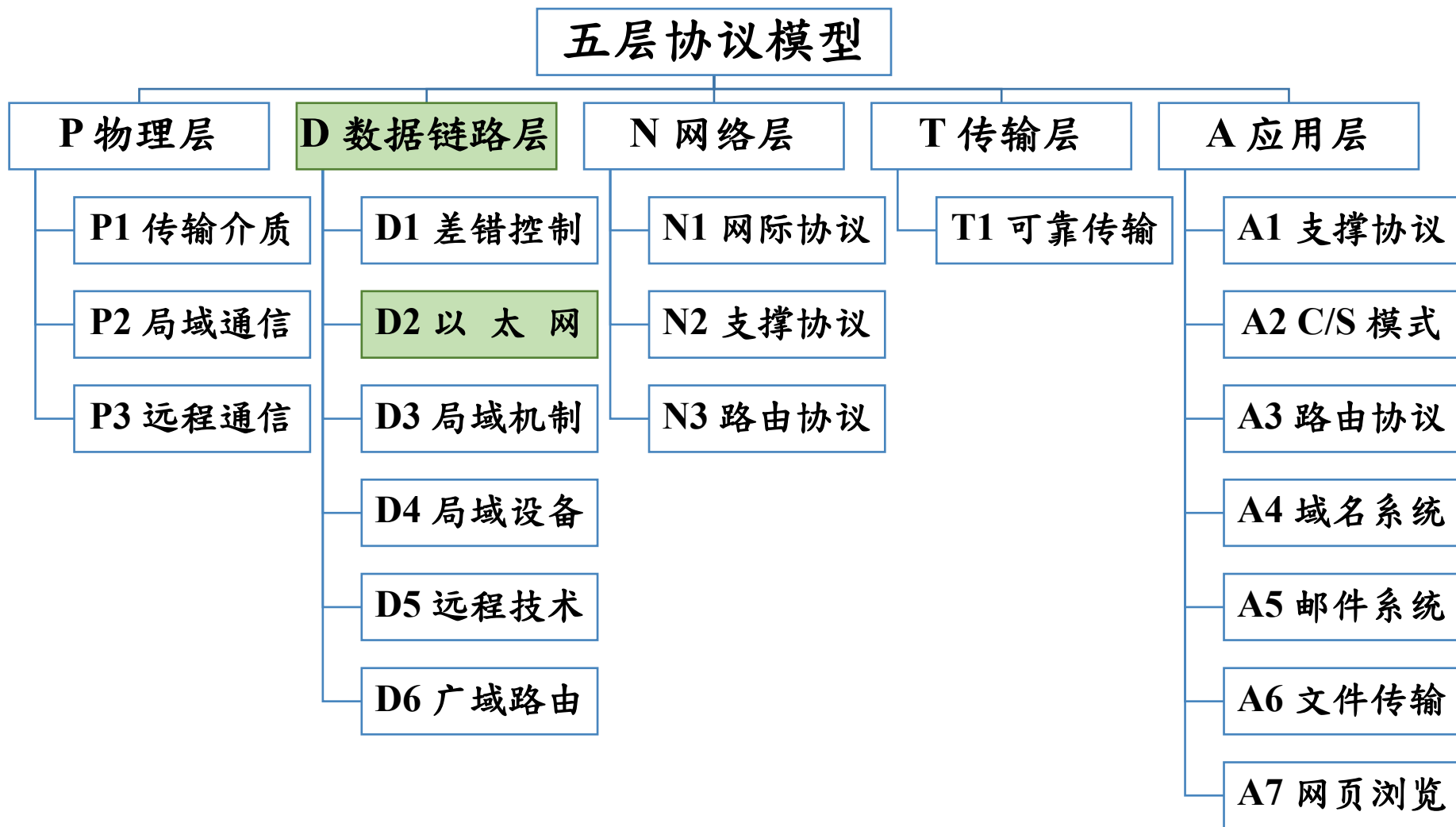


廈門大學
XIAMEN UNIVERSITY



信息学院 黄 焯
(特色化示范性软件学院) 博士, 副教授
School of Informatics Wei Huang

知识框架



主要内容

- 电路交换和分组交换
- 解复用和编址
 - MAC地址的组成；单播、多播、广播
- 帧与成帧
 - 帧的构成；以太网的帧格式
- 网卡
 - 作用；混合模式

对应课本章节

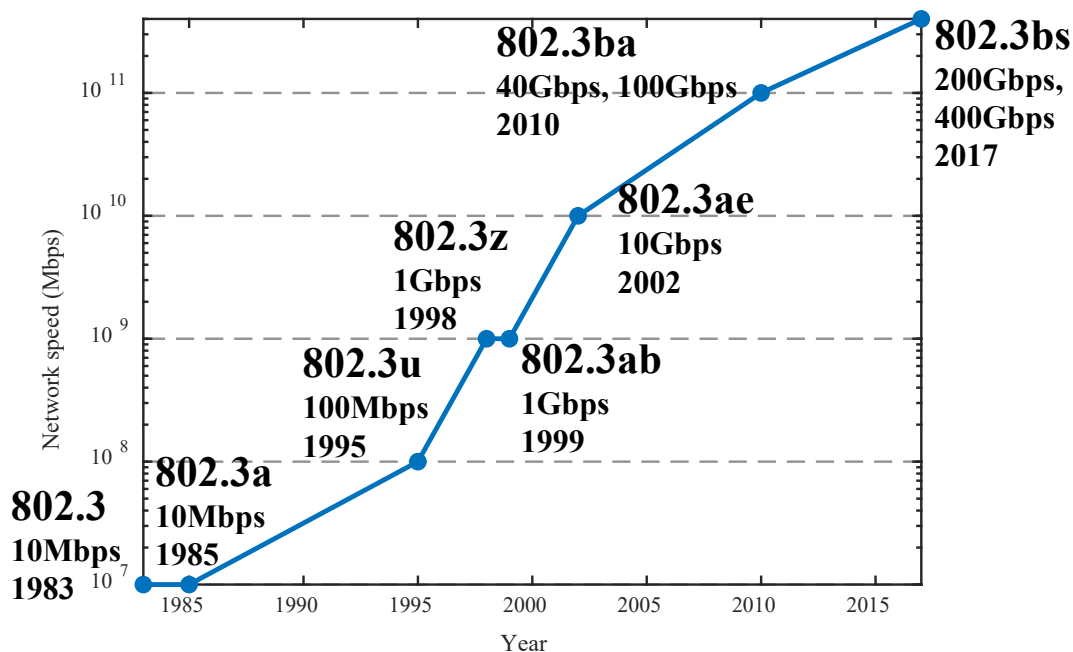
- **PART III Packet Switching And Network Technologies**
 - **Chapter 13 Local Area Networks: Packets, Frames, And Topologies**

内容纲要

1	网卡和编址
2	分组和帧
3	工作机制
4	网络拓扑

以太网 (Ethernet)

- 以太网是一种局域网技术。
 - 以太网是由Xerox公司在70年代早期发明的。
 - 以太网的标准：现在由IEEE制订并维护



网卡 (Network Interface Card)

