

## 第13章

# 有线局域网：以太网

# 本章主要内容

**p**IEEE标准

**p**标准以太网

**p**标准的变化

**p**快速以太网

**p**千兆以太网

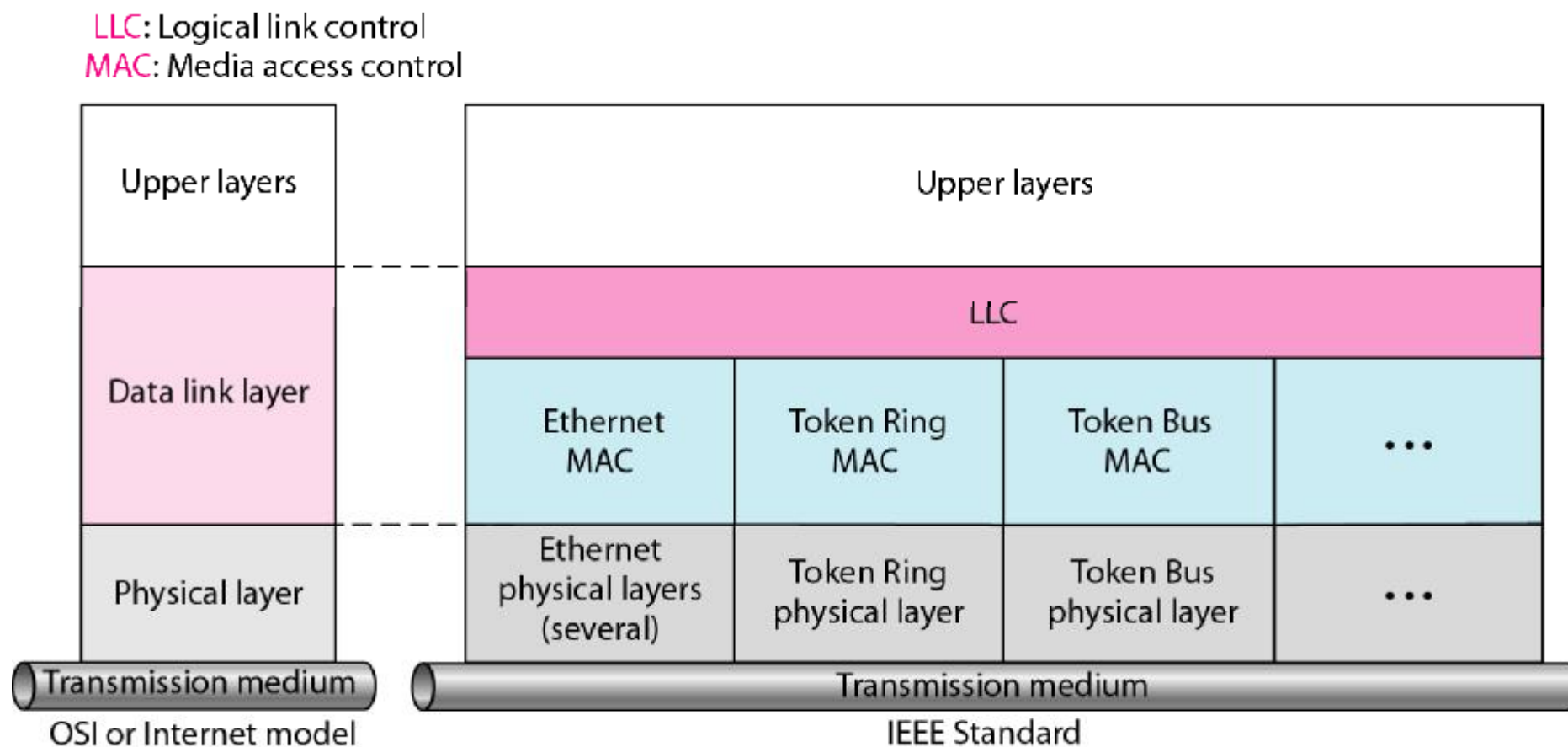
## 13-1 IEEE标准

**p**局域网有多种类型，如以太网、令牌环网、令牌总线、FDDI和ATM LAN等，某些技术只生存了一段时间，如今最普遍应用的是以太网；

**p**1985年，IEEE（Institute of Electrical and Electronics Engineers，电气与电子工程师学会）开始了一个802项目（Project 802），以设定标准使得不同制造商生产的设备之间能相互通信；

