

○、以太网问题

1. 以太网是共享介质的，对于一个集线器连接的星型结构100M以太网，如果有20个用户同时接入，每个用户只有5M的带宽。
2. 如果增加以太网的最短帧长会怎样？
3. 既然以太网是在介质上广播传递数据，那每个接收站点不是会一直收到很多数据，它如何能够应对这种大批量的数据到达？



一、IEEE 802.3标准及以太网

§ 802.3协议使用于1-持续的CSMA/CD局域网

§ 以太网使用CSMA/CD技术、采用总线结构

以太网的发展简史

- ü 1980年9月提出以太网蓝皮书，DIX以太网1.0规范
- ü 1981年6月IEEE802.3委员会成立
- ü 1983年推出IEEE 10BASE-5规范
- ü 1982年9月开始提供具有VLSI的网络接口卡（NIC）
- ü 1985年 Novell公司推出专为个人计算机联网用的高性能网络操作系统
- ü 1990年秋，使用非屏蔽双绞线的10Mb/s以太网规范10Base-T正式通过，出现星型布线结构



- ü 1990 ~ 1994年交换式和全双工以太网出现
- ü 1992 ~ 1993年出现快速以太网联盟和IEEE 802.12
- ü 1993年10月公布100Base-TX规范
- ü 1995年3月，IEEE802.3u规范正式通过，以太网开始进入100Mb/s时代
- ü 1995年11月，IEEE802.3委员会组建了“高速研究组”来研究千兆速率的以太网
- ü 1996年，IEEE组建了新802.3z工作组，负责千兆以太网标准的制定
- ü 1998年6月，在千兆以太网联盟的推动下，IEEE正式发布了千兆以太网标准IEEE 802.3z
- ü 1999年开始，IEEE 802.3“高速研究组”着手研究万兆标准802.3ae
- ü 2002年7月，IEEE发布了万兆以太网标准IEEE 802.3ae

二、物理地址

§ 与物理硬件（如网卡）有关：48位

§ 由IEEE统一分配的物理地址

- 注册交费

- IEEE分配机构唯一标识符（OUI）

物理地址的前3个字节

- OUI 拥有者自行分配剩余的3字节



u MAC地址结构



全球（0）或本地（1）
单独（0）或组（1）

ü 保留地址

广播地址（Broadcast）— 由48位 '1'组成，
即：FF-FF-FF-FF-FF-FF

所有的网卡均接收目的地为广播地址的数据帧

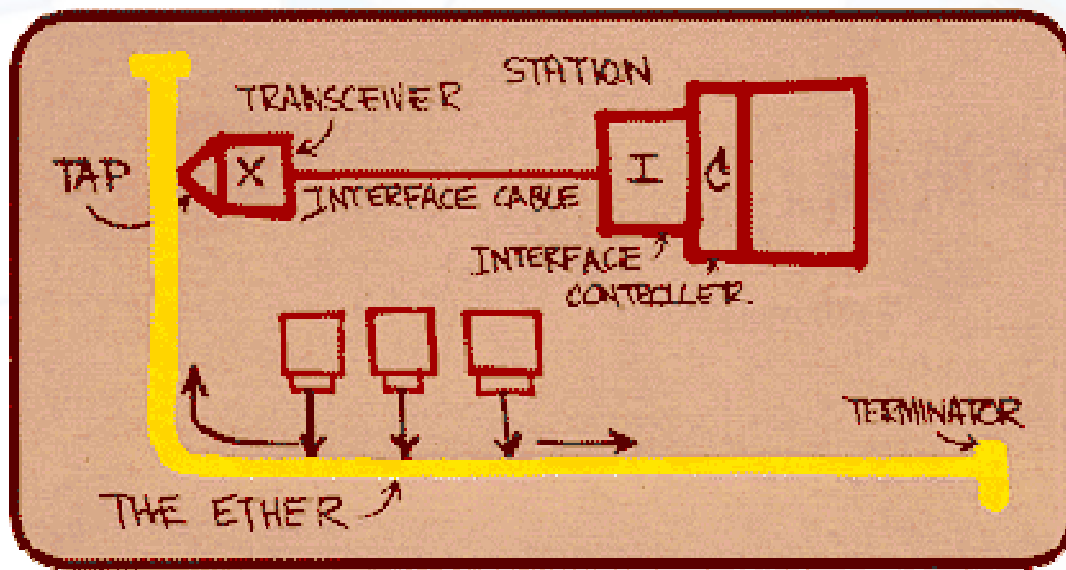
ü组播（MultiCast）地址：

如：支持生成树协议的网桥组播地址——
01-80-C2-00-00-00



三、以太网（Ethernet）特点

- § 占统治地位的有线局域网
- § 第一个广泛使用的局域网形式
- § 比令牌网、ATM更简便且价廉
- § 网速覆盖了10 Mbps - 10 Gbps



Metcalfe提出的
以太网草稿

1. 不可靠、无连接的服务

§ 无连接：收发双方之间不存在握手协议

§ 不可靠：接收方不发送确认或否认信息

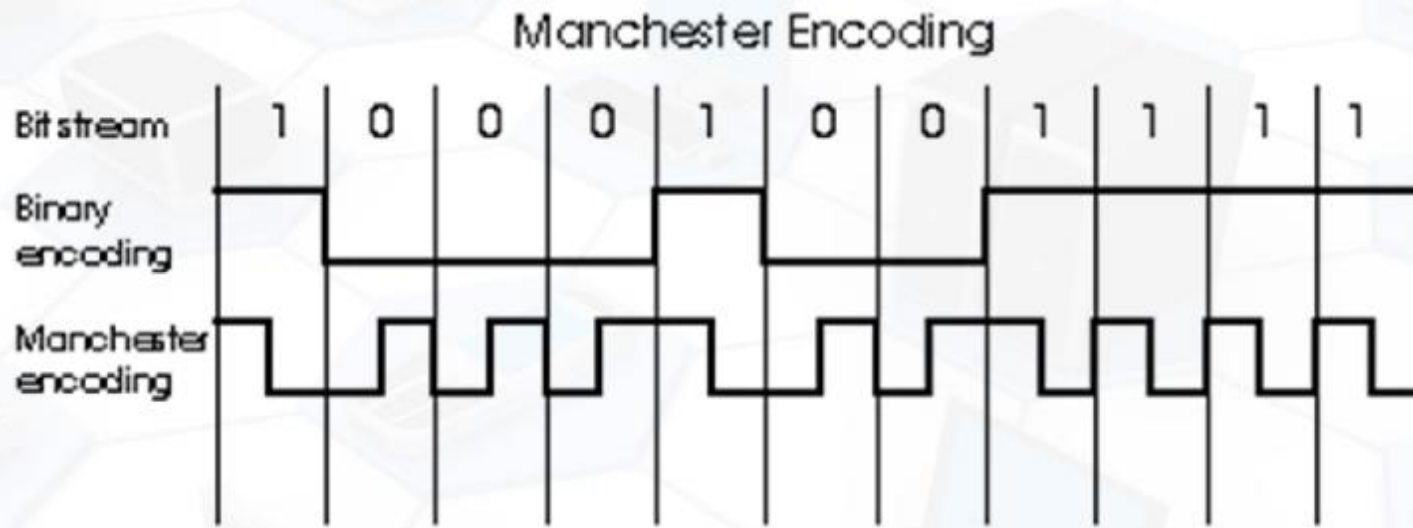
2. 使用CSMA/CD协议

§ 不分时隙

§ 发送前侦听信道，空闲发送

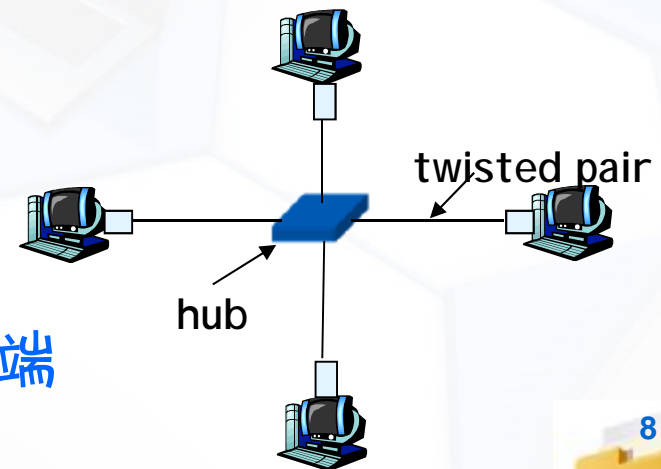
§ 发送时侦听信道，冲突时终止发送

3. 采用曼彻斯特编码



4. 星型结构

- § 使用集线器(hub) 连接
- § 所有连接速率相同
- § 对帧无缓存
- § CSMA/CD不是工作在集线器一端
- § 对所有的数据（信号）中继



四、 帧结构

p 以太网的帧结构

7	1	2/6	2/6	2	0~1500	0~46	4
前导字段 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2048

p 802.3的帧结构

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

帧开始字符
10101011

数据字段长度

前导 (7B)	起始定界 (1B)	Dest. address (6B)	Src. Address (6B)	Len (2B)	Data field (Logical link control)	Pad	FCS (4 B)
------------	--------------	-----------------------	----------------------	-------------	--------------------------------------	-----	--------------

1) 前导字段

- § 7个字节的10101010，实际上下一个字符也是前导字段，只是最后两位为1，表示紧接着的是真正的MAC帧
- § 7个字节的10101010的曼切斯特编码将产生10MHz，持续5.6 μs的方波，周期为0.1s，可用于时钟同步

2) 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

Dest. address (6B)	Src. Address (6B)	Len (2B)	数据字段 (LLC)	Pad	FCS (4 B)
-----------------------	----------------------	-------------	---------------	-----	--------------



目的地址 (6B)	源地址 (6B)	Len (2B)	Data field (Logical link control)	Pad	FCS (4 B)
--------------	-------------	-------------	--------------------------------------	-----	--------------

3) 两个地址

- § 目的地址和源地址都允许为2字节或6字节，但在10M b/s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 - 组播 (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

Dest. address (6B)	Src. Address (6B)	Len (2B)	Data field (Logical link control)	填充	FCS (4 B)
-----------------------	----------------------	-------------	--------------------------------------	----	--------------

4) 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

因此，填充字节= 46

§ 所以填充字节范围在 0 ~ 46字节

DLC: ----- DLC Header -----

- DLC: Frame 8310 arrived at 10:17:30.4927; frame size is 60 (003C hex) bytes.
- DLC: Destination = BROADCAST FFFFFFFF, Broadcast
- DLC: Source = Station 50781C1F201B
- DLC: Ethertype = 0806 (ARP)