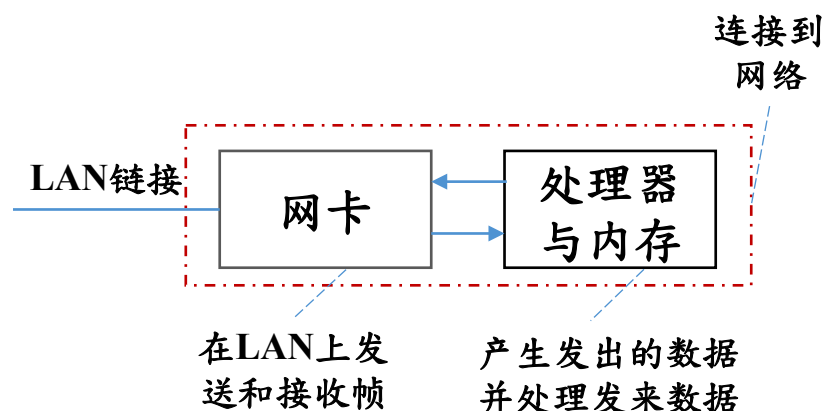
- 网卡 (全称：网络接口卡)

- 处理计算机进行网络通讯的设备
- 功能类似I/O设备，使用中断机制通知CPU
- 作用：处理地址识别、CRC计算、帧识别、发送和接收帧



- 分层处理

- 网卡：检测帧是否存在，有效性检验，判断是否接收
- CPU：判断是否传给上层处理
- 目的：减少CPU的负荷



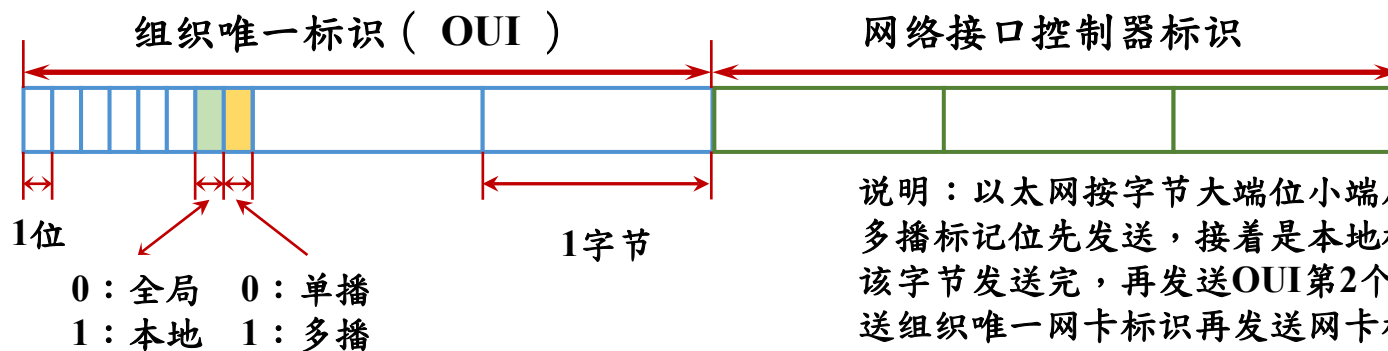
- 局域网传输速率很快，CPU无法以网络速度处理位

分组标识和解复用

- **IEEE 地址是站点的标识符 (Identifier)**
 - 局域网内要对物理地址提供检索的功能
 - 称为硬件地址 (hardware address)，物理地址 (physical address) 或 MAC 地址 (media access address)
- 为实现多方通信，局域网 (LAN) 的帧须包含
 - 发送者地址，称为源地址 (source address)
 - 接收者的地址，称为目的地址 (destination address)

IEEE编址 (Addressing) 方案

- IEEE 保证每张网卡分配到唯一的 (unique) 地址
- IEEE编址方案中，每个Ethernet 地址有48位
 - IEEE向厂家分配组织唯一标识 (OUI) ，即高24位。
 - 第1个字节最低位为0表示单播，1表示多播和广播；
 - 第一个字节最低第2位为0表示全局网址，1表示局域网址。
 - 厂家自行分配网卡标识符，即低24位。



说明：以太网按字节大端位小端序发送帧：
多播标记位先发送，接着是本地标记位，直到
该字节发送完，再发送OUI第2个字节，先发
送组织唯一网卡标识再发送网卡标识

网卡物理地址的配置方式

- 静态地址 (Static address)

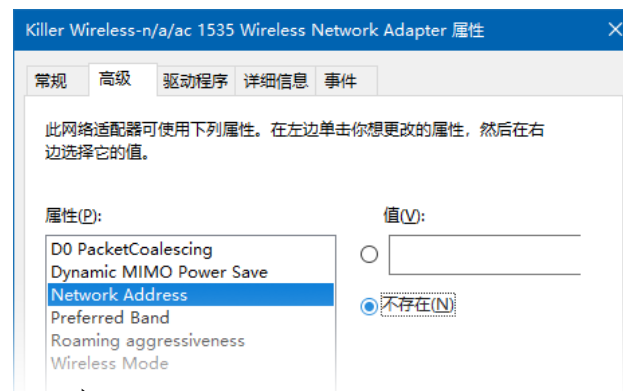
- 出厂前配置，全球唯一，永久使用
- 地址较长，查询慢

- 可配置地址 (Configurable address)

- 用户动态分配，局域网内唯一，永久有效也可随需求改变
- 地址短，查询快

- 动态地址 (Dynamic address)

