



计算机组网原理

马范援

上海交通大学计算机科学与工程系

讲授内容

原理篇：

- 基于以太网的企业内组网技术
- 基于广域网的组网技术

教材： 《当代组网技术》

张公忠 陈锦章编著

清华大学出版社

工程篇：

- 网络规划与设计
- 网络工程实施
- 网络设备与系统选型
- 网络综合布线系统

教材：《全新计算机网络工程教程》

郭诤水 主编 王宝智 编著

北京希望电子出版社

本课程特点

- 要求学生在此具有计算机网络基本知识的基础上学习本课程。
- 组网技术是一门应用技术，着重对应用知识的理解。
- 在讲解以太网原理时有一些理论知识和计算，其它章节都是介绍基本原理和概念。
- 本课程内容比较多，重点放在企业内的组网以及企业如何接入广域网。

教材中的内容很多，如果全部按照书上内容讲解，时间不够，大家也不容易消化，因此本课程按教材的框架授课，内容上有所调整和删减，并补充一些实践知识。同学们复习时以上课的材料为核心阅读书上的内容。并且要求大家上课时注意听老师的讲解。

对ATM网络技术不作介绍。



《计算机组网原理》

原理篇

第三章 以太网组网技术基础

本章重点

- 以太网工作原理
CSMA/CD
- 碰撞槽时间及最小帧长度的计算
- 曼彻斯特编码的原理及优点
- 10BaseT的技术特点
- 集线器工作原理及功能

第三章 以太网组网技术基础

3.1 以太网发展情况及其标准

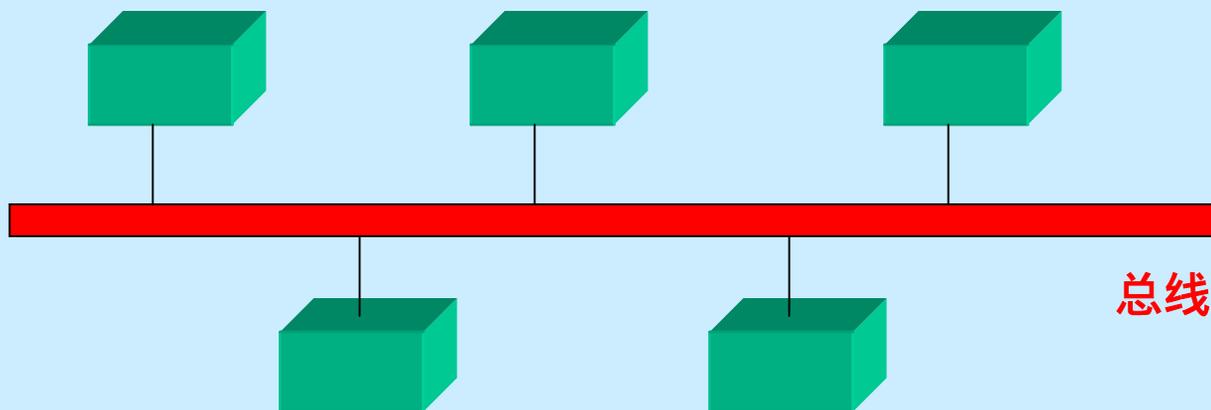
表 3.1 以太网主要技术和标准发展过程

年份	技术	IEEE 标准	年份	技术	IEEE 标准
1982 年	10 BASE5(DIX)	802.3	1995 年	100 BASEF	802.3 u
1985 年	10 BASE2	802.3 a	1997 年	全双工以太网	802.3 x
1990 年	10 BASET	802.3 i	1998 年	1000BASEX	802.3 z
1993 年	10 BASEF	802.3 j	2000 年	1000 BASET	802.3 ab