**p**项目802并不旨在代替OSI或者因特网模式，相反，它说明了大多数局域网协议的物理层和数据链路层的功能。

图13.1 局域网的IEEE标准



---

## 逻辑链路控制层LLC

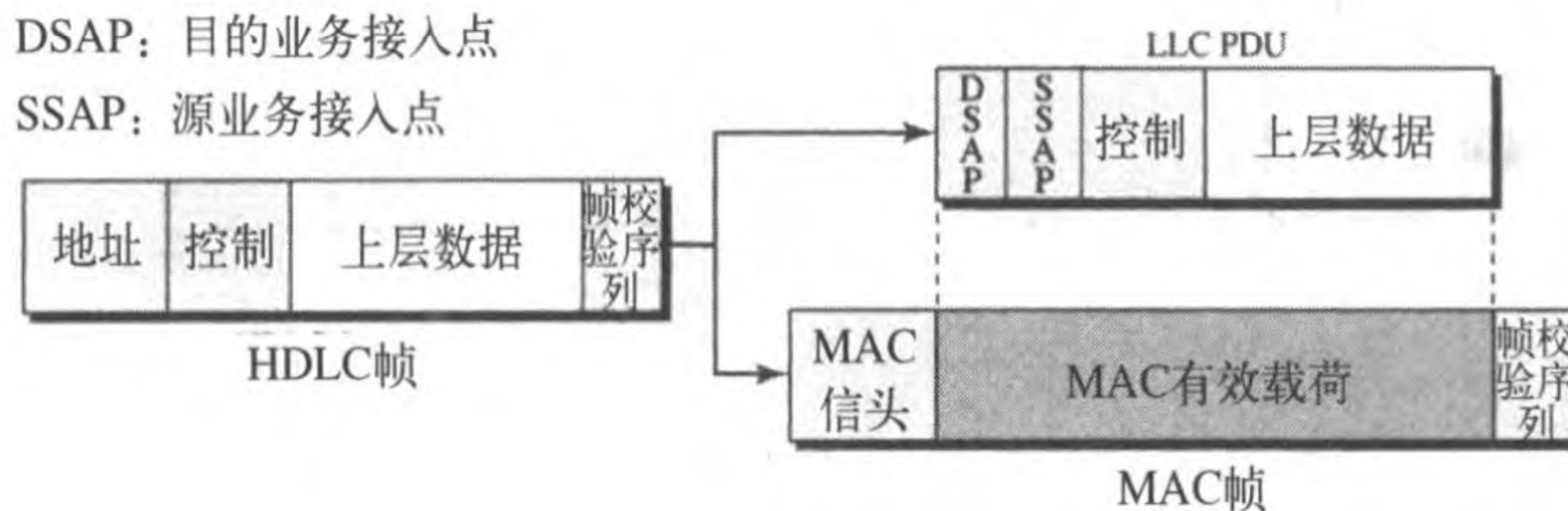
---

- 在IEEE 802中，流量控制、差错控制和部分成帧的职能都被集中到LLC子层中（LLC和MAC两者都进行成帧处理）；
- LLC为所有IEEE局域网提供一个单一的数据链路控制协议，它不同于MAC子层，后者为不同的局域网提供不同的协议；
- 一个单一的LLC协议能使不同的局域网之间进行相互交换，因为它使MAC子层变得透明

图13.2 HDLC帧与LLC及MAC帧的比较

LLC PDU中的控制字段用于流量控制和差错控制，协议的其他字段被移入到MAC子层中（P265）；

HDLC中定义的帧被分为LLC子层的PDU和MAC子层的一个帧



---

## LLC的需求和MAC层

---

**p**LLC的目的是为需要流量控制和差错控制的上层协议提供这些服务，然而，多数上层协议诸如IP（第20章）并不需要LLC的服务；

**p**IEEE 802创造了介质访问控制层为每个局域网定义特定的访问方法；例如，CSMA/CD是以太网介质访问方法，令牌传递是令牌环和令牌总线局域网的介质访问方法；

**p**MAC子层包含了一些独特的模块，每个模块都为相应的局域网协议定义了访问方法和成帧的格式。

---

## 物理层

---

- p 物理层取决于网络的实现和使用的物理介质；
- p IEEE为每个局域网的实现定义了详细的规范；例如，在标准以太网中虽然只有一个MAC子层，但是每种以太网的实现都有不同的物理层规范