- 系统启动时动态分配，局域网内唯一，可能出现冲突
- 地址短，查询快，动态不利于地址映射表的维护

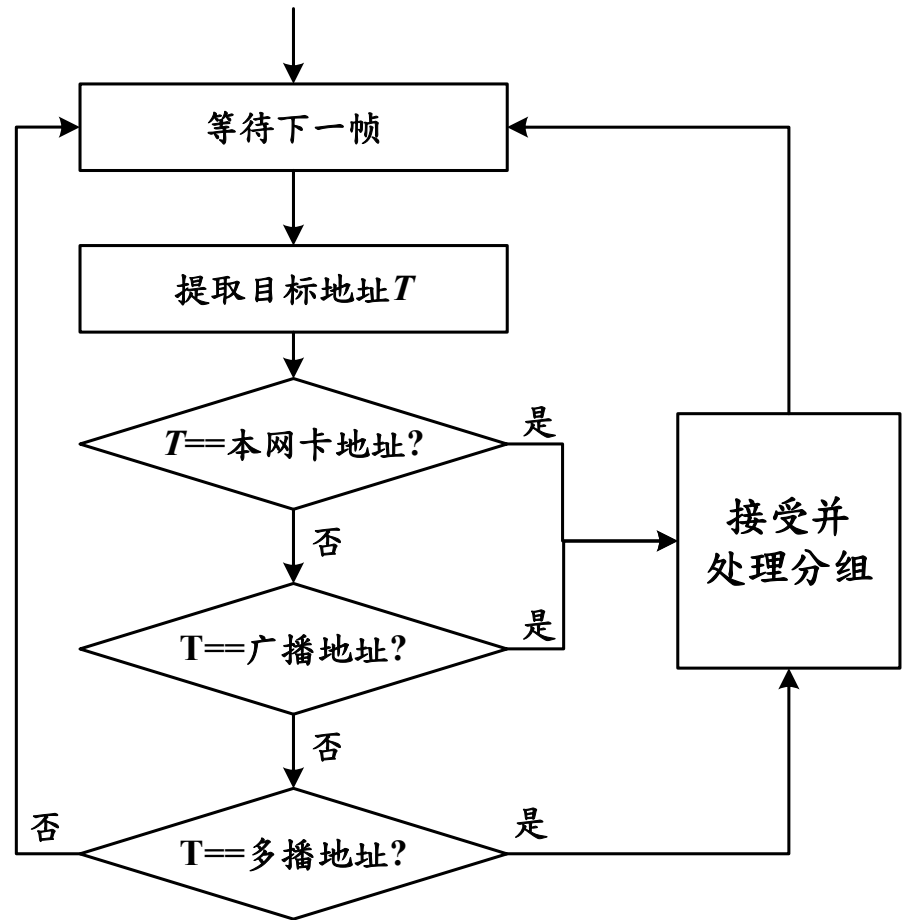


网卡通讯方式：单播，多播和广播

- 单播（unicast）帧：一对一
- 广播（broadcast）帧：一对全体，48位全为1
- 多播（multicast）帧：一对多，特定地址
 - 计算机需要向多台计算机广播信息时，若使用单播，必须向每台计算机分别发送数据，造成网络负载成倍增长。
 - 网络上所有设备的网卡分别复制数据帧，并交给CPU处理。需要接收数据帧的设备由CPU向上层传递，不需要数据帧的设备由CPU丢弃该帧。这样增加了无关设备的CPU负载。

网卡处理分组的算法

- 流程图如右图所示
- 接受并处理分组
 - 复制帧，中断CPU
 - 将复制后的帧交给CPU
- 多播地址接受并处理分组
 - 多播地址是配置在网卡的
 - 指向一个多播组



混杂模式 (Promiscuous Mode)

- 定义

- 指网卡接收所有经过它的数据流，而不过滤目的地址。

- 用途

- 混杂模式通常用于监听网络上的数据流

- 设置

- 通常安装网络监听软件之后，网卡处于混杂模式

- WinPCAP (Wireshark需要该软件)

- libPCAP

内容纲要

1	网卡和编址
2	分组和帧
3	工作机制
4	网络拓扑

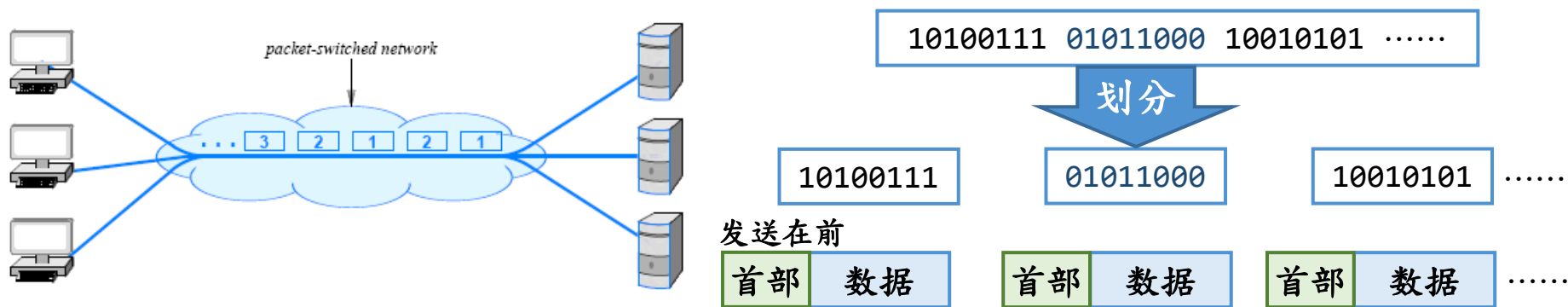
分组 (Packet)

• 分组交换

- 以分组为单位进行传输和交换的存储-转发交换方式。
 - 网络系统将数据分为小的分块，称为分组（ 又称：包 ）。
- 采用统计复用，多个来源争夺共享介质使用

• 特点

- 异步、无需建立、性能各异



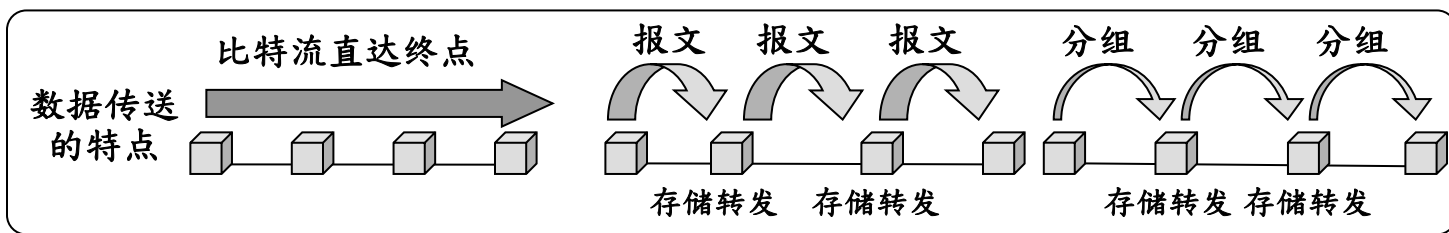
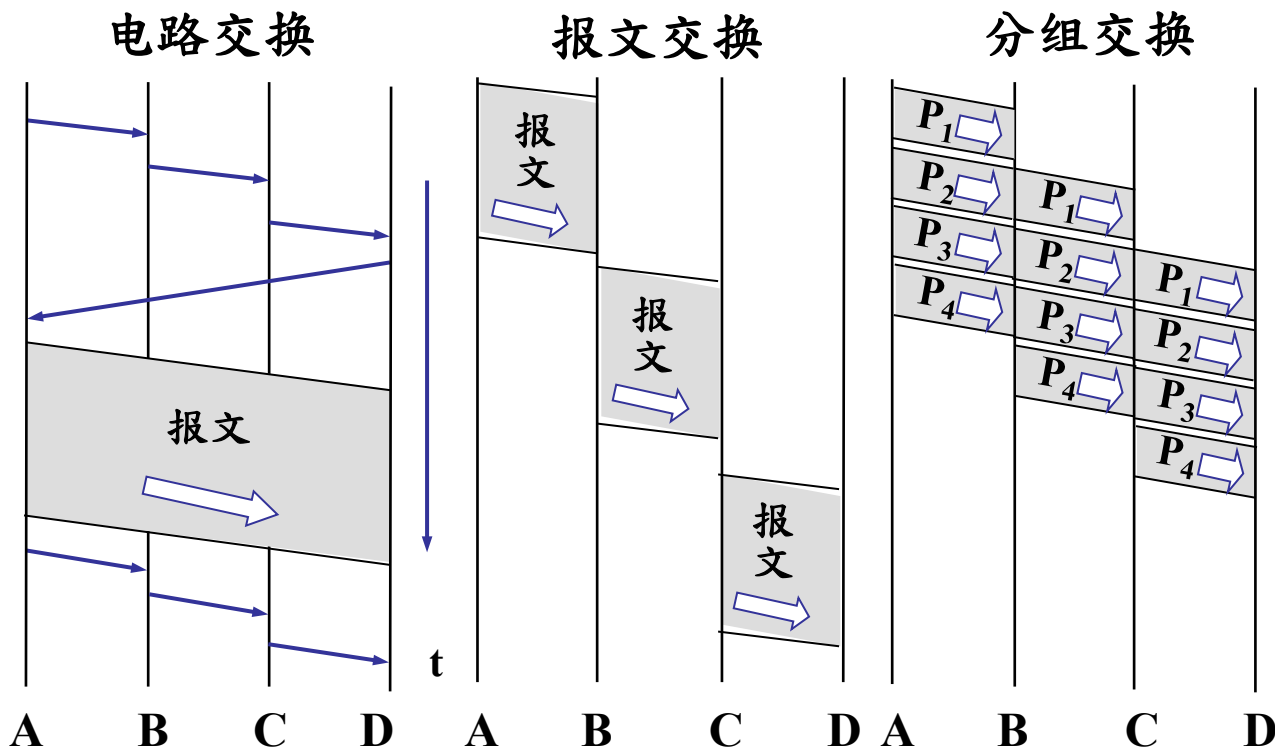
三种交换形式比较