ARP: ----- ARP/RARP frame -----

- ARP: Hardware type = 1 (10Mb Ethernet)
- ARP: Protocol type = 0800 (IP)
- ARP: Length of hardware address = 6 bytes
- ARP: Length of protocol address = 4 bytes
- ARP: Opcode 1 (ARP request)
- ARP: Sender's hardware address = 50781C1F201B
- ARP: Sender's protocol address = [172.29.65.10]
- ARP: Target hardware address = 000000000000
- ARP: Target protocol address = [172.29.65.72]
- ARP: 18 bytes frame padding

原始数据

00000000:	ff ff ff ff ff ff 50 78 1c 1f 20 1b 08 06 00 01	...
00000010:	08 00 06 04 00 01 50 78 1c 1f 20 1b ac 1d 41 0a	Px...?A
00000020:	00 00 00 00 00 00 ac 1d 41 48 e4 f5 0c c4 77 5a	?AH...腐Z
00000030:	11 a5 d9 a2 50 07 c9 c0 a9 6a 06 3a	杉

Expert / Decode / Matrix / Host Table / Protocol Dist. / Statistics

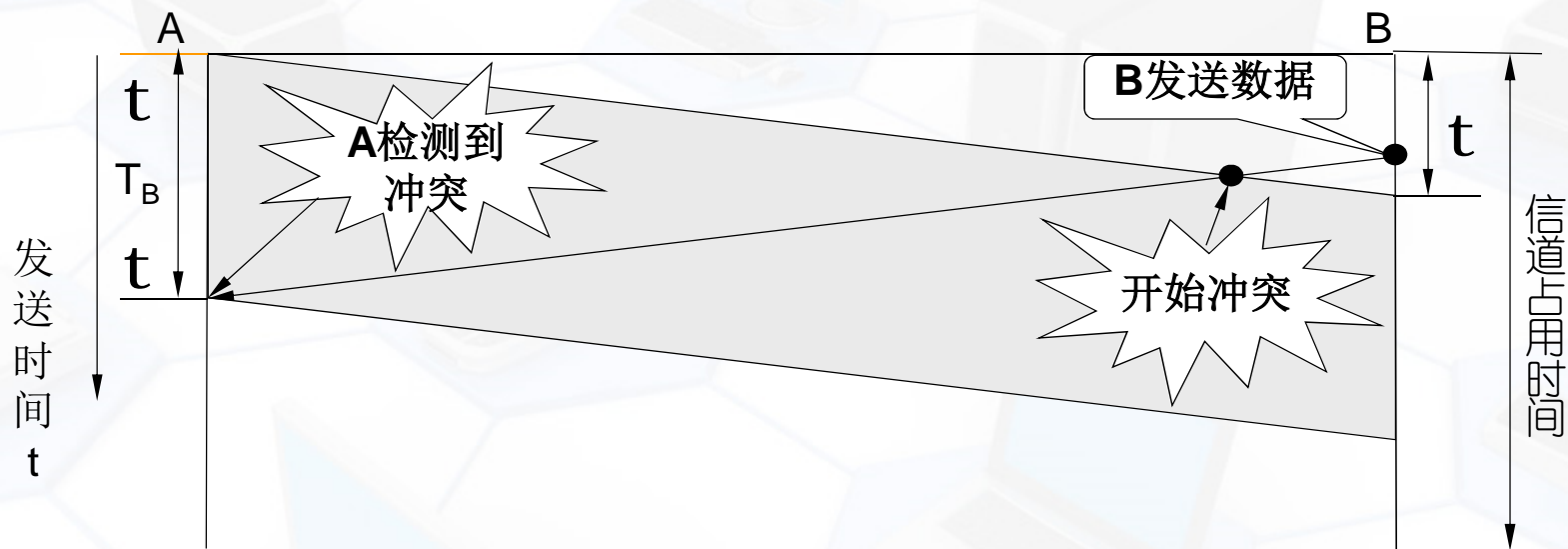
按层次
分析

捕获的以太网帧

5) 以太网的最短帧长

为了确保帧的第一位未发生冲突而正确到达终点，必须保证可能的冲突信号返回时尚未发送结束，因为如在 2τ 内发送完毕，则无法检测冲突

在极限条件下，一个局域网中两个收发器间（允许接4个中继器）的最大距离为2500 m，往返5000 m，同轴电缆的时延特性为 $4.33\ \mu\text{s}/\text{km}$ （相当于电磁波以77%的光速在电缆上传播），即如遇冲突，端到端并返回的时延为 $21.65\ \mu\text{s}$ 。然而，这是理想的时延，考虑到中继器的额外时延，最坏的情况下估计时延为 $45\ \mu\text{s}$ ，再加上强化冲突需发送48 bit，接收方要接收到48 bit后才确认冲突，即再增加 $4.8\ \mu\text{s}$ ，共 $49.8\ \mu\text{s}$ ，所以通常以太网取 $51.2\ \mu\text{s}$ 为争用期的时间长度（传输512 bit，即64字节的时间），即帧的长度至少为64个字节



如一个站点发送后，经 $2t$ 后，没有冲突，即发送成功。帧长过短，则无法检测到冲突

五、10M/100M/1000M以太网

- § 以太网/IEEE 802.3: 采用同轴电缆作为网络介质, 传输速率达到10Mb/s
- § 100Mb/s以太网: 又称为快速以太网, 采用双绞线作为网络介质, 传输速率达到100Mb/s
- § 1000Mb/s以太网: 又称为千兆以太网, 采用光缆或双绞线作为网络介质, 传输速率达到1000Mb/s

1. 传统以太网

10BASE-T中由于使用CSMA/CD协议工作，属于半双工方式

p	最大网段长度	100米
p	网段最大节点数	2
p	最大接插线长	10米
p	最大冲突域直径	500米
p	源与目的间最大网段	5
p	源与目的间最大中继器	4
p	源与目的间可接站点的最大网段数	3