## 13-2 标准以太网

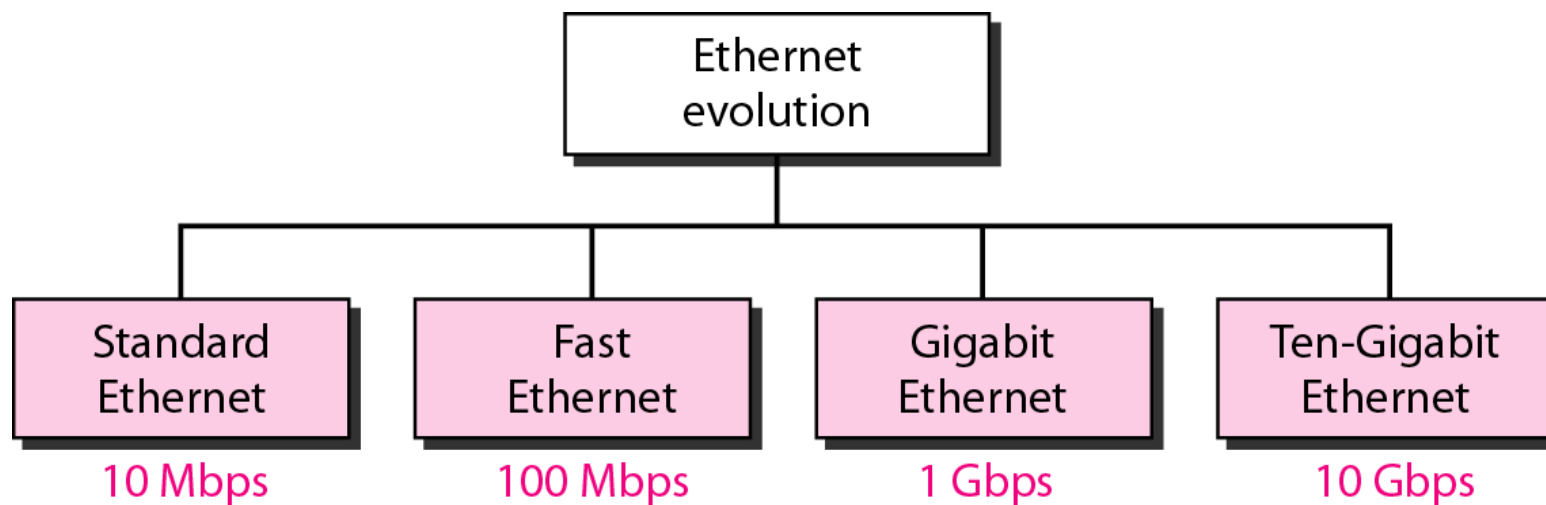
**p**以太网最初由施乐（Xerox）公司的Palo Alto研究中心（PARC）于1976年创建的；

**p**以太网经历了四代的发展：标准或传统以太网（Standard Ethernet, 10Mbps），快速以太网（Fast Ethernet, 100Mbps），千兆以太网（Gigabit Ethernet, 1Gbps）和10千兆以太网（Ten-Gigabit Ethernet, 10Gbps）