- 电路交换

- 独立信道
- 实时性高

- 分组交换

- 信道利用率高

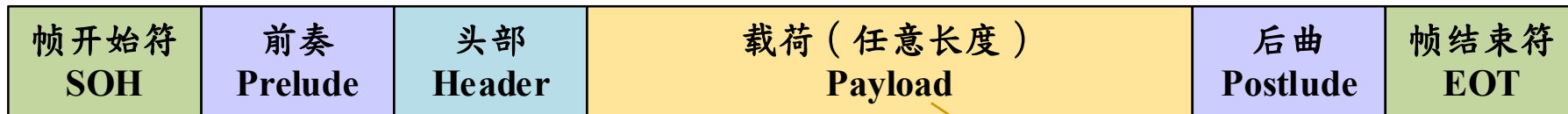


分组和硬件帧

- 帧（Frame）：用于具体网络类型的分组
 - 在分组交换网络中，每个帧对应一个分组。
- 帧结构
 - 为使发送方和接收方对消息含义达成一致的格式。
- 成帧（Framing）
 - 是指同步通信系统中使接收器知道消息开始和结束的机制。

帧的一般结构

• 帧结构



包含元数据，如用于处理帧的地址信息
网络只检查帧头，不检查载荷

有效载荷包含只对发送者和接收者有意义的字节序列

• 填充 (stuffing)

- 保证传输任意数据时不致控制混乱的字符转义方法。
- 字符填充、位填充

载荷中的字节	发送序列
帧首定界符 (SOH)	ESC A
帧尾定界符 (EOT)	ESC B
转义符 (ESC)	ESC C

以太网的帧格式

• 以太网的帧格式

前同步码	SFD	目的地址	源地址	类型	数据	CRC
7字节	1字节	6字节	6字节	2字节	46~1500 字节	4字节

— 前同步码（物理层）：56比特交替出现的0和1

▪ 提醒接收系统有帧到来，以及使到来的帧与计时器同步。

— 帧首定界符（SFD）：1字节，10101011，帧的开始。

— 目的地址：6字节；源地址：6字节。

— 类型：2字节，定义了封装在帧中的数据类型。

▪ 当帧到达目的地时接收器检查类型字段，使用该值来确定哪个软件模块应该处理帧

以太网的帧格式

• 以太网的帧格式

前同步码	SFD	目的地址	源地址	类型	数据	CRC
7字节	1字节	6字节	6字节	2字节	46~1500 字节	4字节

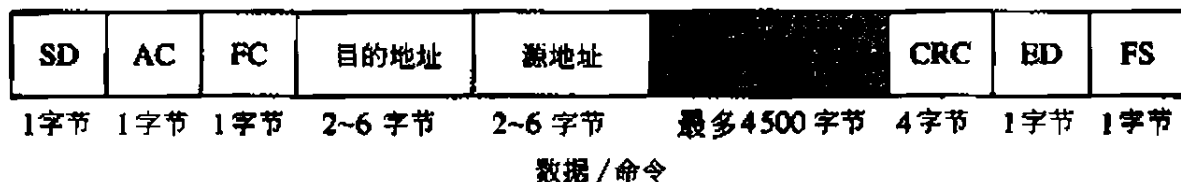
— 数据：包含从上层来的数据，必须在46 到1500 字节之间。

- 如果上层协议产生的数据长度小于46字节，则应将其填补到46字节。

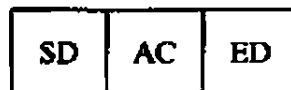
- 若数据长度超过1500 字节，上层就必须将其进行分片

— 循环冗余检验（CRC）：4字节，CRC-32，用于差错检测。

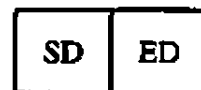
令牌环的帧格式



SD 起始定界符(标志)
 AC 接入控制(优先级)
 FC 帧控制(帧类型)
 ED 结束定界符(标志)
 FS 帧状态



令牌



异常中止

图 3.15 令牌环的帧格式

- 目的地址(DA)。这个可变长度(2 至 6 字节)字段是下一站的物理地址。
- 源地址(SA)。这个可变长度(2 至 6 字节)字段是前一站的物理地址。
- 数据。这个字段是数据。数据可多到 4500 字节。
- CRC。这个字节为 4 字节长,包含 CRC-32 检错序列(见附录 D)。
- 结束定界符(ED)。这个 1 字节字段指出发送器的数据结束,同时还包含更多的控制信息。
- 帧状态(FS)。这个 FS 字段由接收器设置,指出帧已被读取,或由监督站设置,指出该帧已在环上转了一圈。