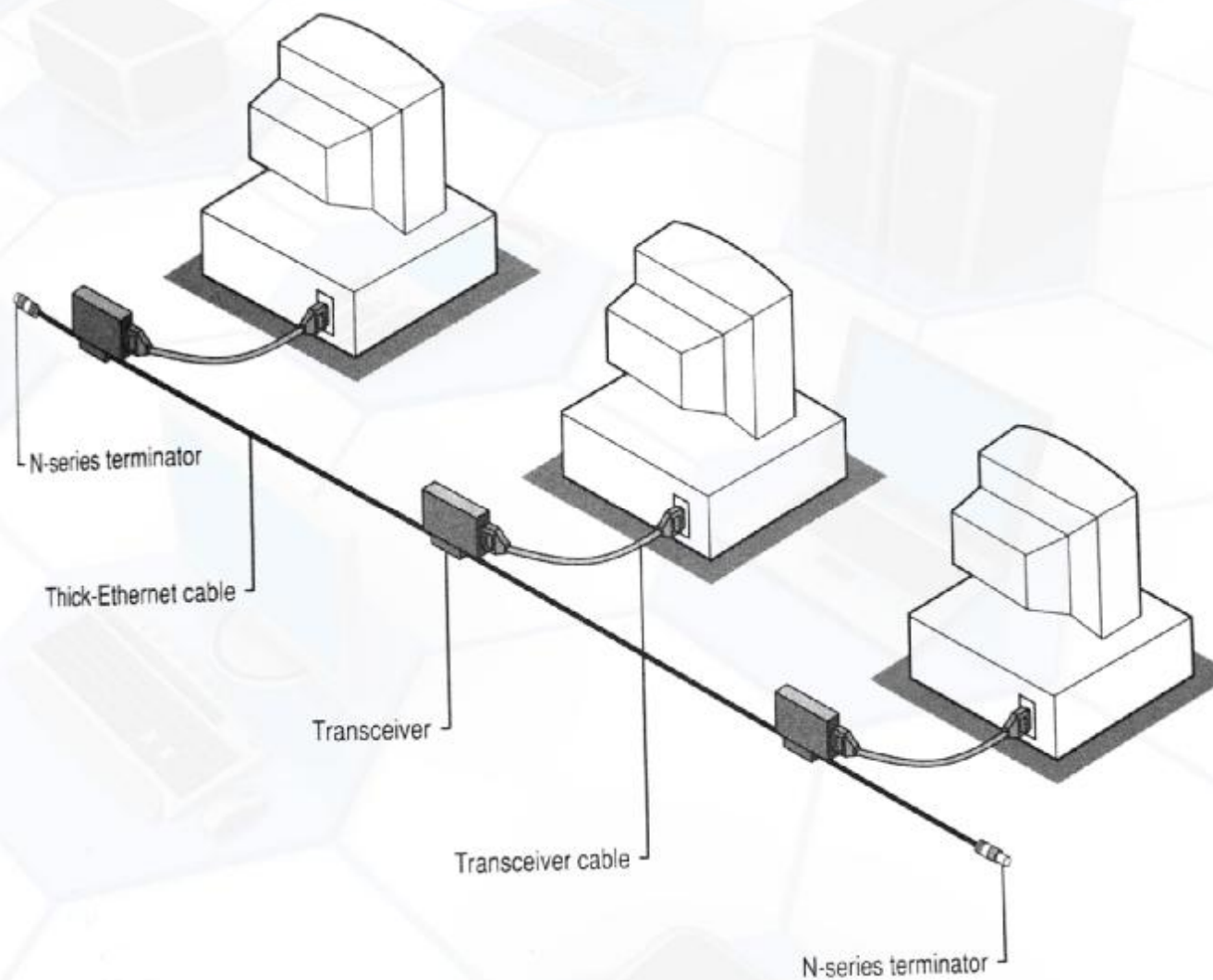
1) 802.3标准工作原理

§ IEEE802.3标准基于1-持续CSMA/CD规范

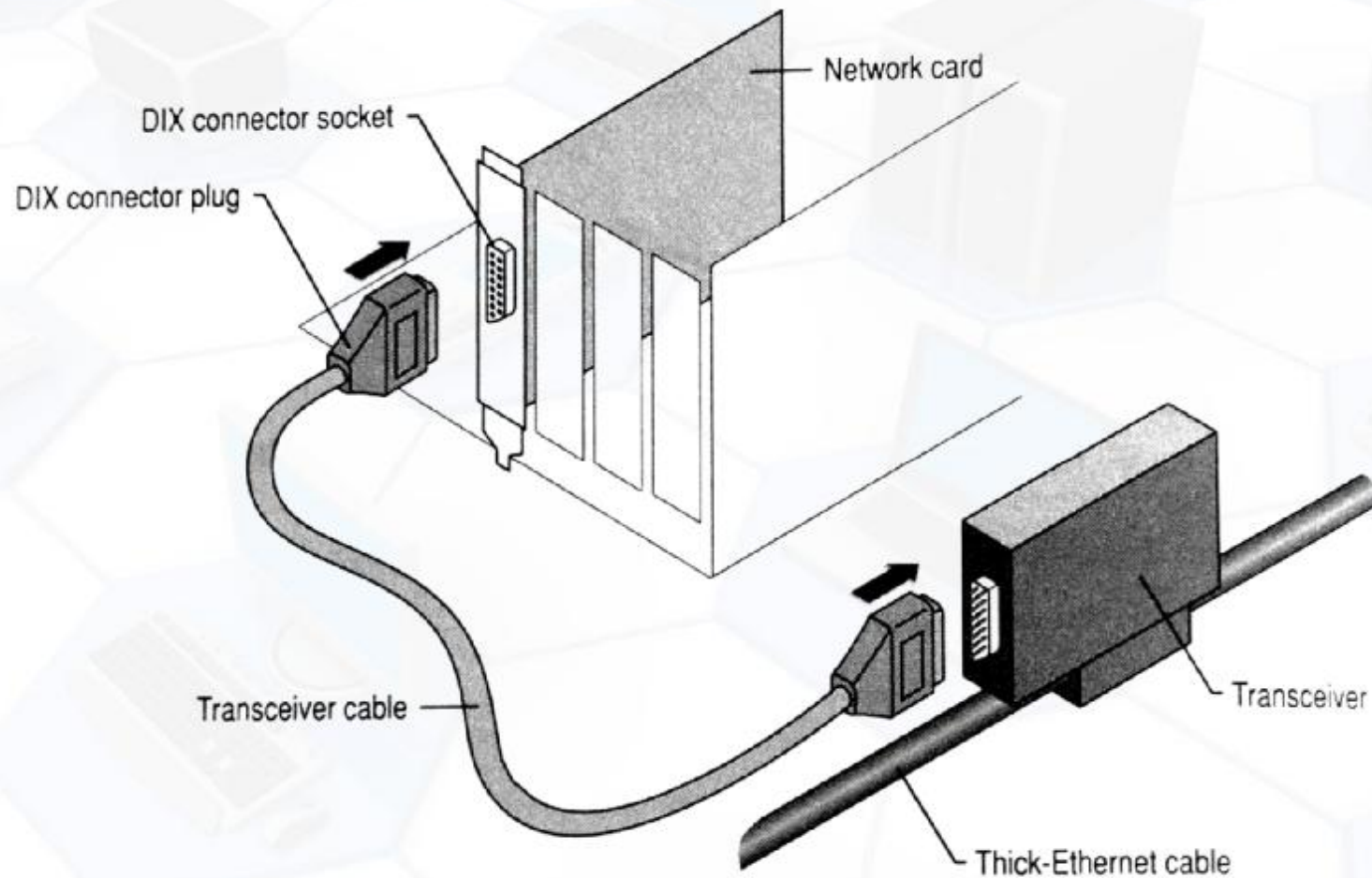
2) 802.3的四种物理规范

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	200m(185)	30	廉价	BNC
10Base-T	双绞线	100m	2	易于维护	RJ-45
10Base-F	光纤	2km	2	用于楼间	ST