3.2 媒体访问控制方式

3.2.3 CSMA/CD机理

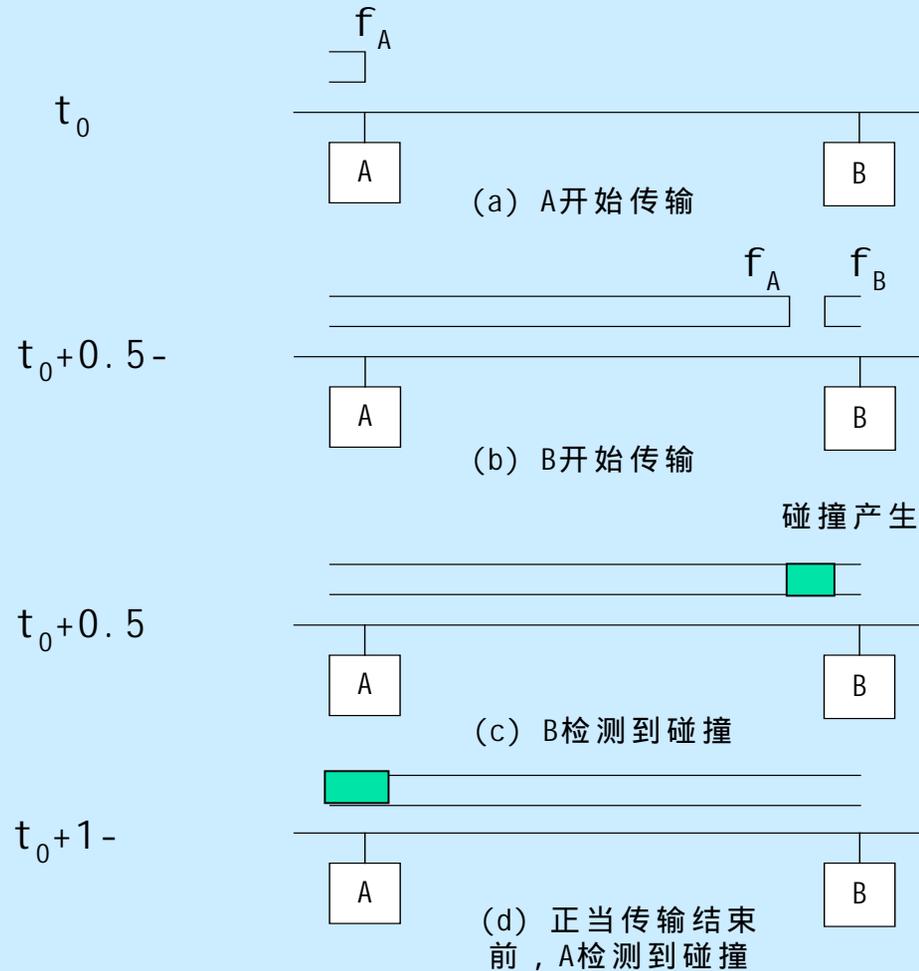
1. CSMA/CD工作原理



3.2 碰撞槽时间 (slot time)

帧在媒体上往返传输时间=1
帧在媒体上单向传播时延=0.5

发生碰撞时间的上限，即发送站发出帧后能检测到碰撞的最长时间



碰撞槽时间的计算

设：信号在物理信道上的传播速度： v

一般近似为： $v = 200\text{m} / \mu\text{s}$

物理信道长度： S

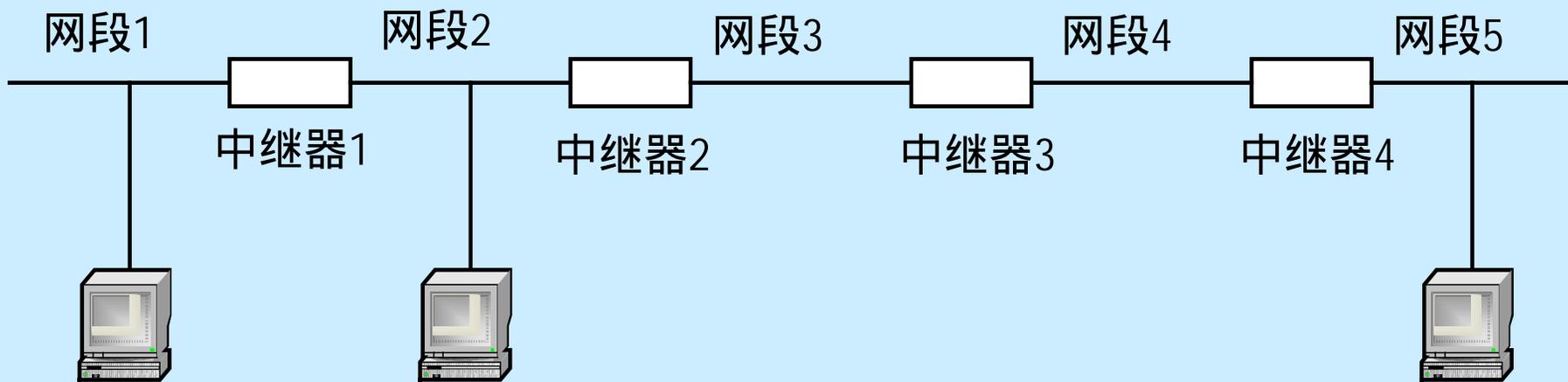
网卡延时： t_{PHY}

则可得： $\quad = S/v$

$$\text{Slot time} = 2 \quad + 2t_{\text{PHY}}$$

如果考虑网段上有 N 个中继器，每个中继器延迟时间为 $t_{\text{中继器}}$ ，则可得下式：

$$\text{Slot time} = 2 * (\quad + t_{\text{PHY}} + N \times t_{\text{中继器}})$$



10M以太网的连接标准(5-4-3规则)