令牌帧,令牌帧包括三个字段:SD、AC 和 ED。

异常中止帧,异常中止帧只有两个字段:SD 和 ED。当出现一些问题时,监督站使用异常中止帧来中止令牌传递机制。

IEEE的Ethernet版本 802.3

- 传统Ethernet与802.3 Ethernet区别于类型域的解释
- 新版本兼容旧版本

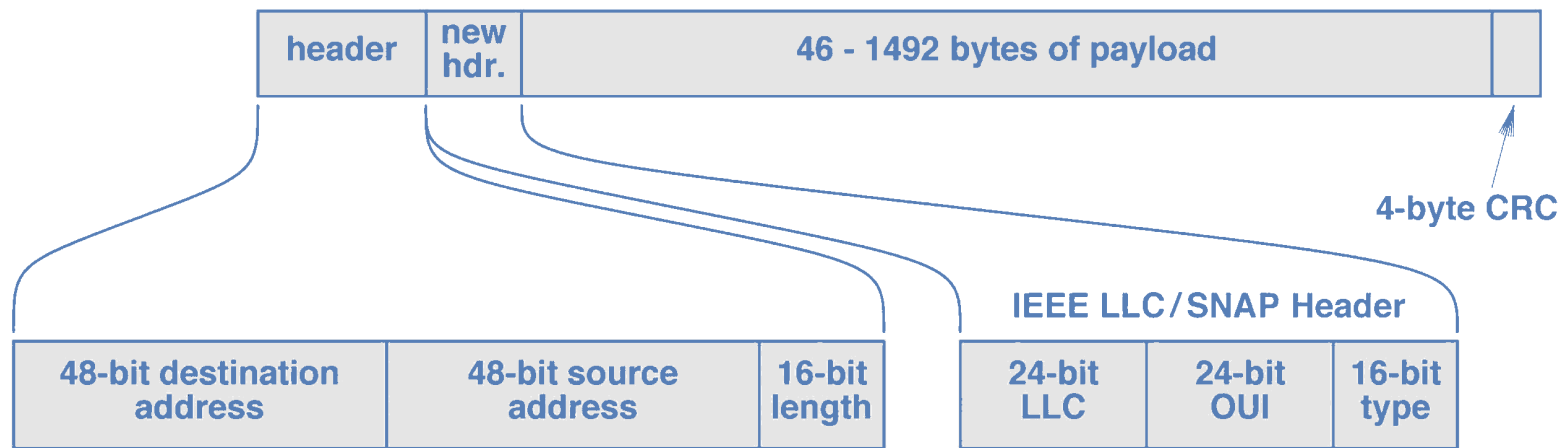


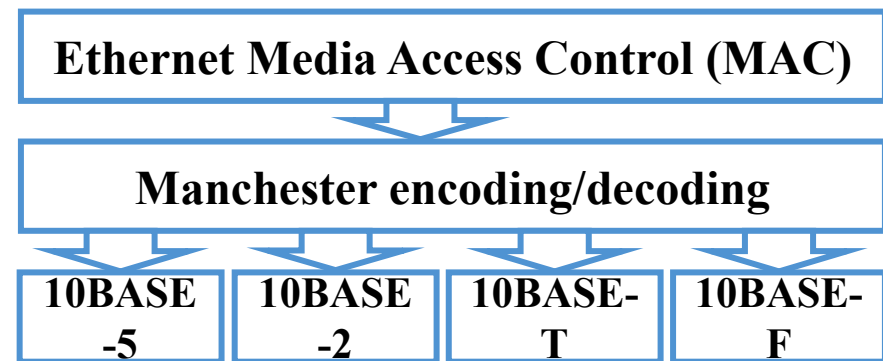
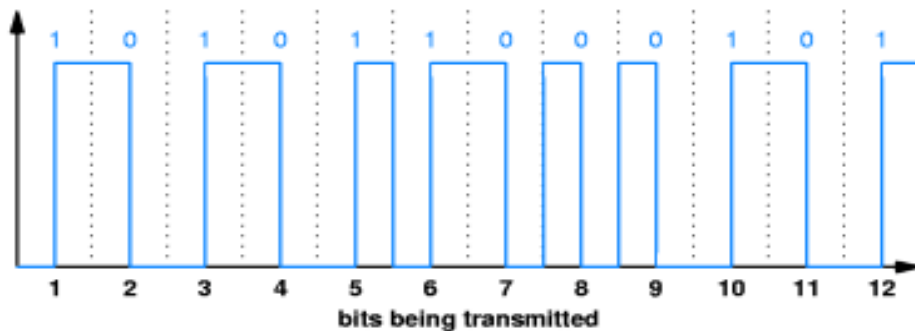
Figure 15.3 The IEEE 802.3 frame format with an LLC/SNAP header.

内容纲要

1	网卡和编址
2	分组和帧
3	工作机制
4	网络拓扑

曼彻斯特编码 (Manchester Encoding)

- 以太网标准规定帧使用曼彻斯特编码发送。
 - 硬件在边缘触发：使用上升和下降边缘编码数据
 - 下降表示0，上升表示1
 - 接收器必须知道每个时隙何时开始和何时结束。
 - 使用前同步：前同步码由64交替的1和0组成，在帧之前发送。



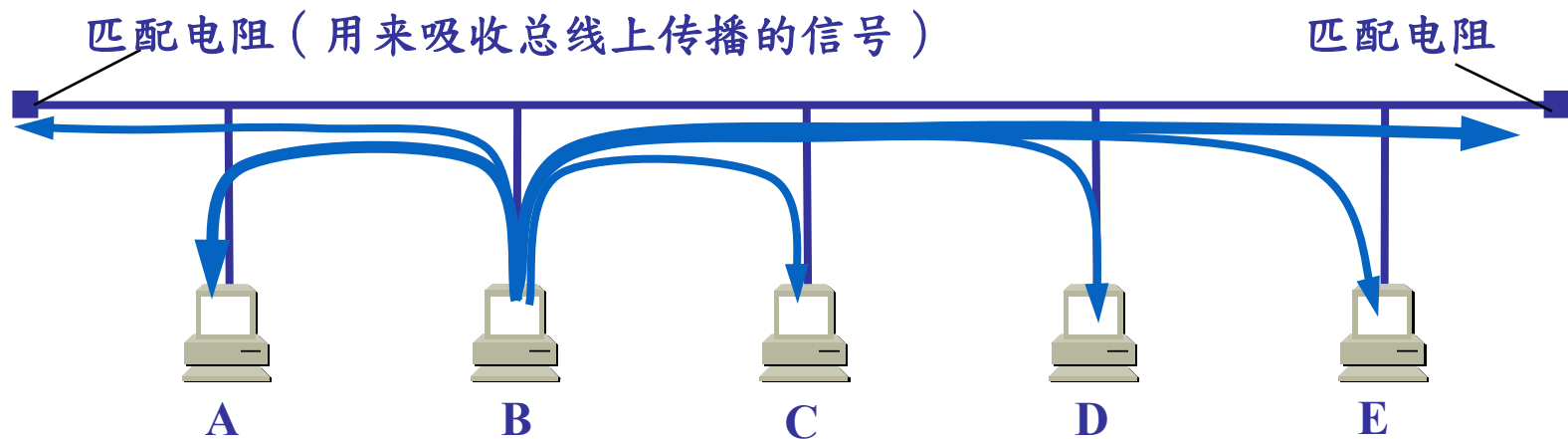
以太网版本

- 以太网版本

名称	数据速率	双工模式	线缆类型
双绞线以太网（传统以太网）	10 Mbps	半双工	5类
快速以太网	100 Mbps	半/全双工	超5类（5E）
千兆以太网	1 Gbps	半/全双工	6类，光纤
万兆以太网	10 Gbps	全双工	仅光纤

在传统以太网上共享

- 传统以太网可以视为总线型网络
 - 发送方发送的信号从发送者向共享电缆的两端传播。
 - 总线上每个工作计算机都能检测到 B 发送的数据信号。
 - 当一台计算机发送信号，其它计算机必须等待。