---

图13.3 以太网的四代发展

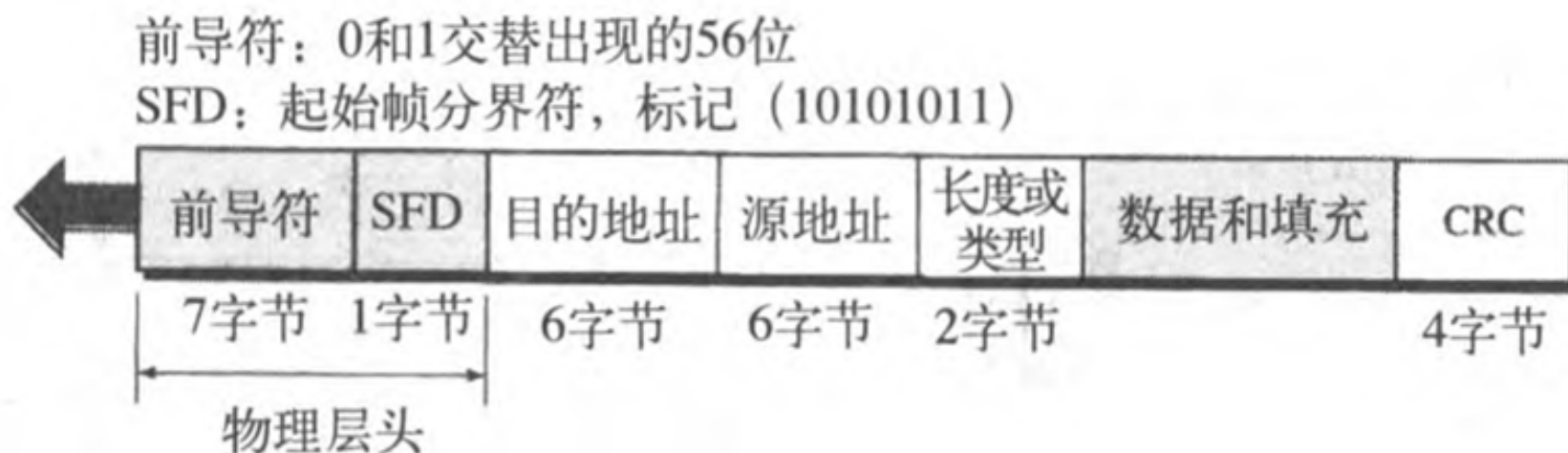
---



## 图13.4 IEEE 802.3的MAC帧

包括7个字段：前导符、SFD、DA、SA、协议数据单元PDU的长度/类型、上层数据和CRC；

对接收到的帧，以太网不提供确认的任何机制，所以将它称做不可靠的介质，确认必须在其高层完成。



---

## 802.3 MAC帧的字段

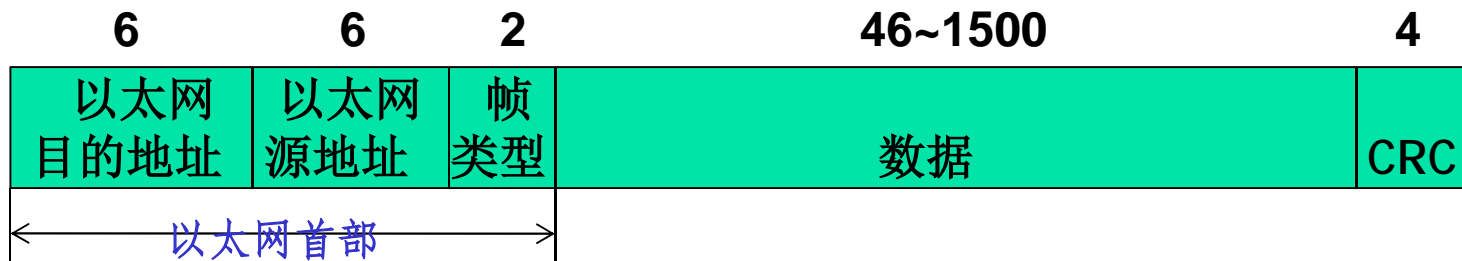
---

- p**前导符：7个字节（56位），1和0交替出现，通知接收系统有帧的到来并使其与输入的时钟同步，56位模式容许站点在帧的开始可以错过（miss）一些位；实际上前导符（preamble）是在物理层上加进去的，并不是帧的一部分；
  - p**起始帧分界符（SFD）：10101011，说明帧的开始；
  - p**目的地址（DA）：6个字节，包含目的站点或接收该分组的站点的物理地址；
  - p**源地址（SA）：6个字节，包含分组的发送方的物理地址；
  - p**长度/类型：最初的以太网（Ethernet-II，商业广泛使用）作为类型字段来定义使用MAC帧的上层协议，IEEE标准使用它作为长度字段来定义数据字段的字节数；
  - p**数据：上一层协议封装的数据，最少46字节，最大1500字节；
  - p**CRC：差错检测信息，CRC-32
-

---

## Ethernet-II帧格式

---



帧类型:

**0x0800** — IP数据报

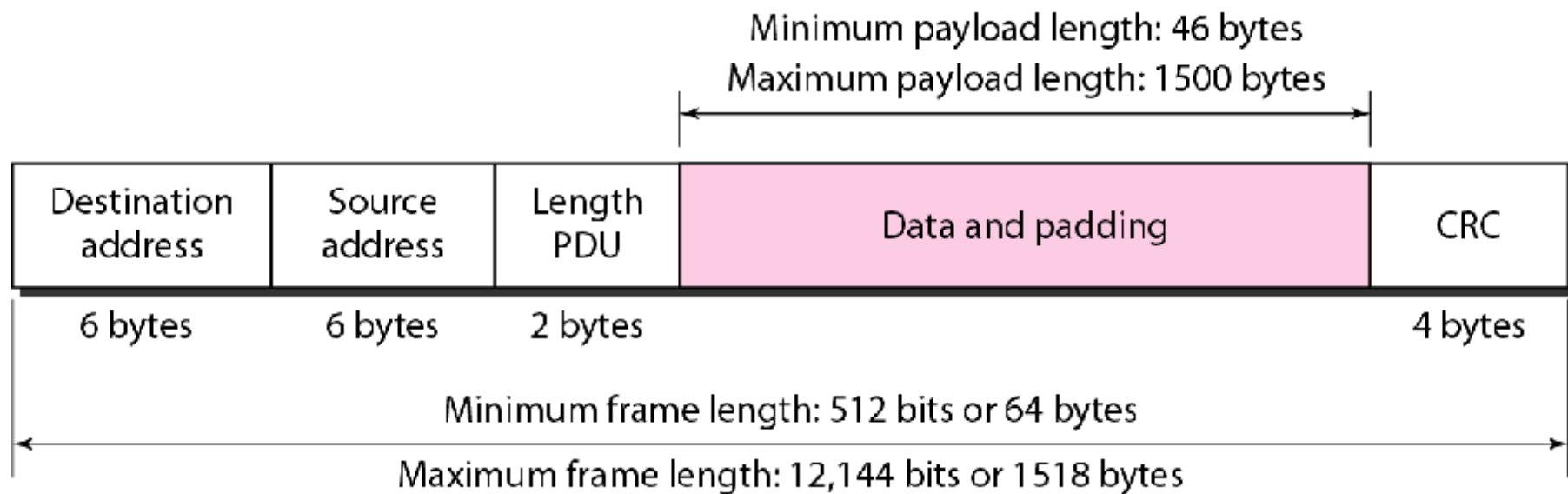
**0x0806** — ARP请求/响应

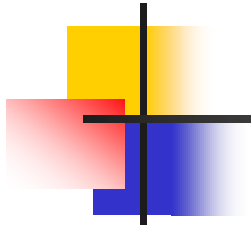
**0x8035** — RARP请求/响应

---

**图13.5 802.3 MAC帧的最小长度和最大长度**

---





帧的长度:

最小值: 64字节 (512位)

最大值: 1518字节 (12144位)