几点结论：

- 1) Slot time是监测一次碰撞所需的最长时间。
- 2) 限制了帧的最小长度 L_{min}

设 R 为报文传输速率

则 $L_{min}/R = \text{Slot time}$

$$L_{min} = \text{slot time} \times R$$

$$L_{min} = 2 \times (S/v + t_{PHY} + N \times t_{\text{中继器}}) \times R$$

书上3.3式(P. 60)中的 / 应改为 \times

802.3标准规定的帧最小长度为64字节
(2500米, 4个中继器)。

3) 决定了碰撞后信道上最大的碎片长度，碎片长度 $< L_{min}$ 。

4) 决定了网络跨距的最大值。

根据3.3式，当传输速率R固定时，最小帧长度与网络跨距具有正比例关系，即跨距越大， L_{min} 越长。反之 L_{min} 越长，跨距也可加大。

根据3.3式还可看出，在 L_{min} 不变的情况下，传输速率越高，跨距越小。在后面介绍100M和1000M以太网时会明显看到这一点。

5) 是以太网一些算法的时间基准值，如二进制后退算法。

必须注意：信号在物理信道上的传播速度 v 与报文的传输速率 R 是两个完全不同的概念。

信号在物理信道上的传播速度是指电信号在物理介质上的移动速度，计量单位是距离/时间。光波在真空中的传播速度是30万公里/秒，电信号在有线介质中的传播速度为该值的0.7，近似值为200米/微秒。

报文的传输速率是指报文内的二进制位在线路上的发送速度，计量单位是二进制位/秒(b/s或bps)。

例如一个报文有2048字节
(即16384bits)，传输速率R为10Mbps，
则整个报文发送完毕需花费：

$$16384\text{bits}/10000000\text{bps} = 1638.4\text{微秒}$$

或1.6384毫秒

如果网络长度为1000米，则每个二进制位从网络的一端走到另一端的时间是：

$$1000\text{米}/200\text{米/微秒} = 5\text{微秒}$$

我们还可举个例子，车库内有2000辆汽车，如果车库发出汽车每分钟5辆，则400分钟车库内的汽车全部发完，这就相当于网络中的R。每辆车离开车库后在高速公路上行驶速度为100公里/小时，这相当于网络中的v。

举例：802.3标准规定了10M以太网帧的最短长度为64字节，如果将该标准规定的条件作些修改，假定网络最长距离为1000米，中间可接2中继器，每个中继器的延迟时间为 $1\ \mu\text{s}$ ，每个网卡延迟时间为 $1.5\ \mu\text{s}$ ，求在这些条件下帧的最短长度为多少？

举例：802.3标准规定了10M以太网帧的最短长度为64字节，如果将该标准规定的条件作些修改，假定网络最长距离为1000米，中间可接2中继器，每个中继器的延迟时间为 $1\ \mu\text{s}$ ，每个网卡延迟时间为 $1.5\ \mu\text{s}$ ，求在这些条件下帧的最短长度为多少？