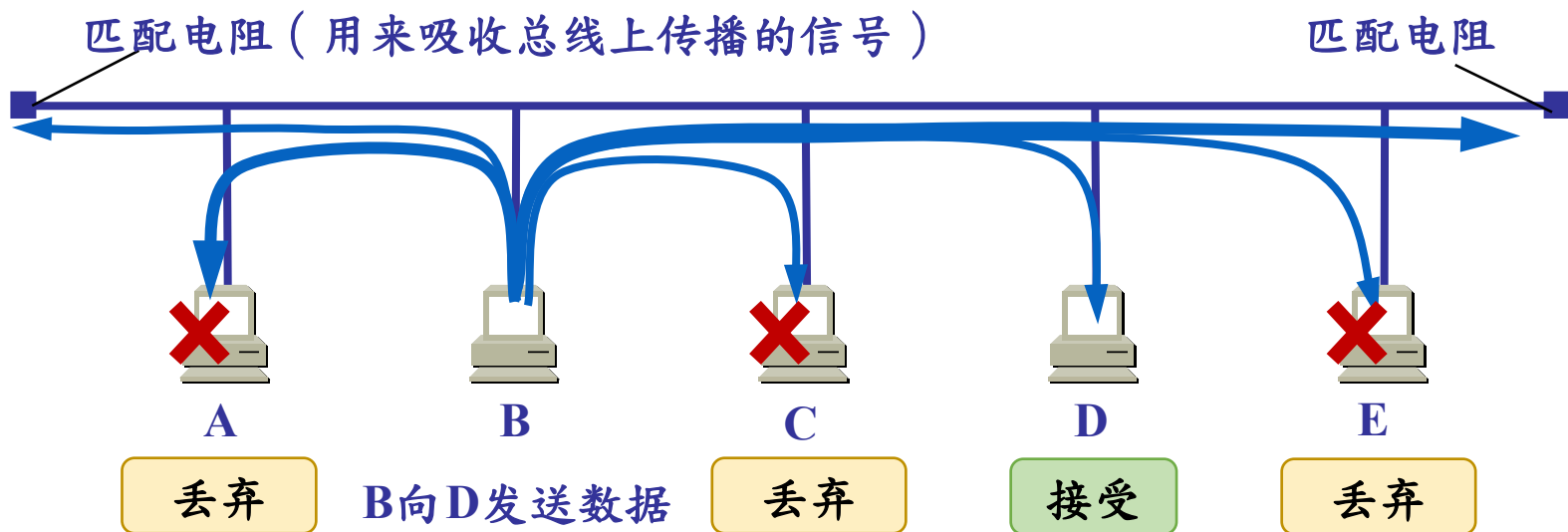


在传统以太网上共享

- 传统以太网可以视为总线型网络

- 具有广播特性的总线上实现了一对一的通信。

- 只有 D 的地址与帧目的地址一致，因此只有 D 才接收这个数据帧。
 - 其它计算机 (A, C和E) 都检测到目的地址不一致，因此丢弃该帧。



不可靠的交付

- 为了通信的简便，以太网采取了两种重要的措施
 - 无连接：即不必先建立连接即可直接发送数据。
 - 发送的帧不编号，不要确认。
 - 理由：局域网信道质量很好，因信道质量产生差错的概率是很小的。
- 以太网提供的服务是不可靠的尽力而为的交付。
 - 目的站收到有差错的帧时就丢弃。差错纠正由高层来决定。
 - 如果高层发现丢失了一些数据而进行重传，但以太网并不知道这是一个重传的帧，而是当作一个新的数据帧来发送。

半双工以太网的工作机制

- 带冲突检测的载波监听多路访问技术 (**Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection**)
- 载波侦听 (先听后发)
 - 以太网要求每个站点监听电缆，检测是否已有一个传输正在处理中。它阻止了最明显的冲突问题。
 - 当帧发送时，发送方发来对位进行编码的电信号
 - 当没有计算机在发送帧时，以太网不包含电信号

半双工以太网的工作机制

- 冲突检测（边发边听，冲突停发）
 - 当两个站点同时载波侦听到电缆空闲，仍可能发生冲突。
 - 为解决冲突，每个站点在发送过程中监视电缆，如果电缆信号与本站发送的信号不符即认定为冲突，立即终止发送。
 - 两个站点发送的信号到达电缆同一点，彼此干扰，即冲突。
 - 当几个站同时在总线上发送数据时，总线上的信号电压摆动值将会增大（互相叠加）。
 - 计算机边发送数据边检测信道上的信号电压大小。当站检测到的信号电压摆动值超过一定的门限值时，认为总线上至少有两个站同时发送数据，表明产生了冲突。