---

## 寻址

---

**p**以太网每个站点都有网卡，网卡安在站点内部并给该站点提供一个6字节的物理地址；

**p**通常用十六进制表示法，字节间以冒号断开；

**pQ1:** 如何查看自己网卡的物理地址？

**pQ2:** 如何修改自己网卡的物理地址？

06 : 01 : 02 : 01 : 2C : 4B

└──┘  
6 bytes = 12 hex digits = 48 bits

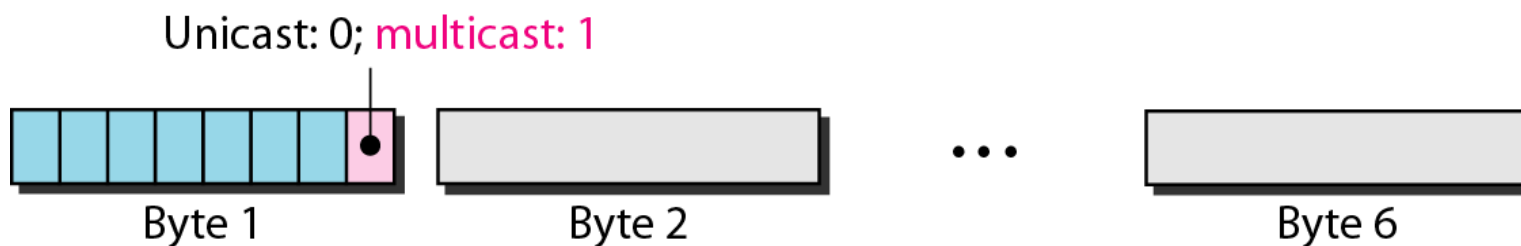


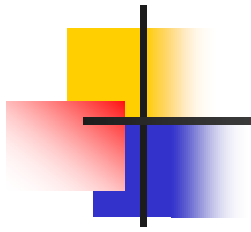
---

## 单播地址、多播地址和广播地址

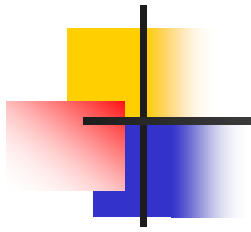
---

- 源地址永远是一个单播地址——帧只来自一个站点，然而目的地址可以是单播地址、多播地址或广播地址；
- 如果目的地址字段第一个字节的最低位是0，是单播地址，否则便是多播地址；
- 单播目的地址限定了只有一个接收方，发送方和接收方一对一；多播目的地址定义了一组地址，发送方和接收方之间的关系是一对多；
- 广播地址是多播地址的一个特例：接收方是整个局域网中的所有站点，地址为全1。





第一个字节的最低位决定了物理地址的类型；如果该位是0，地址是单播地址，否则便是多播地址。



广播目的地址是多播地址的一个特例，它的所有位都是1。



## 例13.1

确定下列目的MAC地址的类型：

a. 4A:30:10:21:10:1A

b. 47:20:1B:2E:08:EE

c. FF:FF:FF:FF:FF:FF

**解：**

为了知道地址的类型，我们必须看左边第二个十六进制数字。如果是偶数，那么地址是单播地址；如果是奇数，那么地址是多播地址；如果所有的数字都是F，那么地址是广播地址。因此，得到以下答案：

a. 单播地址， $(A)_{16} = (1010)_2$

b. 组播地址， $(7)_{16} = (0111)_2$

c. 广播地址。



## 例13.2

写出MAC地址 47:20:1B:2E:08:EE 在线路上的发送次序。

**解：**

地址被一个字节一个字节地从左向右发送，每个字节是一位一位地从右向左发送的，如下所示：

←	11100010	00000100	11011000	01110100	00010000	01110111
---	----------	----------	----------	----------	----------	----------

---

p 访问方法：标准以太网使用1-持续的CSMA/CD方法（结合二进制指数退避策略）；

p 时隙：在以太网中，一个帧从最大长度网络的一端到另一端之间往返所需的时间（准确的说应该是帧的第一个比特，即往返传播时间）加上发送干扰序列所需的时间（传输时间还是传播时间？）称为时隙；