**解：总延迟时间 = $(1000\text{M} \div 200\text{M/s}) + 2 \times 1\ \mu\text{s}$
 $+ 1.5\ \mu\text{s} = 8.5\ \mu\text{s}$**

总延迟时间 $\times 2 = 17\ \mu\text{s}$

$17\ \mu\text{s} \times 10\text{Mbps} = 170\text{bits}$

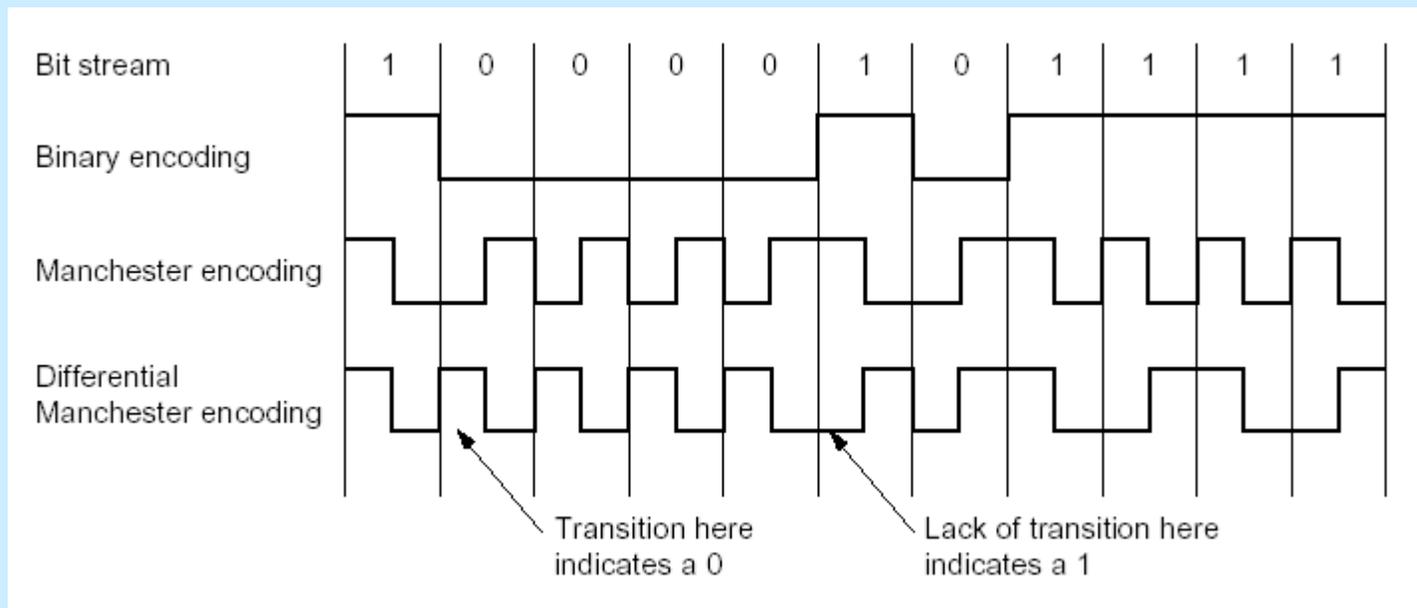
$170\text{bits} \div 8\text{bits} = 21.25\ \text{bytes}$

取 22 bytes

3.3 物理层结构与功能

3.3.1 编码与解码

曼彻斯特编码 (Manchester Code)