半双工以太网的工作机制

• 二进制指数退避（随机延迟后重发）

– 冲突发生后，需要从冲突中恢复

– 基本退避时间为争用期 $d=2\tau$ 。

▪ τ ：端到端往返时延

– 每个检测到冲突的站点随机选择一个整数 $r \in [0, 1, \dots, (2^k - 1)]$ ，延迟时间为 rd

▪ $k = \min[\text{重传次数}, 10]$

– 当重传16次仍不能成功时丢弃该帧

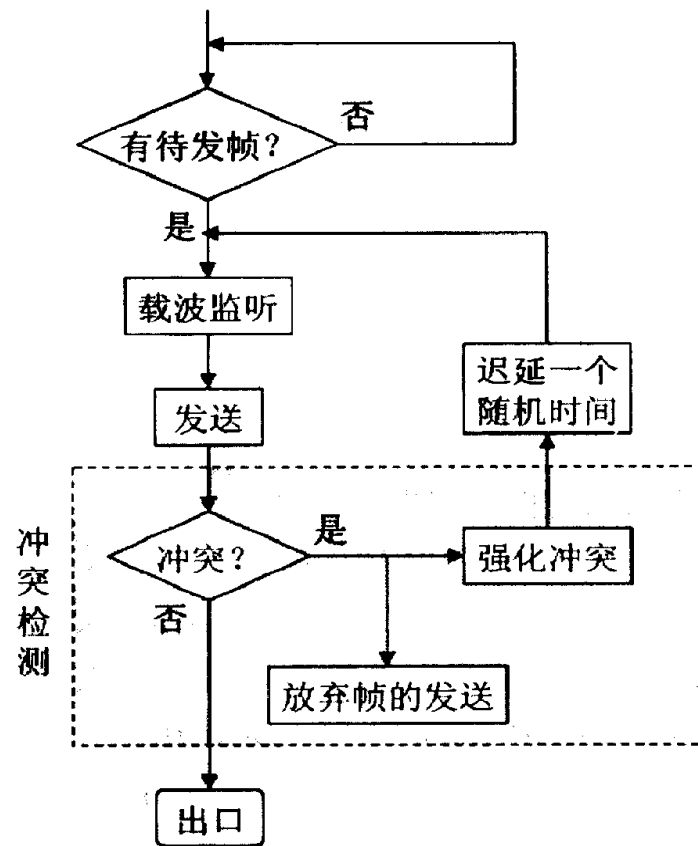
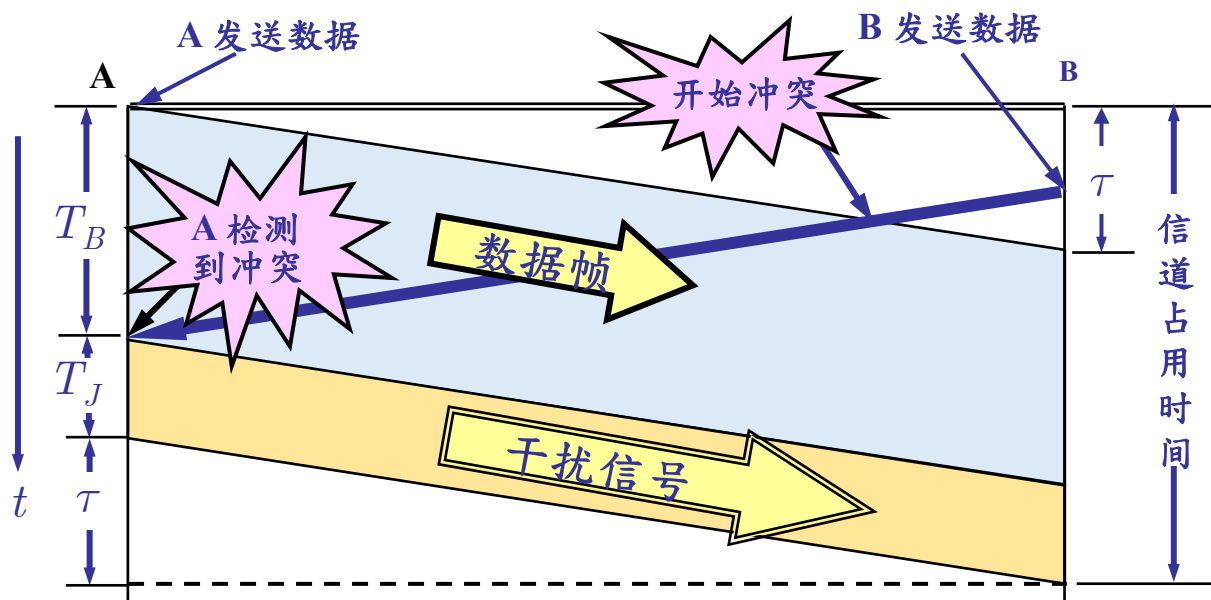


图 5-12 CSMA/CD 的流程图

强化冲突

- 当发送数据的站一旦发现发生了冲突时
 - 立即停止发送数据；
 - 再继续发送若干位的人为干扰信号（jamming signal），以便让所有用户都知道现在已经发生了冲突。



冲突的原因和结果

- 原因：当某站监听到总线空闲时，总线并非真正空闲
 - A向B发出的信息，要经过一定的时间后才能传送到B。
 - B若在A发出的信息到达前发送帧，必然发生冲突。
 - 因为这时B的载波监听检测不到A所发送的信息
- 结果：是两个帧都变得无用。
 - 站点在发送数据之后的一小段时间内，仍可能遭遇冲突。
 - 该不确定性使传统以太网的平均通信量远小于最高数据率。
 - 只有30%~40%的效率。

冲突的发现

- 在发生冲突时，总线上传输的信号产生了严重的失真，无法从中恢复出有用的信息来。
 - 正在发送数据的站一旦发现总线上出现了冲突，立即停止发送，以免浪费网络资源，等待一段随机时间后再次发送。
- 最先发送帧的站，在发送后至多经过时间 2τ （两倍的端到端往返时延）即可知道发送的帧是否遭受了冲突。
 - 以太网的端到端往返时延 2τ 称为争用期，或冲突窗口。
- 经过争用期还没检测到冲突，才能肯定这次不会冲突。

传统以太网最短有效帧长度

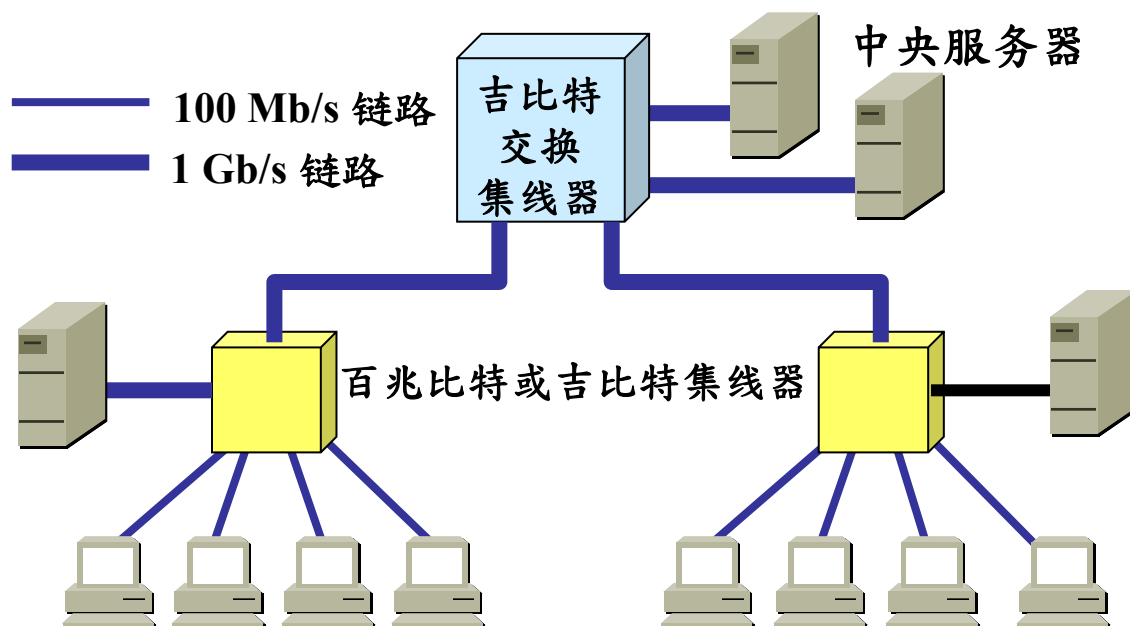
- 传统以太网取 $51.2\ \mu\text{s}$ 为争用期的长度。
 - 10 Mbps 以太网，在争用期内可发送 512 bit，即 64 字节。
- 以太网规定了最短有效帧长为 64 字节
 - 若前 64 字节没有发生冲突，则后续的数据不会发生冲突。
 - 检测到冲突立即中止发送，已发送的数据一定小于 64 字节。
 - 凡长度小于 64 字节的帧都是由于冲突而异常中止的无效帧。

快速以太网

- 半双工模式下的快速以太网在10BaseT基础上
 - 保持最短帧长不变，但将网段最大电缆长度减小到 100 m。
 - 帧间时间间隔从原来的9.6 μs 改为 0.96 μs 。
- 全双工模式的快速以太网
 - 每个网段只连接2个设备，因而不会发生冲突
 - 可以是网卡或交换机端口，不能是集线器端口
 - 全双工模式不受冲突范围限制，大大延伸了网络范围。

千兆以太网

- 802.3 协议的帧格式兼容1Gbps全双工和半双工
 - 半双工下使用 CSMA/CD 协议，全双工不需要CSMA/CD。
- 10Gbps以太网只使用光纤，只有全双工方式。