p 以太网的时隙以位来定义，它是一个站点发送512位所需的时间，这就意味着实际的时隙取决于数据速率，对于传统的10Mbps以太网来说是51.2us；

p 时隙必须小于发送方发送最小的512位帧所需的时间，发送方必须在它发送整个帧之前意识到冲突的存在，否则，就太迟了；

p 发送方只需要在发送第一个512位的时间内“听”是否有冲突发生就可以了（？）；

p 如果有站点不遵循CSMA/CD协议，则假设不成立

---

---

## 时隙和最大网络长度

---

⌚ 时隙和最大网络长度（冲突域）之间有关联，这取决于在一个特定的介质中信号的传播速度；

⌚ 在大多数传输介质中，信号以  $2 \times 10^8 \text{m/s}$  传播（是在空气中传播速度的  $2/3$ ）；

⌚ 对传统的以太网而言，计算如下：

$$\text{最大长度} = \text{传播速度} \times (\text{时隙}/2)$$

$$\text{最大长度} = (2 \times 10^8) \times (51.2 \times 10^{-6}/2) = 5120\text{m}$$

⌚ 实际需要考虑中继器和接口的延迟，及发送干扰序列所需的时间，这些将传统以太网的最大长度减少为2500米，仅仅是理论上的48%（最大长度=2500米）。

---

图13.8 物理层-标准以太网的分类

---

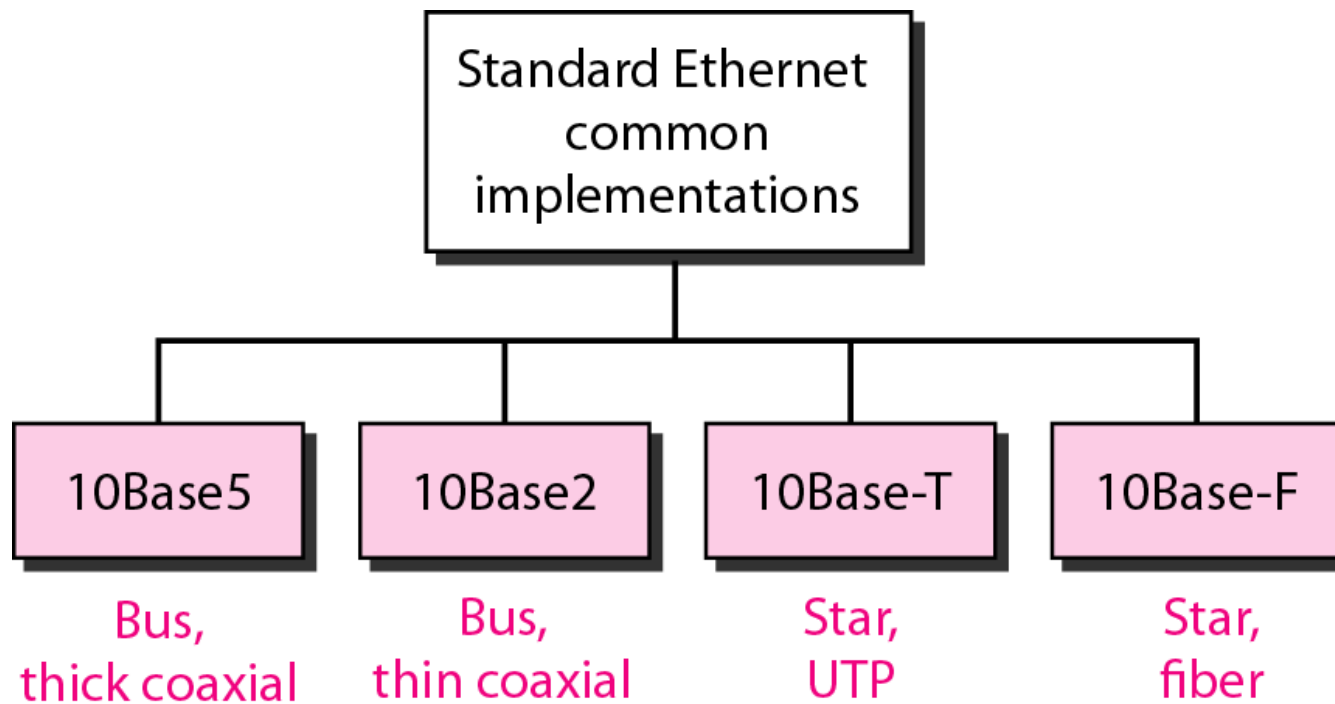
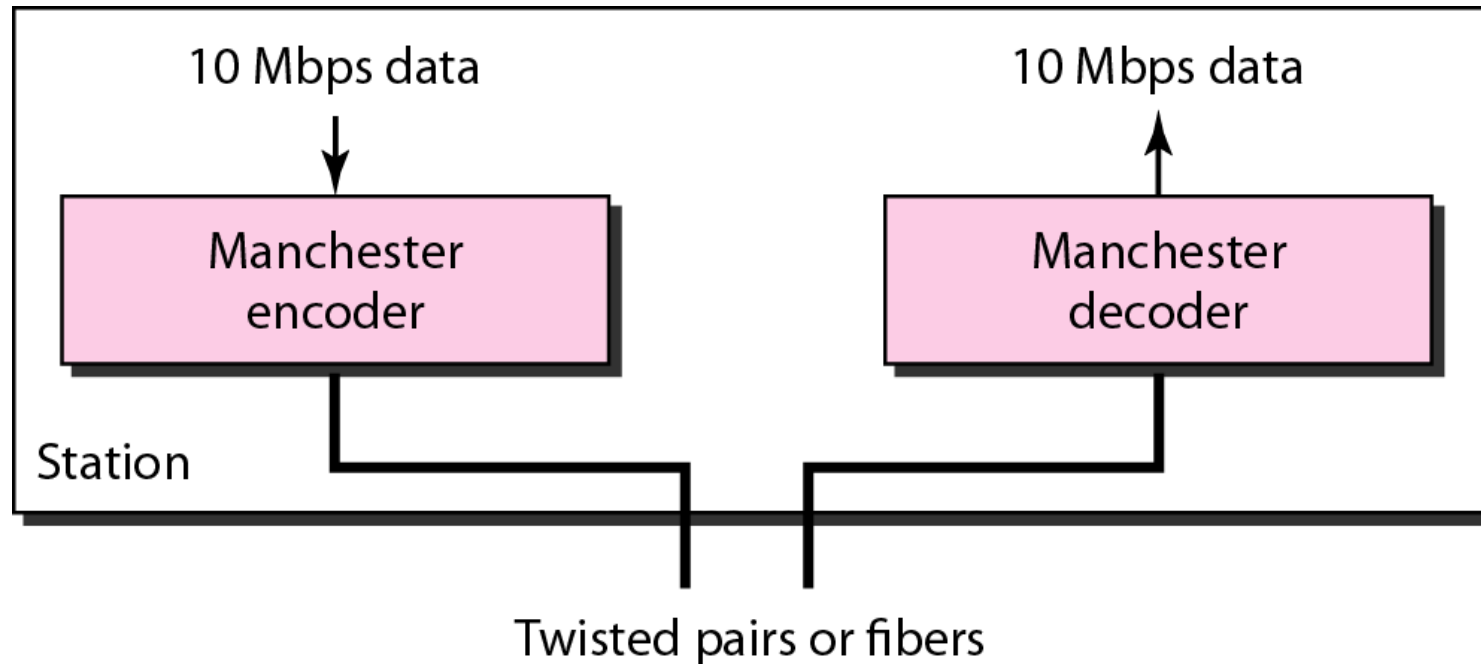