a) 粗缆以太网



p 粗缆以太网的连接

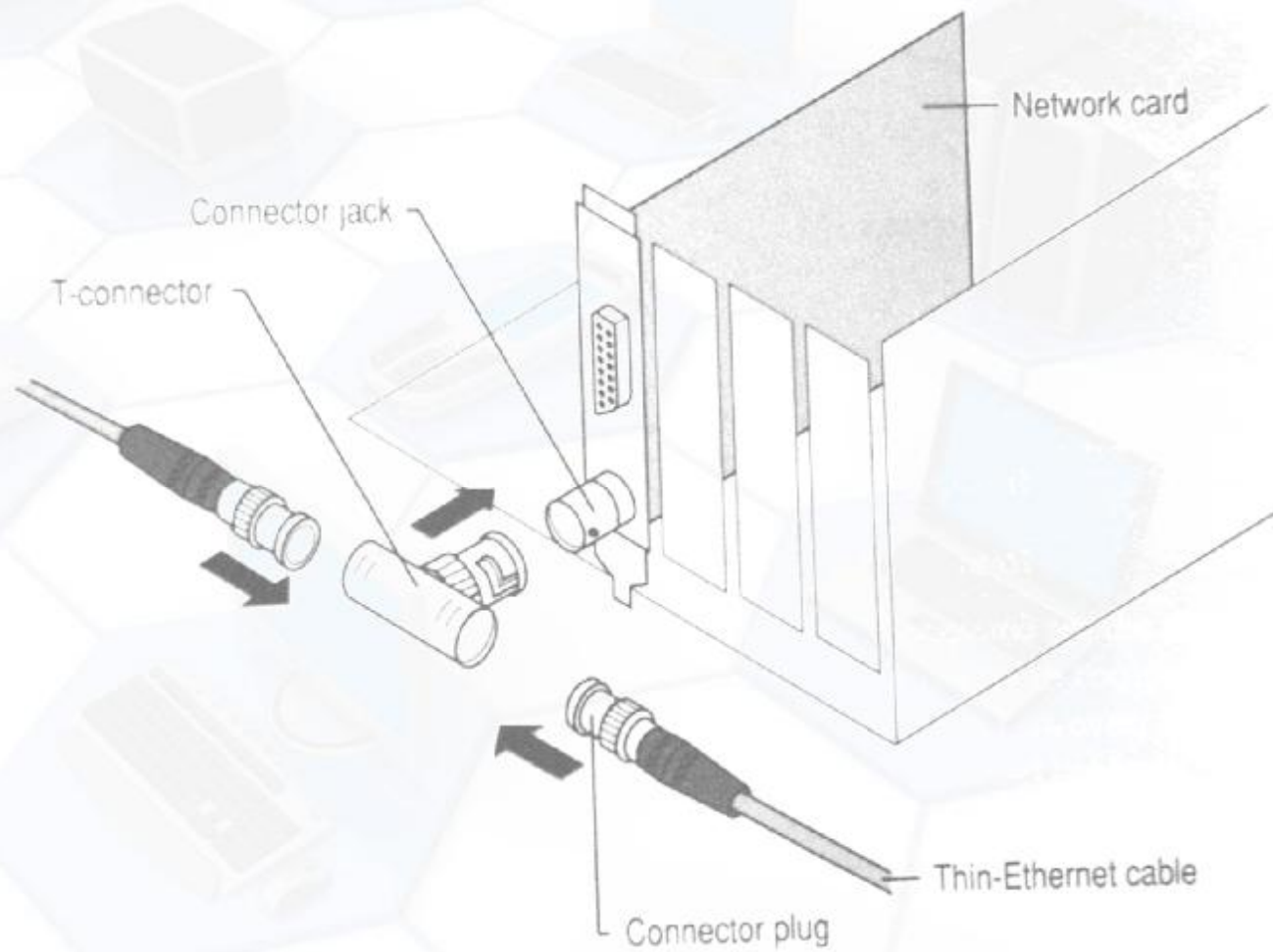


b) 细缆以太网

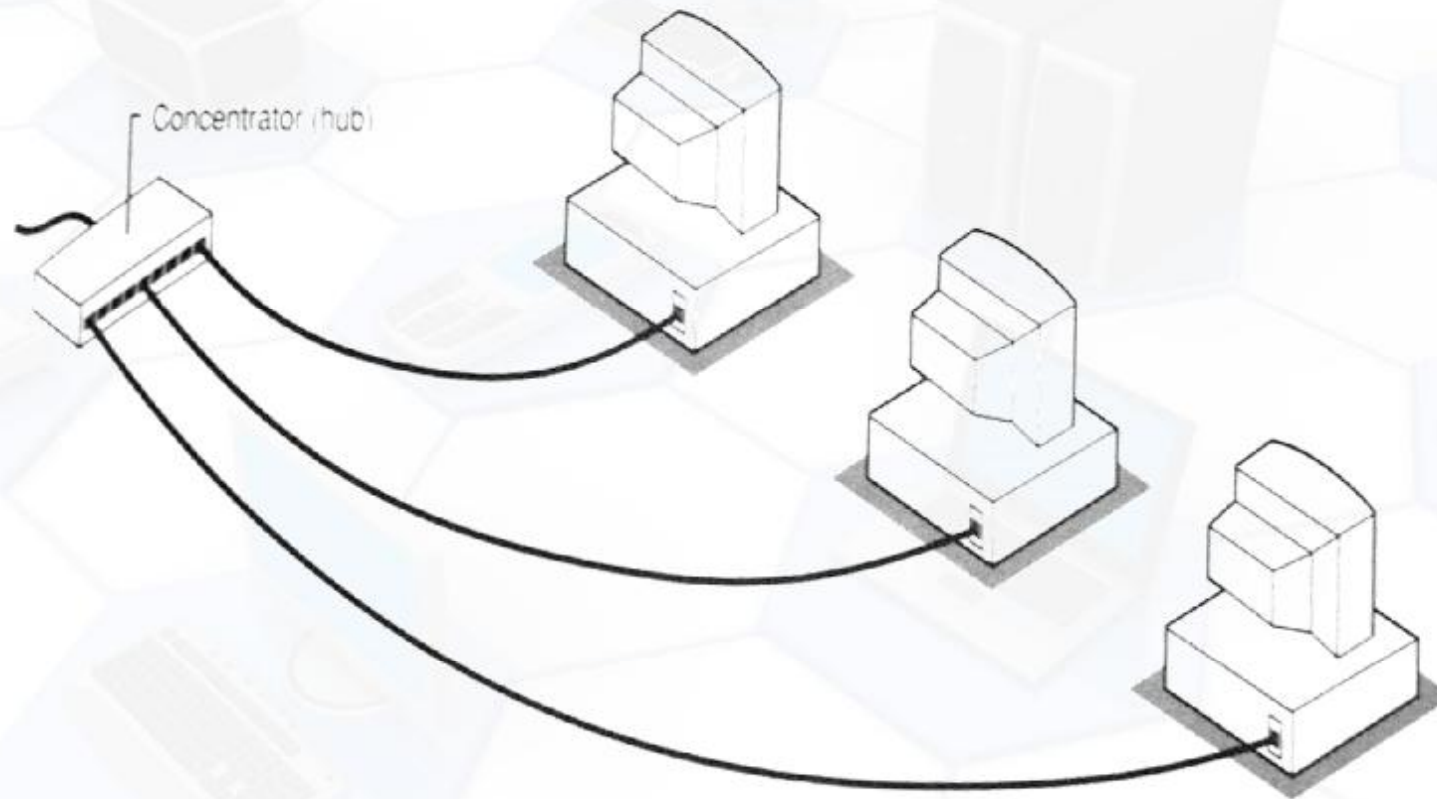


Sample thin-Ethernet system

p 细缆以太网的连接



c) 双绞线以太网



Sample twisted-pair Ethernet system

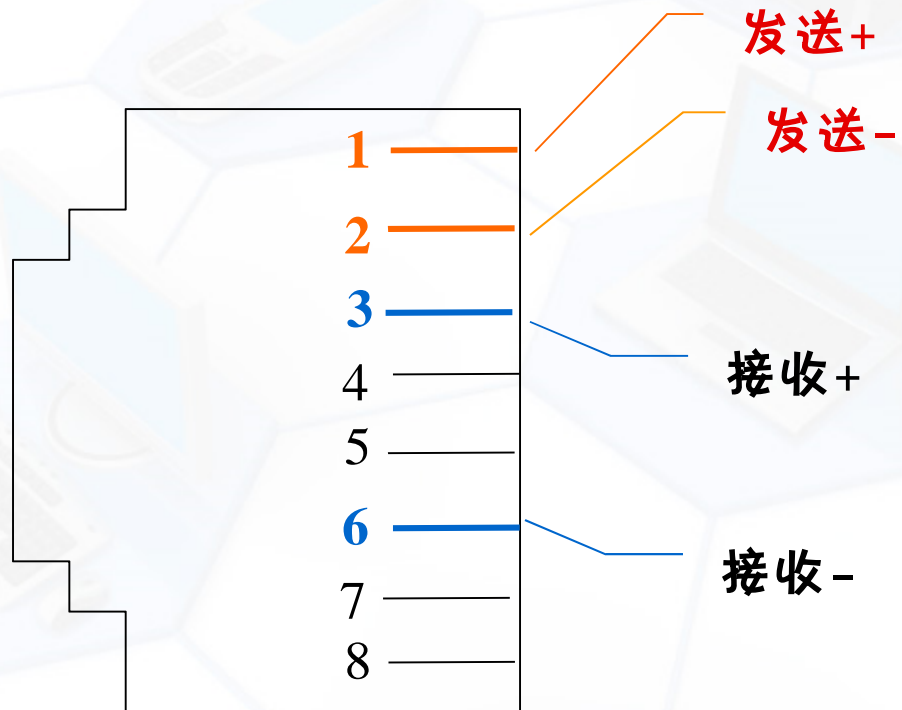
3) 802.3的设备

- u 集线器（HUB）：目前很常用。形成星形连接，但其本质是总线结构
- u 中继器（Repeater）：较少用。一个以太网中最多允许用4个。因此以太网的最大传输距离是2500米

4) 端口连接

p 介质相关端口 (MDI)

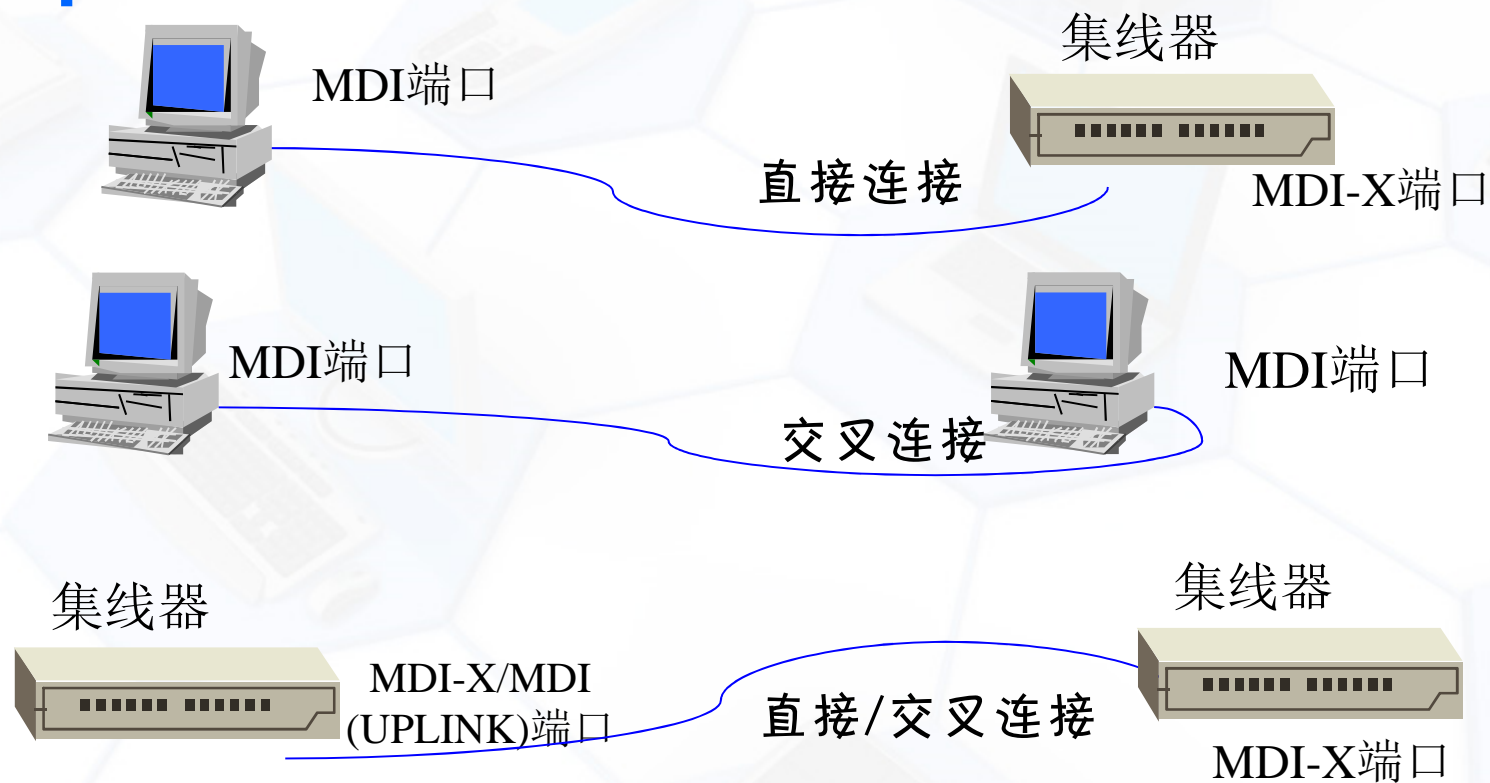
1/2发送, 3/6接收的普通端口



p 介质相关端口交叉 (MDI-X)

1/2接收, 3/6发送的交叉特殊端口 (通常位于集线器端)