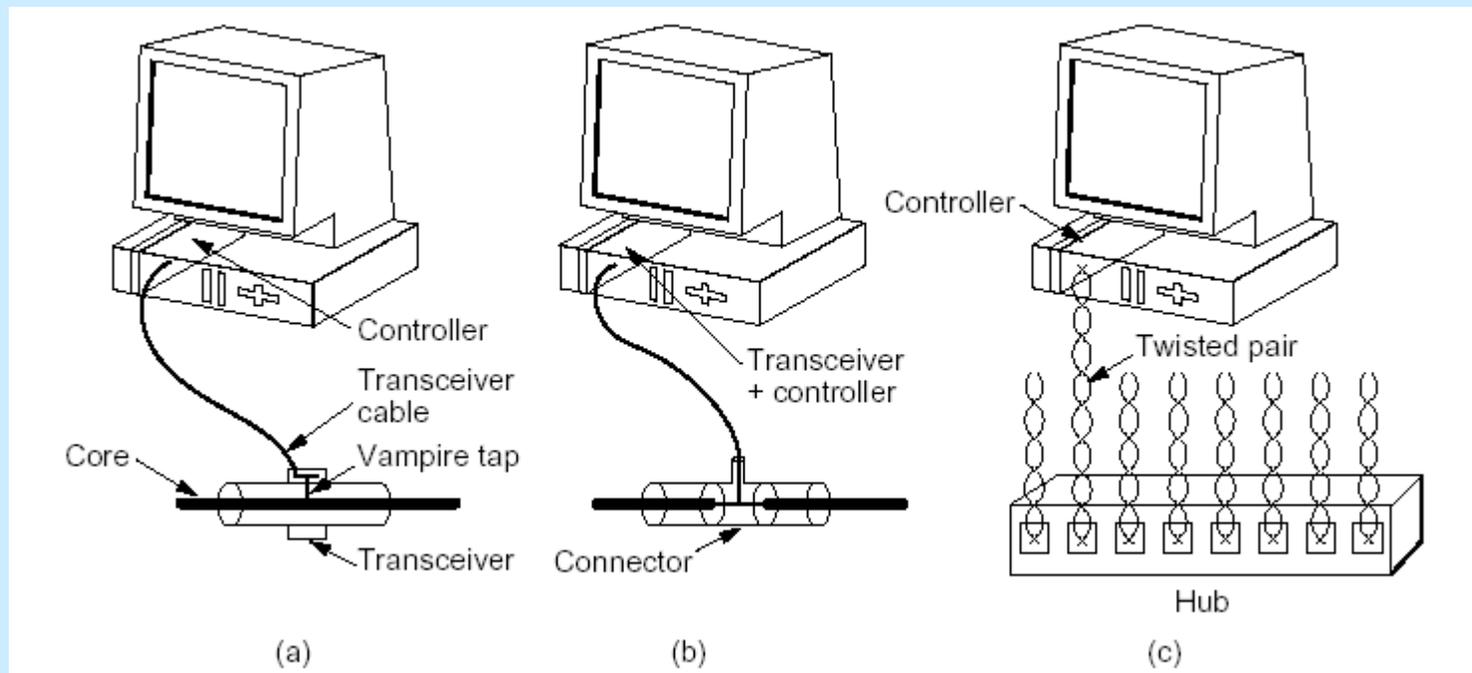
曼彻斯特编码优点

1. 有利于区分每个“0”、“1”代码
2. 便于同步
3. 便于检测碰撞的发生
4. 平均直流电平为 0

3.3.2 收发器 四种标准



连接方式



10BASE5

10BASE2

10BASE-T

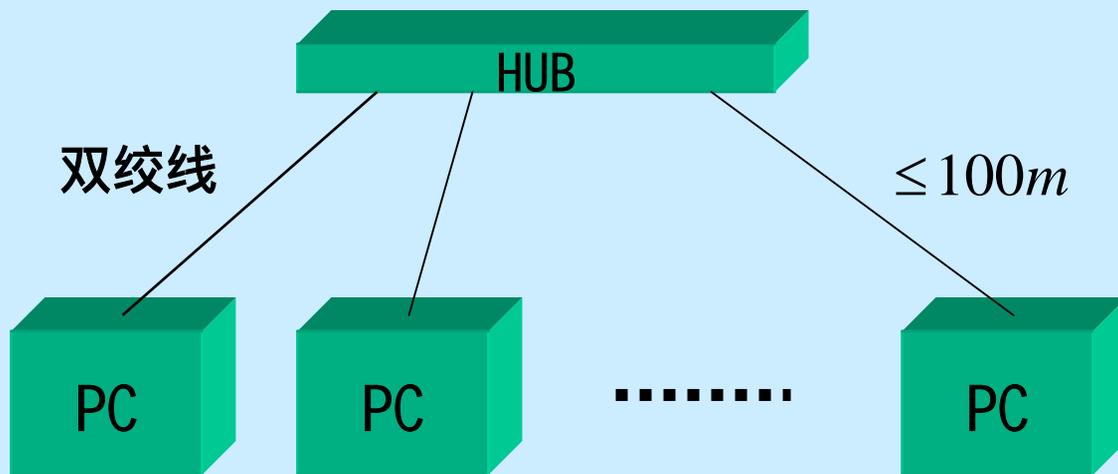
3.3.2 四种10BASE以太网物理性能比较

物理性能	10BASE5	10BASE2	10BASET	10BASEF
媒体 最长媒体段 拓扑结构 收发器 最大跨距/媒体段数	10 50 同轴电缆 500 m 公共总线状 外置收发器设备 2.5 km/5	5 50 同轴电缆 185 m 公共总线状 内置芯片 925 m/5	3、4、5类不屏蔽双绞线 100 m 星状 内置芯片 500 m/5	62.5/125多模光纤 2 km 星状 内置芯片 4 km/2