使用高速以太网进行宽带接入

- 以太网从 10 Mb/s 到 100 Gb/s 的演进证明了以太网是：
 - 可扩展的、灵活的（多种传输媒体、全/半双工、共享/交换）、易于安装、稳健性好。
 - 以太网所覆盖的地理范围也扩展到了城域网和广域网，因此现在人们正在尝试使用以太网进行宽带接入。
- 以太网接入的重要特点是它可提供双向的宽带通信，并且可根据用户对带宽的需求灵活地进行带宽升级。
- 采用以太网接入可实现端到端的传输，中间不需要帧格式的转换，提高了传输效率和降低了传输成本。

内容纲要

1	网卡和编址
2	分组和帧
3	工作机制
4	网络拓扑

拓扑 (Topology)

- 拓扑学 (Topology)

- 研究几何图形或空间在连续改变形状后还能保持不变的一些性质的学科。

- 拓扑

- 只考虑物体间的位置关系
 - 不考虑它们的形状和大小
 - 不表示方位。

远距离和近距离通信

- 远距离通信特点

- 安全、稳定：能迅速从故障中恢复
- 通信量大

- 近距离通信特点

- 成本低
- 便于使用
- 与物理位置近邻通讯多
- 与经常通讯的主机通讯多

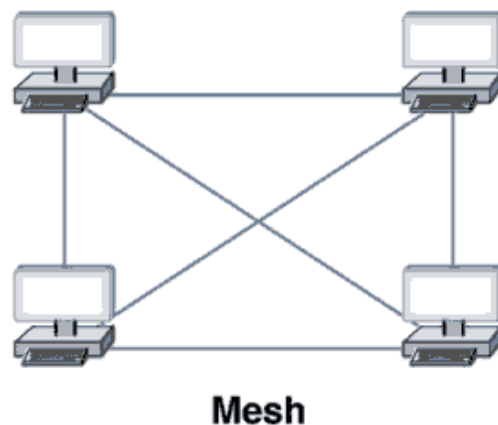
网状拓扑 (Mesh Topology)

- 网状网络

- 特征：点对点 (Point-to-point) 连接
- 优点：独立安装、独占访问；安全稳定
- 缺点：线多，成本高

- 应用

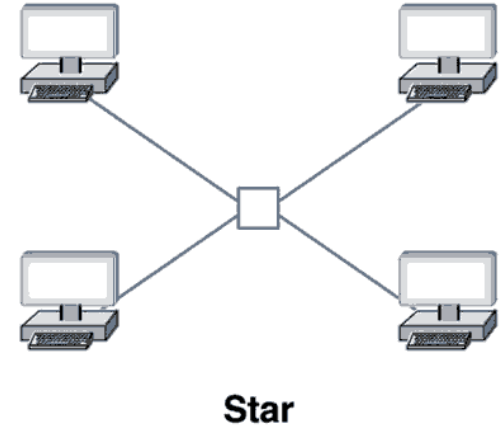
- 常用于远距离通信



星型拓扑 (Star Topology)

- 星型结构

- 一个中心节点
- 一组计算机通过中心节点实现信息传输
- 各节点和中心节点之间通过点到点的链路进行连接



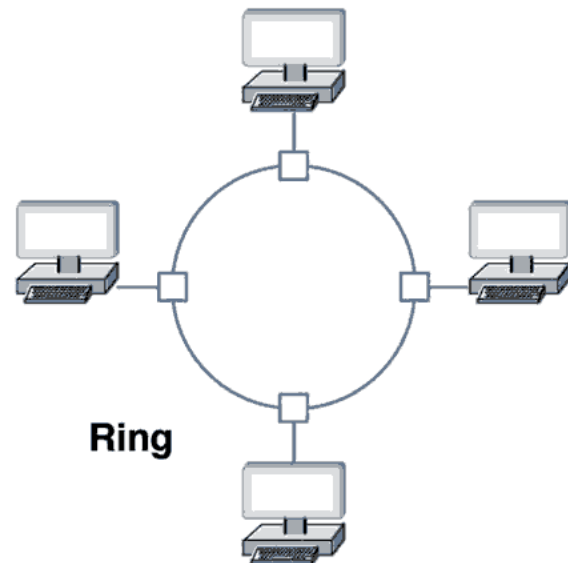
- 集线器 (Hub)

- 集线器到所有计算机的距离并不相等
- 作为中心点很脆弱，经常放置于网管办公室锁起来

环形拓扑 (Ring Topology)

- 环型结构

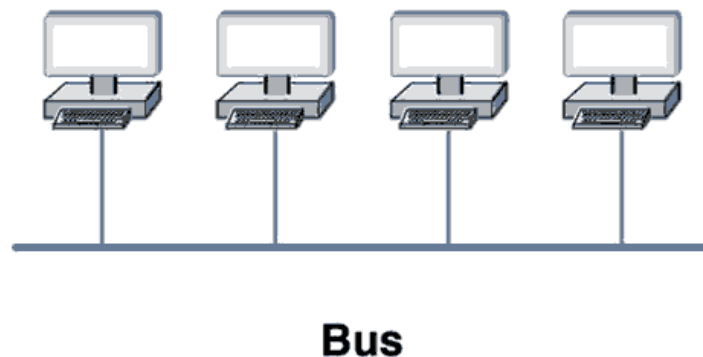
- 各节点通过通信介质连成封闭的环
- 两个邻接的节点之间通过点到点连接
- 非邻接节点之间通信要经过路径上的其它节点
- 不需要是圆形



总线拓扑 (Bus Topology)

- 总线型结构

- 所有的站点共享一条数据通道
- 总线拓扑网络通常由一个单一的长电缆连接到计算机上。



- 任何连接到总线上的计算机都可以通过电缆发送信号，所有的计算机都接收信号。
- 连接到总线网络的计算机必须协调，以确保在任何时候只有一台计算机发送信号，否则将造成混乱的结果。

拓扑悖论

- 10BaseT布线形成以集线器为中心的星型拓扑结构。
- 双绞线以太网像总线结构一样工作，因为所有计算机共享一个通信介质。
 - 在物理上，双绞线以太网采用星型拓扑结构。
 - 在逻辑上，双绞线以太网像总线工作，称为星形总线。

三种拓扑的优缺点

拓扑	优点	缺点
星型	容易在网络中增加新的站点 一个节点断掉不会影响其它节点 数据的安全性和优先级容易控制 易实现网络监控	中心节点的故障会引起整个网络瘫痪
环型	结构简单，容易安装 容易监控通/断情况 节省资源	容量有限 网络建成后，难以增加新的站点 一个节点产生异常情况，会影响其它节点通信
总线	安装简单方便 需要铺设的电缆最短，成本低 某个站点的故障一般不会影响整个网络	介质的故障会导致网络瘫痪 线网安全性低 监控比较困难 增加新站点也不如星型网容易

谢谢观看



廈門大學
XIAMEN UNIVERSITY



信息学院 黄 焯
(特色化示范性软件学院) 博士, 副教授
School of Informatics Wei Huang