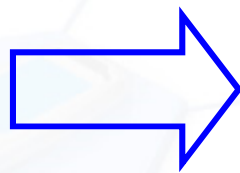
p 不同端口间连接方式



5) RJ45插头的制作过程



剥线，
平展



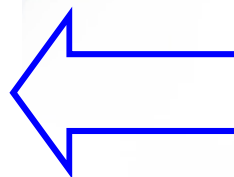
推到底，
良好接触



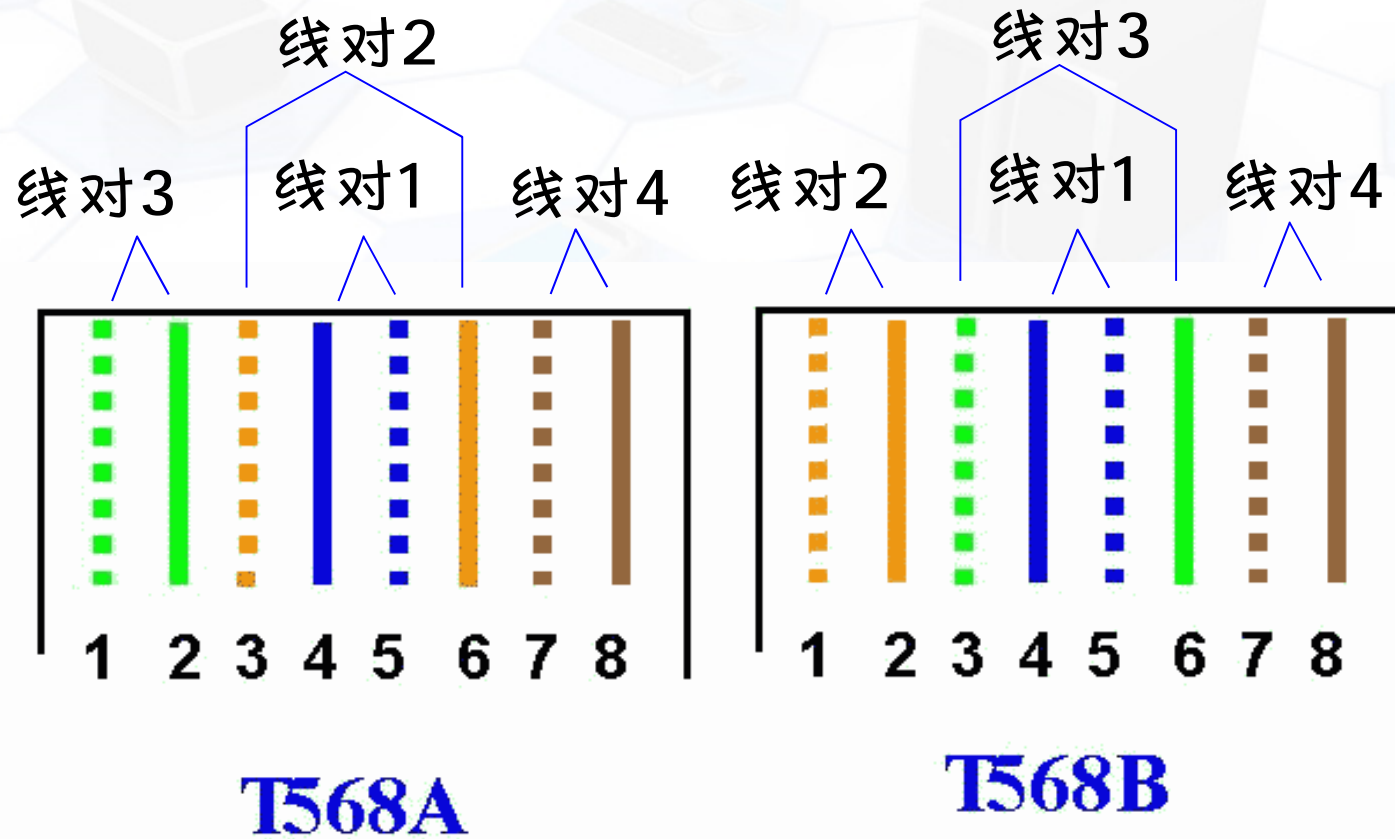
压紧（包括外层护套）



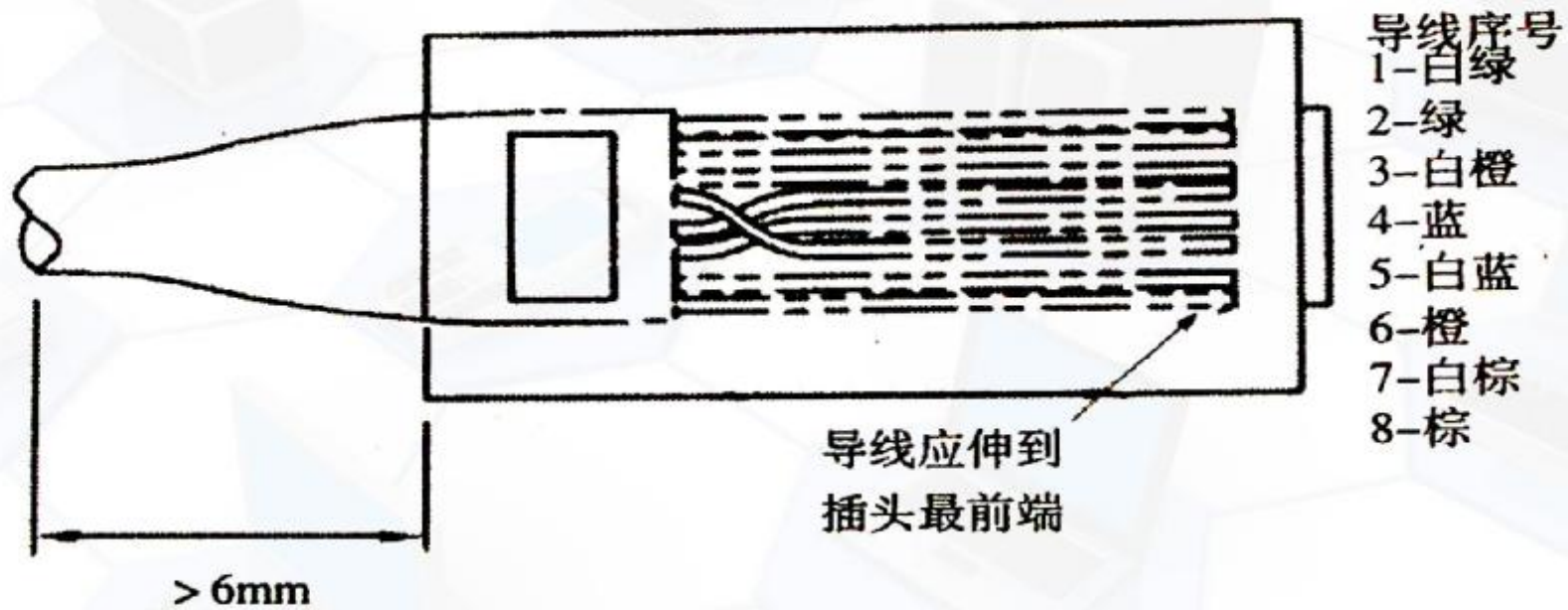
线缆测试



p RJ45的制作标准



p 制作完成的RJ45接头



RJ-45压线的要求

2. 快速以太网

- p 出现快速以太网联盟，兼容10M以太网
- p 标准定义为802.3u
- p 以太网帧长度未发生变化
- p 冲突处理规则未变化
- p 100M网络技术的争议：FastEthernet和100VG-AnyLAN

1) 100M以太网的变化

通过减小冲突域的直径
来保证传输速率

技术	线缆类型	最大长度	工作方式
100BASE-TX	Cat5 UTP	100	半/全双工
100BASE-T4	Cat3 UTP	100	半双工
100BASE-T2	Cat3 UTP	100	半/全双工
100BASE-FX	多模光纤	半412/全2000	半/全双工

2) 自适应技术

- p 设备可以以10/100M工作方式出现
- p 由设备端口自行协商工作方式和速率
- p 对从10M以太网系统迁移到100M以太网非常方便

三种不同铜缆物理规范

100BASE-TX —— 2对5类非屏蔽双绞线

100BASE-T4 —— 4对3类非屏蔽双绞线，不支持全双工

100BASE-T2 —— 2对3类非屏蔽双绞线

100BASE-TX与10BASE-T的 共同 与 不同 特征

- u 使用两对双绞线，一对发送一对接收，支持全双工
 - u 网段最长100米
 - u 使用RJ-45连接器，针脚定义相同
 - u 同样具有MDI和MDI-X端口
-
- u 100BASE-TX要求五类非屏蔽双绞线
 - u 数据编码方法不同
 - u 空闲时帧间发送特定空闲符号流

3. 千兆以太网技术 (Gbit Ethernet)

- p 成立千兆以太网联盟，向后兼容10/100M以太网
- p 全双工模式以太网互相兼容 (10M/100M/1000M)
- p 10/100M的CSMA/CD协议不适用于千兆以太网

1000M以太网与CSMA/CD协议的矛盾

- p 需要将短帧进行扩展，以便检测冲突
- p 短帧的扩充会浪费带宽，降低吞吐量
- p 冲突域必须足够小以使所有终端检测到冲突
- p 昂贵的千兆设备应支持长距离和满负荷才物有所值

1) 全双工千兆以太网

- p 传输没有冲突产生，不使用CSMA/CD
- p 数据帧随时可以发送，以帧间隙分隔
- p 遵守流量控制（PAUSE帧）

2) 10/100/1000M全双工以太网对比

参数	10M	100M	1000M
帧间隙	9.6微秒	0.96微秒	0.096微秒
最大帧长	1518字节	1518字节	1518字节（9018字节）
最小帧长	64字节	64字节	64字节

3) 特大帧

- p 原1518字节的最大帧携带信息少
- p 原最大帧的处理开销过大
- p 定义9018字节的非标准特大帧
- p 特大帧减少发送与接收终端的负担
- p 特大帧有利于减少占用附加带宽
- p 特大帧存在互操作问题

4) 半双工千兆以太网

必须将64字节的最小帧长扩展到512字节以检测冲突



5) 帧突发模式

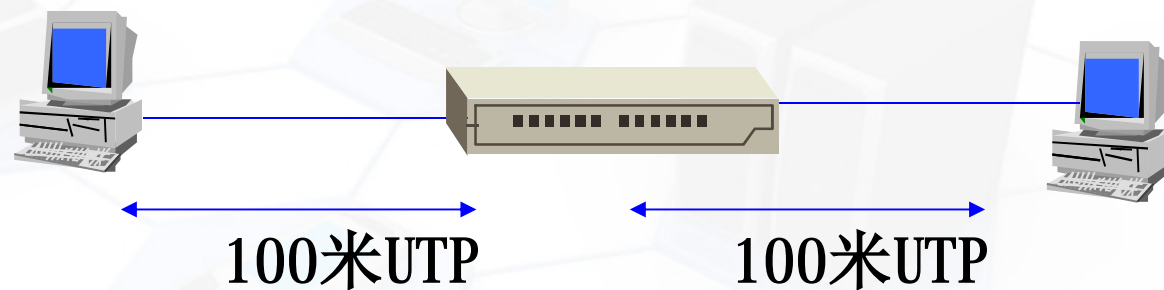


普通传输方式时对带宽的浪费



在突发模式下以填充扩展符号代替间隙

6) 千兆冲突域直径与延迟情况



千兆集线器构成网络的最大直径

UTP	STP	光纤	UTP+光纤	STP+光纤
100+100米	25+25米	220米	100+110米	25+195米

7) 千兆以太网的物理标准

- p 1000BASE-SX 短波长多模光纤
- p 1000BASE-LX 长波长多模/单模光纤
- p 1000BASE-CX 屏蔽铜缆
- p 1000BASE-T 非屏蔽双绞线

避免双绞线可能出现的问题

- p 使用符合超5类标准的双绞线
- p 减少交叉连接或转接点
- p 避免将多根UTP电缆绑在一起

8) 千兆的流量控制

p 流量控制的原理是当交换机检测到发生拥塞的端口之后，就会向输入端口发送暂停帧，通知其抑制发送的流量，最后达到消除拥塞。流量控制并不能提高整个交换机的数据吞吐能力，但避免了交换机内的丢包现象

p 千兆以太网允许在两台工作站之间基于端对端链路建立流量控制机制

p 流量控制机制可以有效地在信息发送方和接收方之间实现数据收发速度上的匹配

10M/100M/1000M以太网参数对比

p 共同特征

帧间隙：数据帧间的最小间隔（12字节）

时隙：发送最小帧需要的时间

	10Mb/s	100Mb/s	1000Mb/s
时隙	512位时间	512位时间	4096位时间
帧际间隙	9.6us	0.96us	0.096us
后退上限	10(幂指数)	10	10
重试上限	16	16	16
最大帧	1518	1518	1518
最小帧	64	64	64