3.4 10BASET技术特点

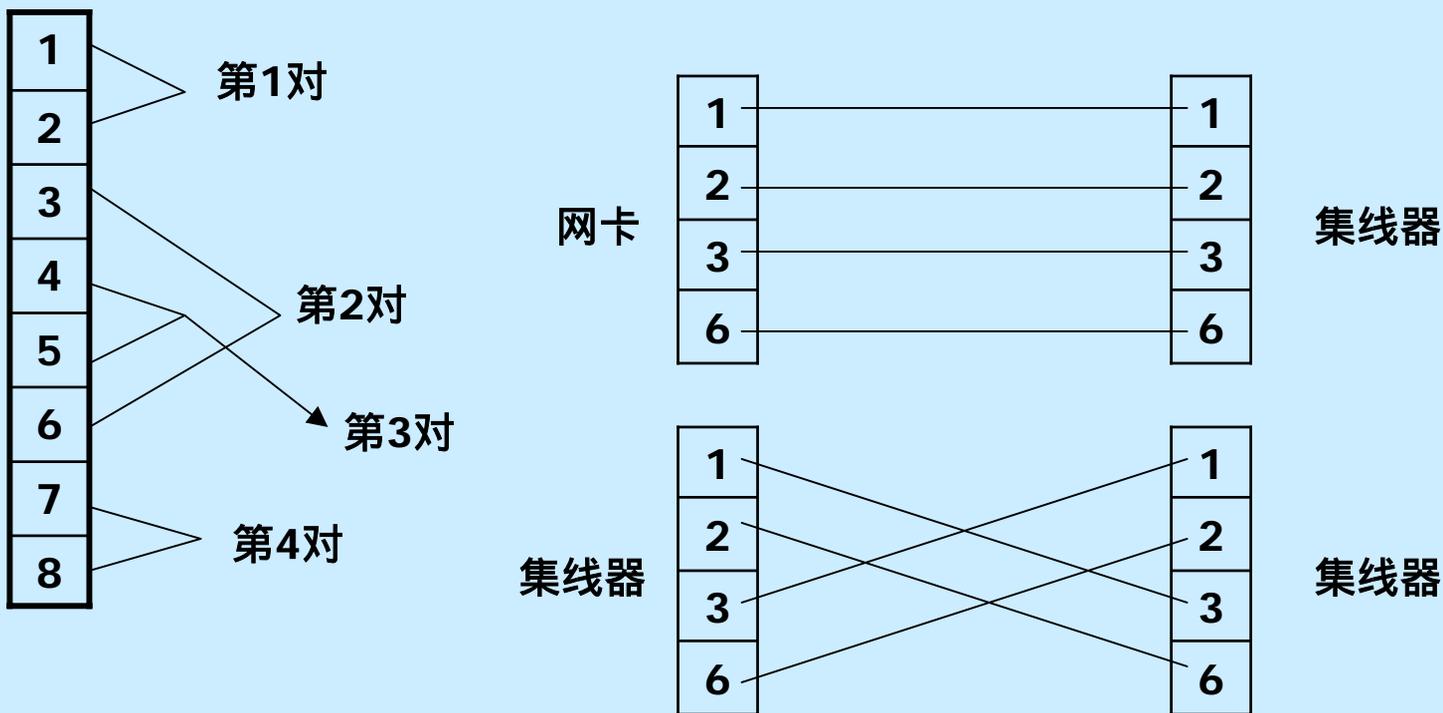
3.4.1 10BASET以太网系统组成

以集线器(HUB)为中心构成星状连接，但本质上仍是共享总线的工作方式。



双绞线连接插座 RJ-45

RJ-45插座连接图

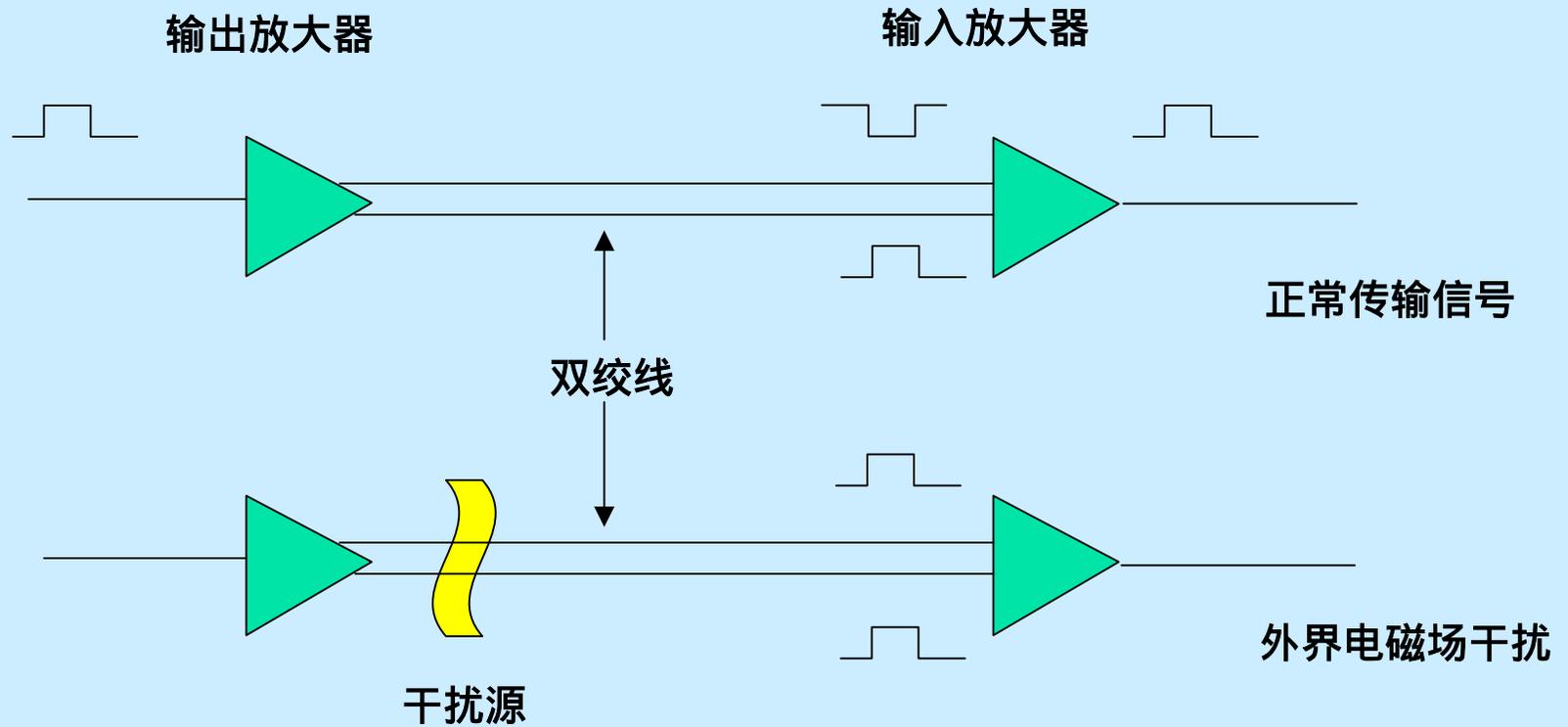


网卡： 发送：1、2； 接收：3、6

集线器：发送：3、6； 接收：1、2

连接方式：直连、交叉

为什么在非屏蔽的5类双绞线上能达到高速率传送？

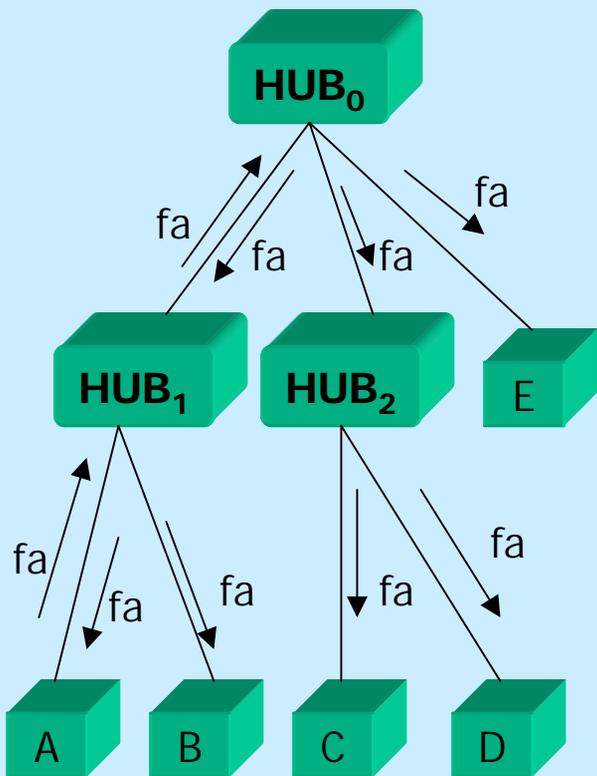


双绞线抗外界电磁场干扰

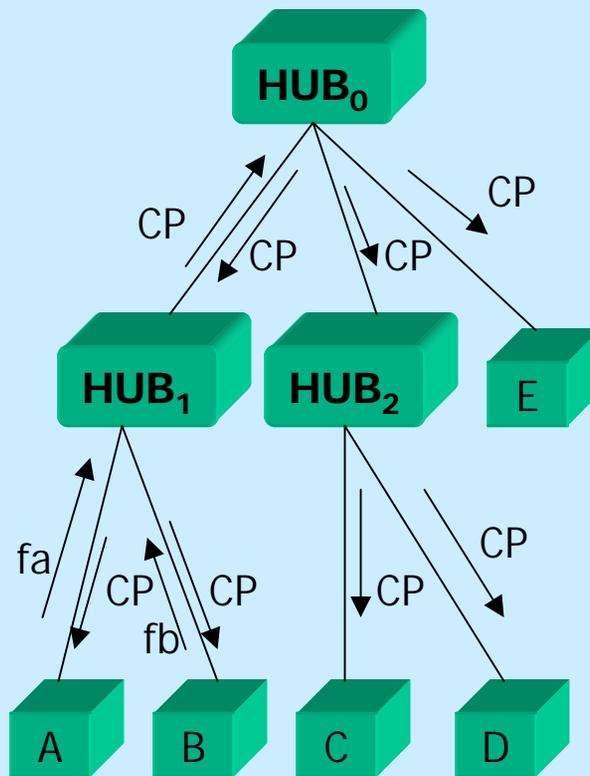