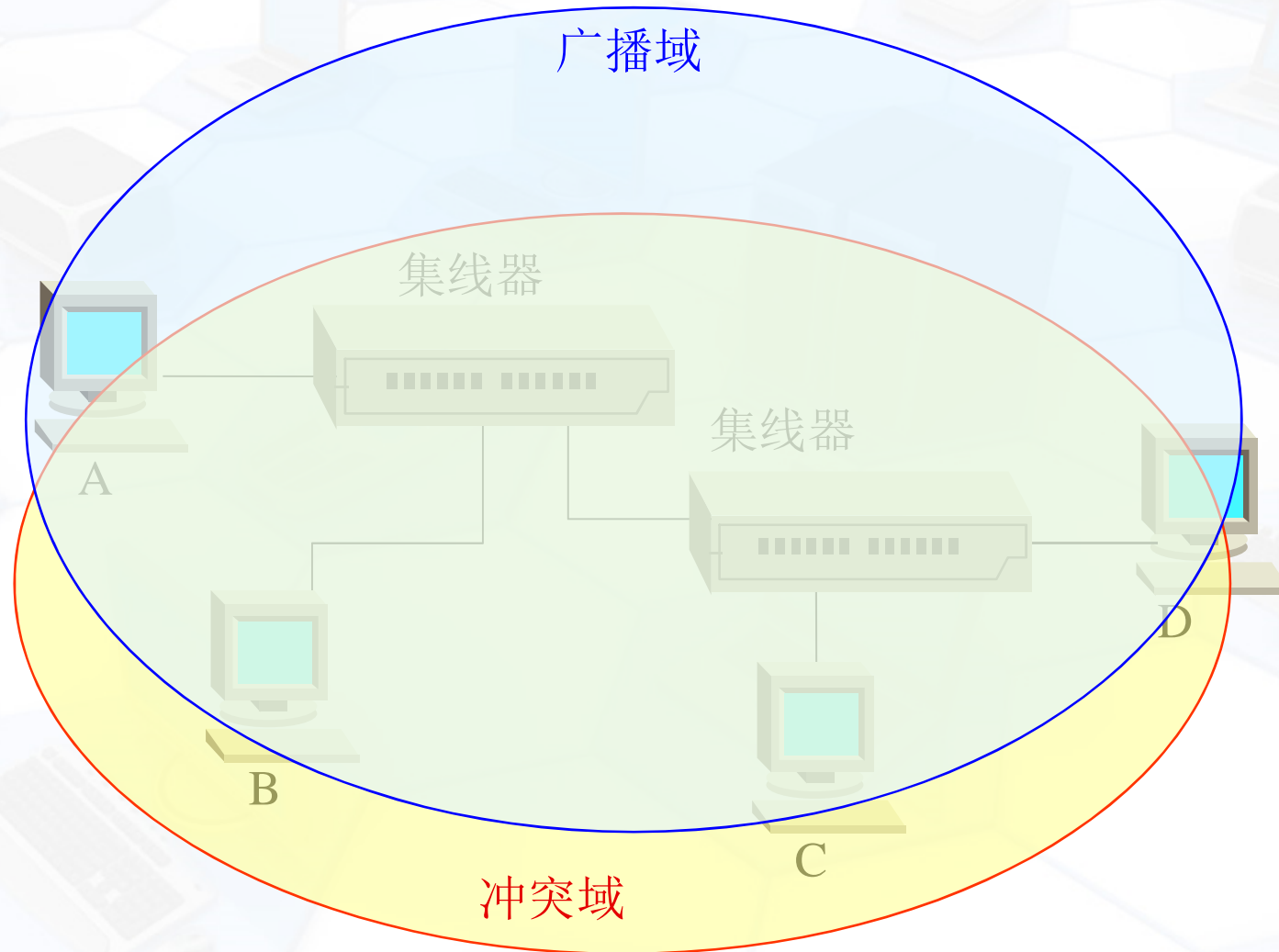
六、 以太网组网技术

- p 冲突域和广播域
- p 交换机和集线器
- p 传统以太网的5-4-3原则
- p 快速以太网的最大直径

1. 冲突域和广播域

p 冲突是指在同一个网段上，同一时刻有两个信号在发送，两个信号相互干扰，即发生冲突，冲突会影响正常帧的发送。冲突域是指会发生冲突的网段

p 单播和广播是两种主要的局域网信息传送方式，广播方式是指一台主机同时向网段中所有的其他计算机发送信息，广播域是指广播能够到达的网段范围



冲突域和广播域

1) 集线器(HUB)

p 集线器工作在物理层，其实质是一个中继器。主要功能是对接收到的信号进行再生放大，以扩大网络的传输距离

集线器分类

p 根据尺寸可分为机架式和桌面式集线器

p 按照提供的带宽可分为10Mb/s、100Mb/s、10/100Mb/s自适应集线器

p 按照扩展方式可分为堆叠式集线器和级联式集线器



2) 交换机(Switch)

p 交换机的前身是网桥，工作在数据链路层。交换机是使用硬件来完成以往网桥使用软件来完成的过滤、学习和转发过程的任务

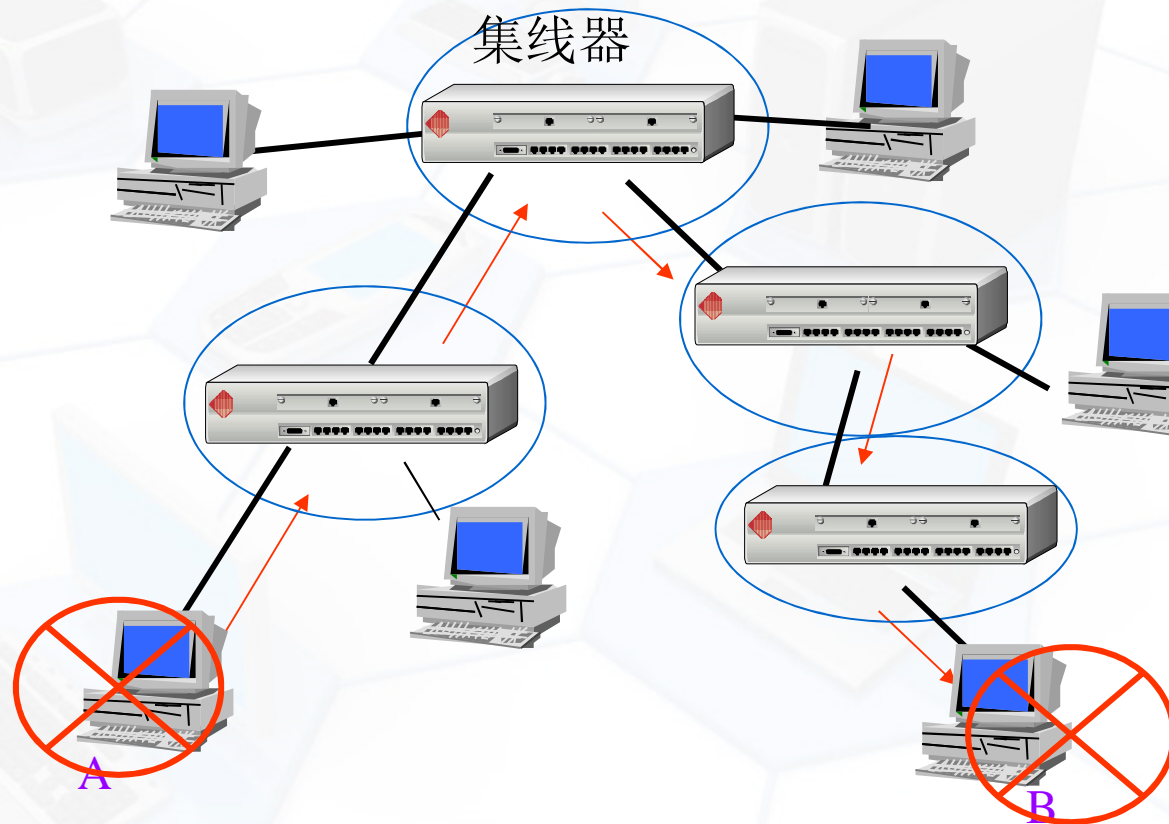
p 交换机中有一张过滤表，如果知道目标地址方向，就把数据发送到指定地点，如果地址表中没有，就把数据发送到所有可能的端口

2. 传统以太网的5-4-3原则

所谓“5-4-3原则”，是指在10Mb/s以太网中任何两个节点之间必须满足以下规则：

- p 源与目的节点间最多不得超过5个网段
- p 源与目的节点间最多不得超过4个中继器
- p 源与目的节点间含有终端的网段最多不得超过3个

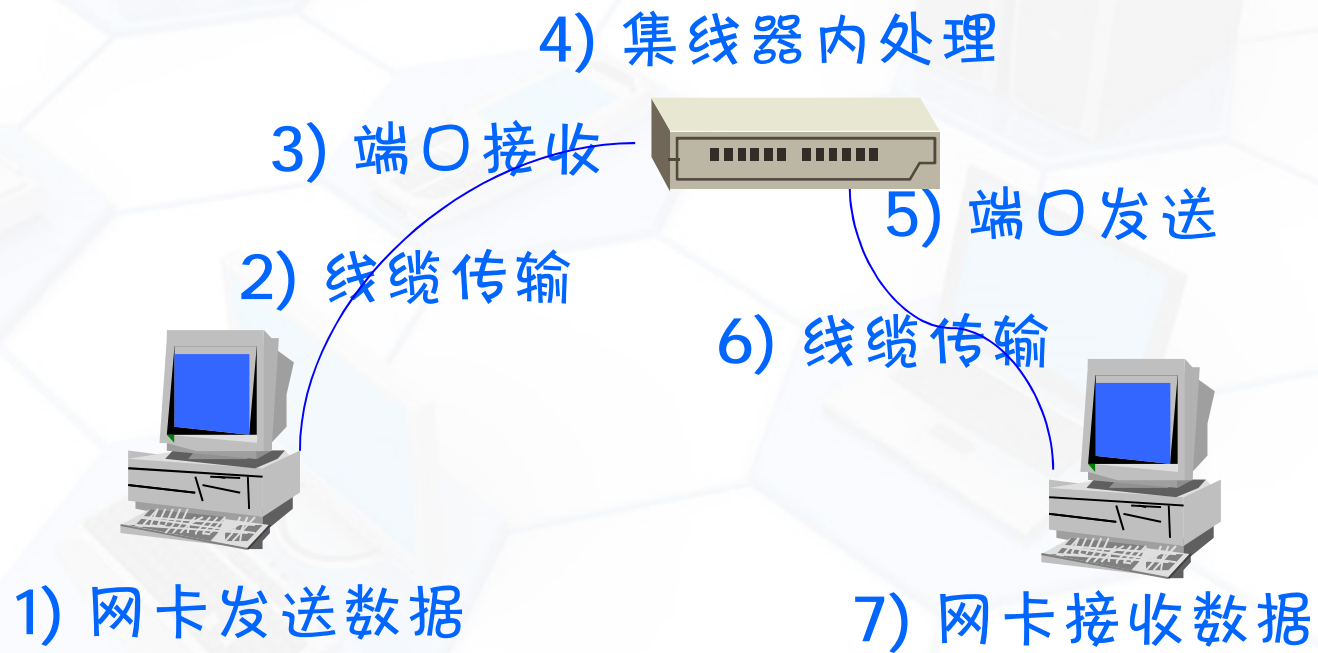
双绞线结构中的5-4-3原则



任何两个站点间含有工作站的网段都只有不超过2台终端

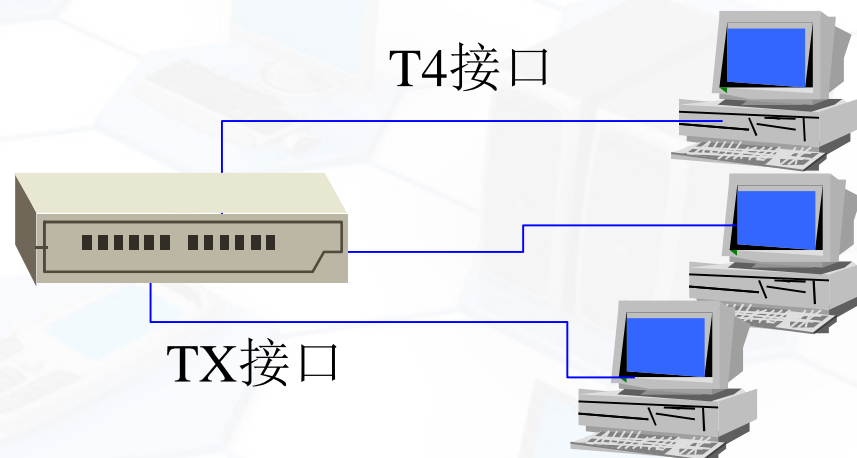
3. 100Mb/s以太网的最大直径

a) 延迟的组成

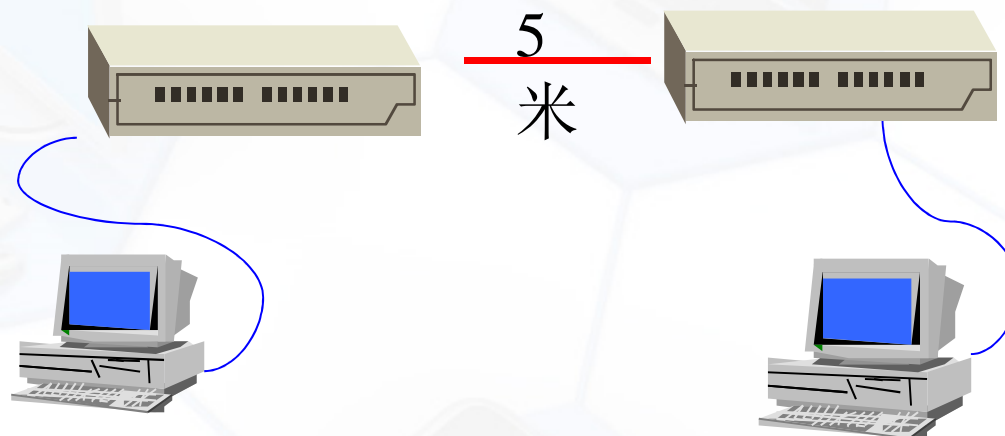


b) 集线器类型

I 类集线器
(混合型)



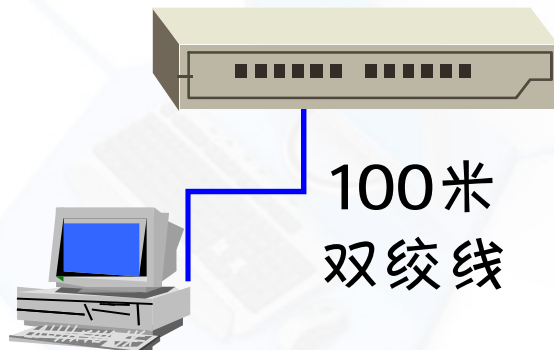
II 类集线器
(同类型)



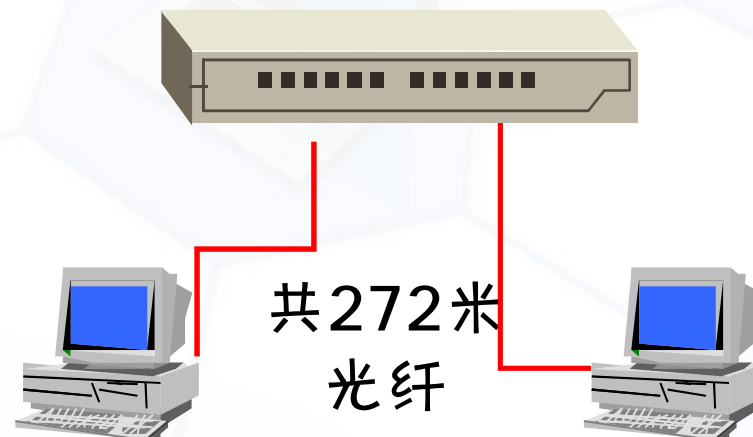
c) 冲突域的不同配置



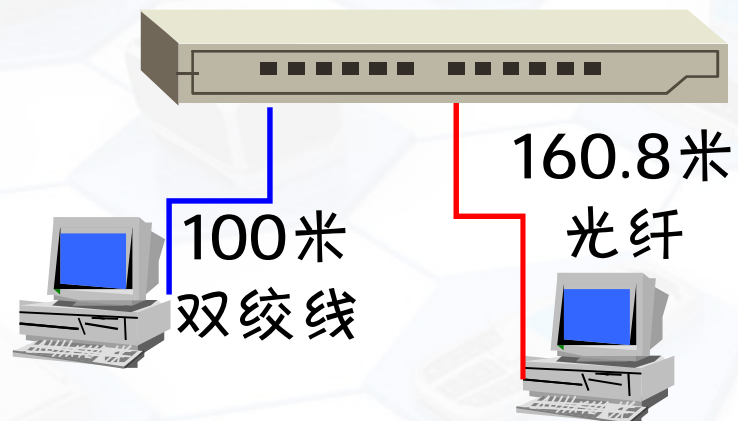
I 类集线器



I 类光纤集线器



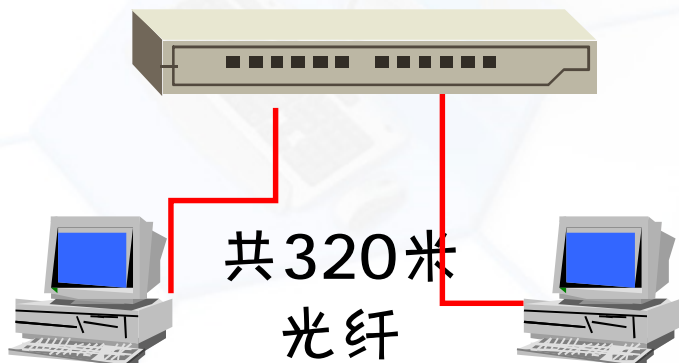
I 类TX+光纤集线器



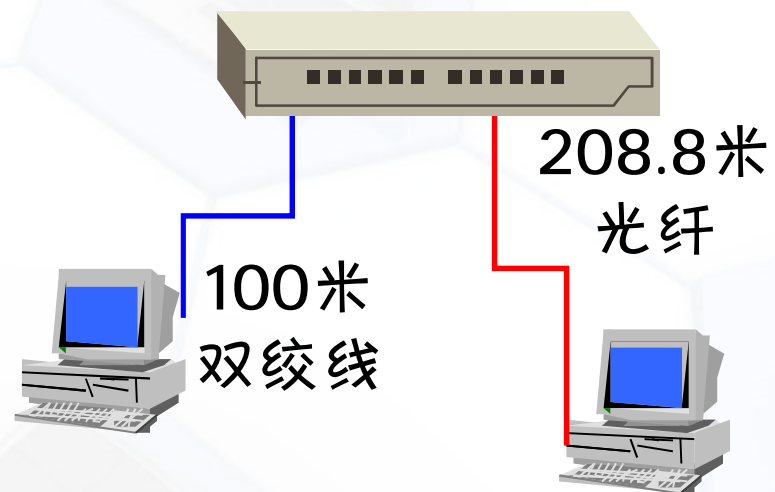
II 类集线器



II 类光纤集线器



II 类TX+光纤集线器



II类集线器

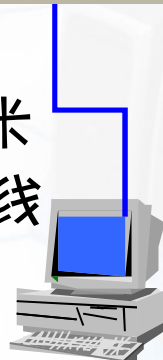


II类集线器

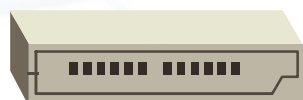


5米
双绞线

100米
双绞线



II类集线器



光纤

II类集线器



共228米光
纤



II类光纤集线器



光纤

II类集线器



共116.8米
光纤



d) 冲突域计算

(1) 计算依据

项目	线缆往返延迟 (位时/米)	最大位时
出入2个TX/FX DTE	-	100
出入2个T4 DTE	-	138
出入一T4和一TX DTE	-	127
3类/4类网段	1.14	114 (100米)
5类网段	1.112	111.2 (100米)
光缆网段	1.0	412 (412米)
I类集线器	-	140
II类TX/FX集线器	-	92
II类T4集线器	-	67

(2) 计算举例

A

最大可用
光纤长度？



100
出入两个TX/FX DTE



111.2
往返100米5类电缆



92
出入II类集线器

往返
延迟 = 303.2位时

最大的可用延迟 = $512 - 303.2 \text{ 位时} = 208.8 \text{ 位时}$
最大可用光缆长度 = 208.8米

B



是否允许接入100米长度的双绞线？

100

出入两个TX/FX DTE



250

往返250米光纤



92

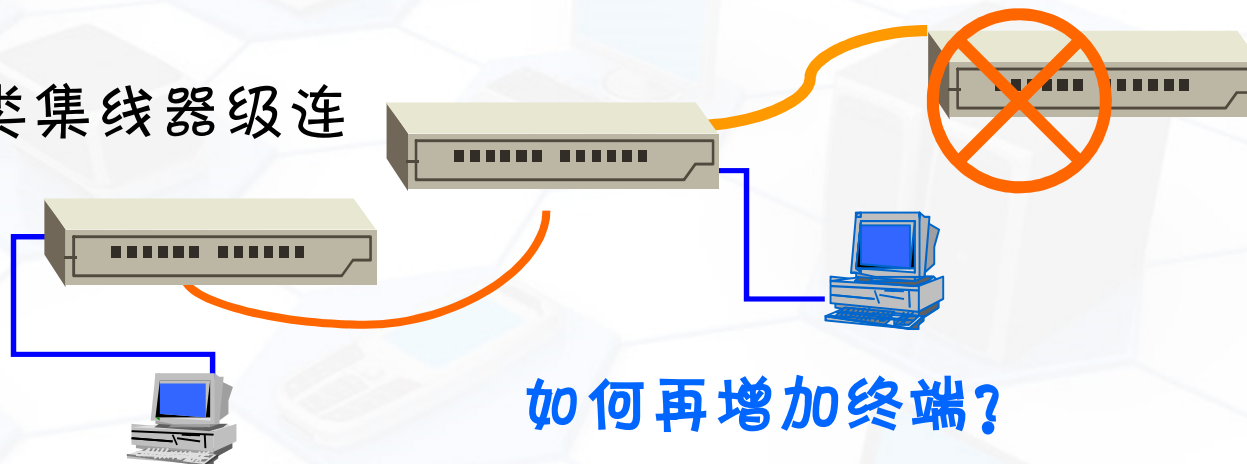
出入II类集线器往返延迟 = 442位时

往返60米5类电缆 = 66.72 往返延迟 = 508.72位时

往返100米5类电缆 = 111.2 往返延迟 = 553.2位时

4. 解决冲突域与集线器端口的矛盾

II 类集线器级连



II 类集线器堆叠



所有集线器相当于一个设备

5. 自动协商

- p 在快速以太网IEEE802.3u规范对自动协商功能的定义是：它允许一个设备向链路远端的设备通告自己所运行的工作方式，并且侦测远端通告的相应运行方式
- p 自动协商的目的是给共享一条链路的两台设备提供一种交换信息的方法，并自动配置它们在最优能力下工作

1) 协商的内容

p 支持自动协商的双绞线以太网接口能够自动确定以下方面的内容：

(1) 所支持的运行速率

(2) 两者是否能够支持全双工模式

(3) 流量控制是否应用于单向、双向或根本不用

p 用于自动协商的消息还可以携带一些附加的信息：

(1) 能够报告远端的故障状况

(2) 能够报告与厂商或产品相关的数据

2) 自动协商的实现

两个站点根据以下从高到低的优先顺序侦测双方共有的最佳方式：

- (1) 1000BASE-T全双工
- (2) 1000BASE-T
- (3) 100BASE-T2 全双工
- (4) 100BASE-TX 全双工
- (5) 100BASE-T2
- (6) 100BASE-T4
- (7) 100BASE-TX
- (8) 10BASE-T全双工
- (9) 10BASE-T