3.4.2 10BASET集线器功能

1. 信道上信号的放大、整形
2. 实现碰撞检测
3. 端口数的扩展
 - 堆栈式
 - 机框式
4. 不同类型接口的互连 (见图3.16、3.17)
5. 集线器与网卡之间或集线器之间最长距离均为100米。集线器数量最多为4个，即最远两站之间距离为500米。

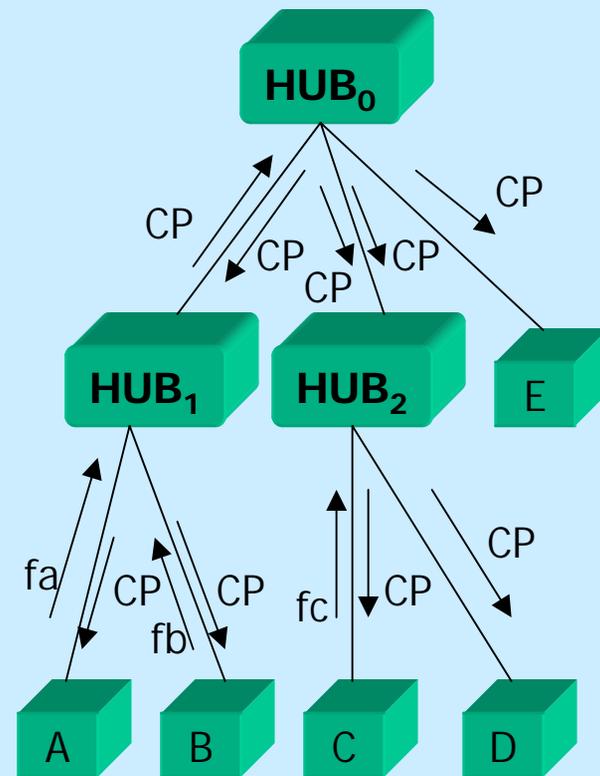
碰撞检测的原理



(a) A发送



(a) A和B发送



(a) A,B和C发送

10BASET的优点

10BASET标准已经是10M以太网组网的主流技术，其优点是：

- 1) 可靠性好
某对双绞线故障不影响整个网络的工作
- 2) 可扩展性好
通过增加HUB达到扩展目的
- 3) 可管理性好
可对HUB实现管理
- 4) 连接方便

3.4.3 基于10BASET发展的现代网络技术

1. 光纤以太网10BASEF出现
2. 高速以太网的发展
3. 从共享型以太网走向交换型以太网
4. 发展了综合布线技术

计算机技术发展的四大规律

- Moore定律

微处理器内晶体管数每18个月翻1番。

- Bell定律

若计算能力不变，微处理器的价格和体积每18个月减少一半。

- Gilder定律

主干网的带宽每6个月增加1倍。

- Metcalfe定律

网络的价值同网络用户数量的平方成正比。

网络技术发展的趋势

- 传输速率以超过Moore定律的速度增长
- IP技术是数据通信的主流
- Internet应用将向交互式的方向发展
- 应用系统继续成为网络容量提升的推动因素
- 网络的使用和接入更方便、廉价