6. 万兆以太网技术

- p 万兆以太网是最新的高速以太网技术
- p 可靠性高，成本低
- p 可以将以太网的应用范围扩展到广域网

万兆以太网的局域网、城域网和广域网采用同一种核心技术，网络易于管理和维护，同时不需要协议转换，能实现局域网、城域网和广域网之间的无缝连接，并且价格低廉

1) 万兆以太网与以往以太网标准比较

- p 万兆以太网只支持全双工模式，不支持半双工模式，而以往的各种以太网标准均支持半双工或全双工模式
- p 万兆以太网因为传输速率高，所以使用的传输介质只能是光纤，而以往的各种以太网标准均支持铜缆
- p 万兆以太网不支持CSMA/CD协议，因为这种技术不能满足万兆以太网的性能要求
- p 万兆以太网使用64B/66B和8B/10B两种编码方式，而传统以太网只使用8B/10B编码方式
- p 万兆以太网具有支持局域网和广域网接口，且有效距离可达40km，而以往的以太网只支持局域网应用，有效传输距离不超过5km

2) 万兆以太网802.3ae标准

- p 协调层的功能是把XGMII的信号集传送给MAC层
- p XGMII（10G 介质无关接口）被定义为从MAC层到物理层的10G接口，它还提供分离的8位或64位传输和接收数据的路径、必要的控制信息和时钟信号等用于控制同步的信息
- p PCS子层（物理编码子层）对传送出去的数据进行编码，对接收数据进行解码
- p PMA（物理介质附属子层）的作用主要是在传送数据时对数据包进行编号并排序，在接收数据时根据编号把这些数据还原为原来的形式，以确保数据能正确传输

802.3ae标准(续)

- p PMD（物理介质相关子层）通过介质相关接口与光纤介质相连，主要负责比特流的传送和接收，广域网的物理层比局域网的物理层多一个子层，即广域网接口子层（WAN Interface Sublayer, WIS），它能提供简化的SONET帧功能，WIS的输出信号与OC-192帧格式兼容
- p 与数据链路层对应的结构是逻辑链路控制层（LLC）和介质访问控制层（MAC），这两层的功能与以往以太网标准的功能基本相同

7. 以太网参考书籍

高速局域网
郭幽燕 等译
电子工业出版社



快速以太网



8. 以太网组网实验注意事项

在哪里设自己的IP地址：



- ☐ 自动获得 IP 地址 (Q)
- ☒ 使用下面的 IP 地址 (S):

IP 地址 (I):

192 . 168 . 1 . 20

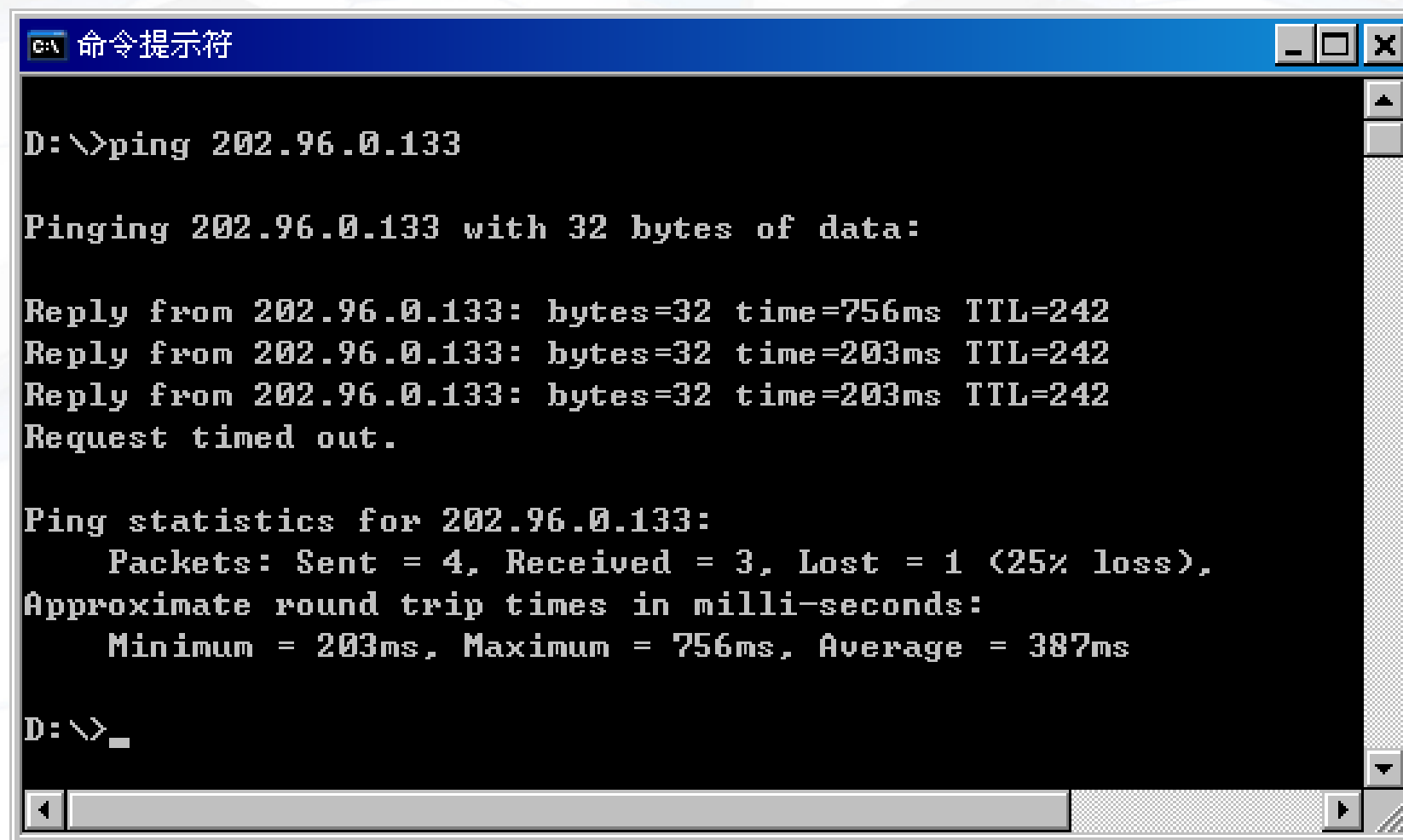
子网掩码 (U):

255 . 255 . 255 . 0

默认网关 (D):

. . .

怎样测试网络链路的可达性:



```
D:\>ping 202.96.0.133

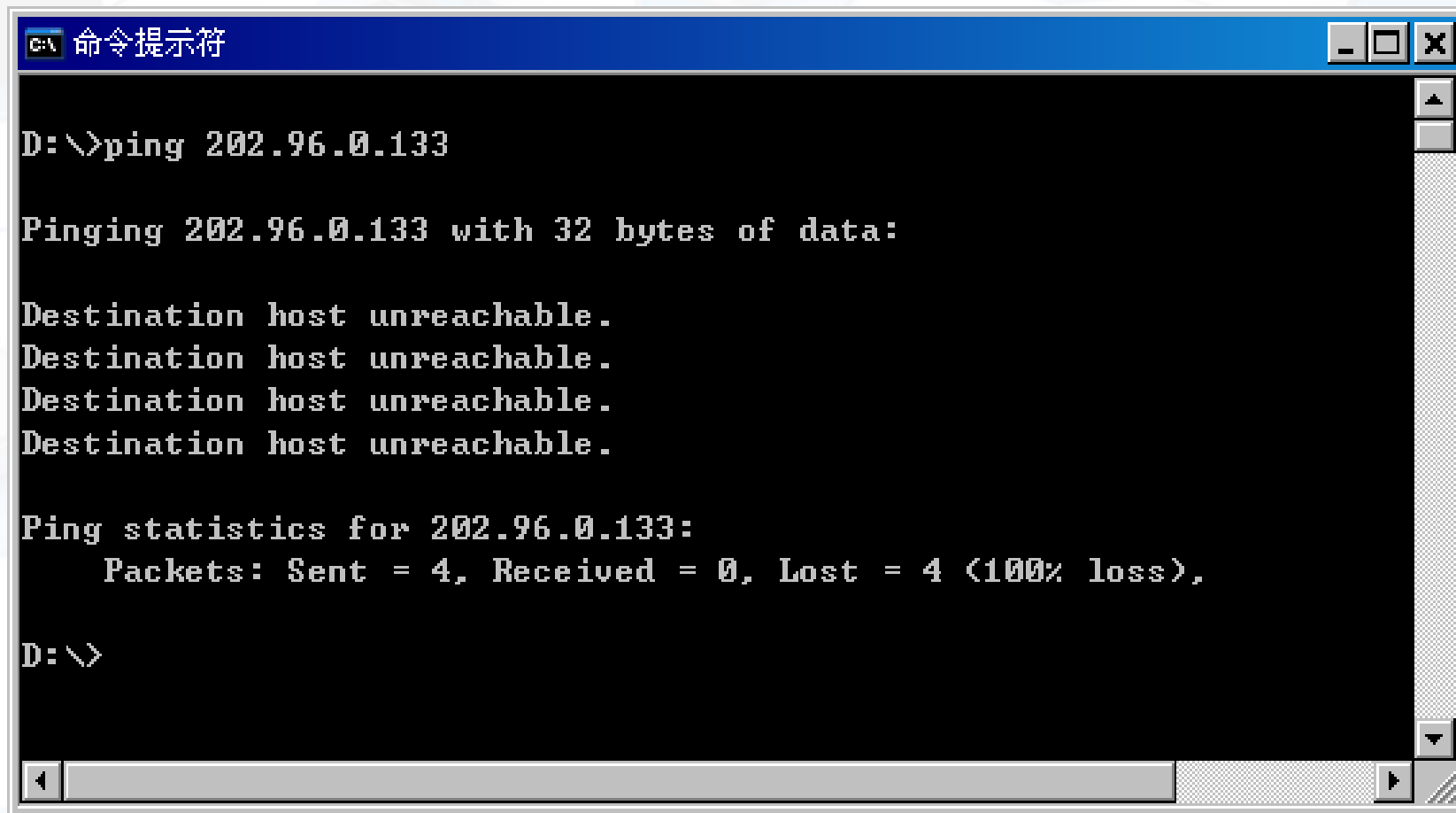
Pinging 202.96.0.133 with 32 bytes of data:

Reply from 202.96.0.133: bytes=32 time=756ms TTL=242
Reply from 202.96.0.133: bytes=32 time=203ms TTL=242
Reply from 202.96.0.133: bytes=32 time=203ms TTL=242
Request timed out.

Ping statistics for 202.96.0.133:
    Packets: Sent = 4, Received = 3, Lost = 1 (25% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 203ms, Maximum = 756ms, Average = 387ms

D:\>_
```

目的站点可达的情况



```
C:\>命令提示符

D:\>ping 202.96.0.133

Pinging 202.96.0.133 with 32 bytes of data:

Destination host unreachable.
Destination host unreachable.
Destination host unreachable.
Destination host unreachable.

Ping statistics for 202.96.0.133:
    Packets: Sent = 4, Received = 0, Lost = 4 (100% loss),

D:\>
```

目的站点不可达的情况

<实例演示>