图13.9 标准以太网实现中的编码

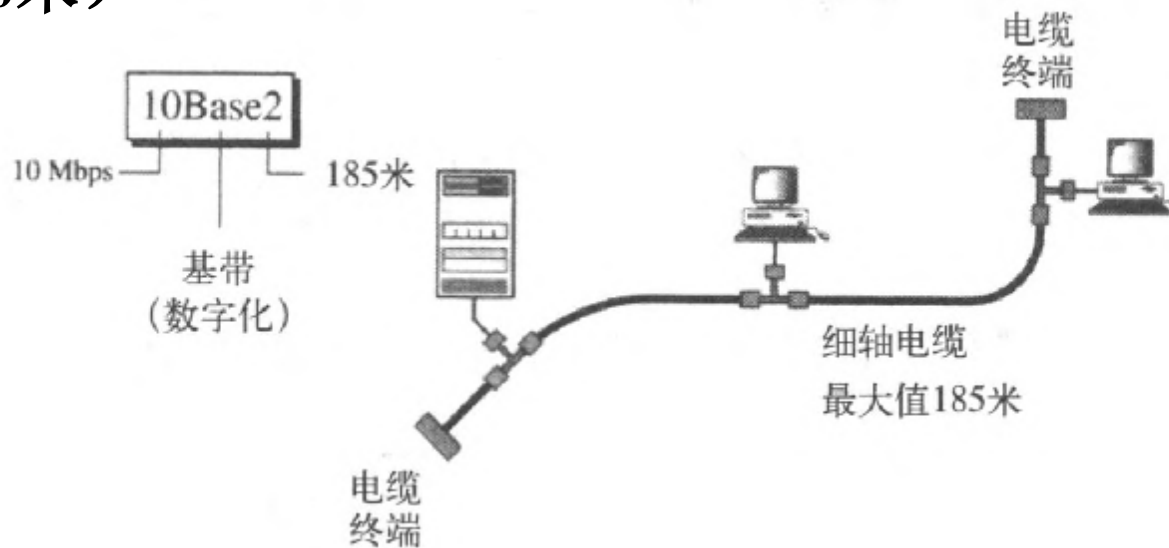
- 使用10Mbps的数字信号（基带）；在发送方，使用曼彻斯特方案将数据转换成数字信号，在接收方，信号又被转译成曼彻斯特码并被解码成数据；
- 曼彻斯特编码是自我同步的，在每一位的间隙提供一次转换





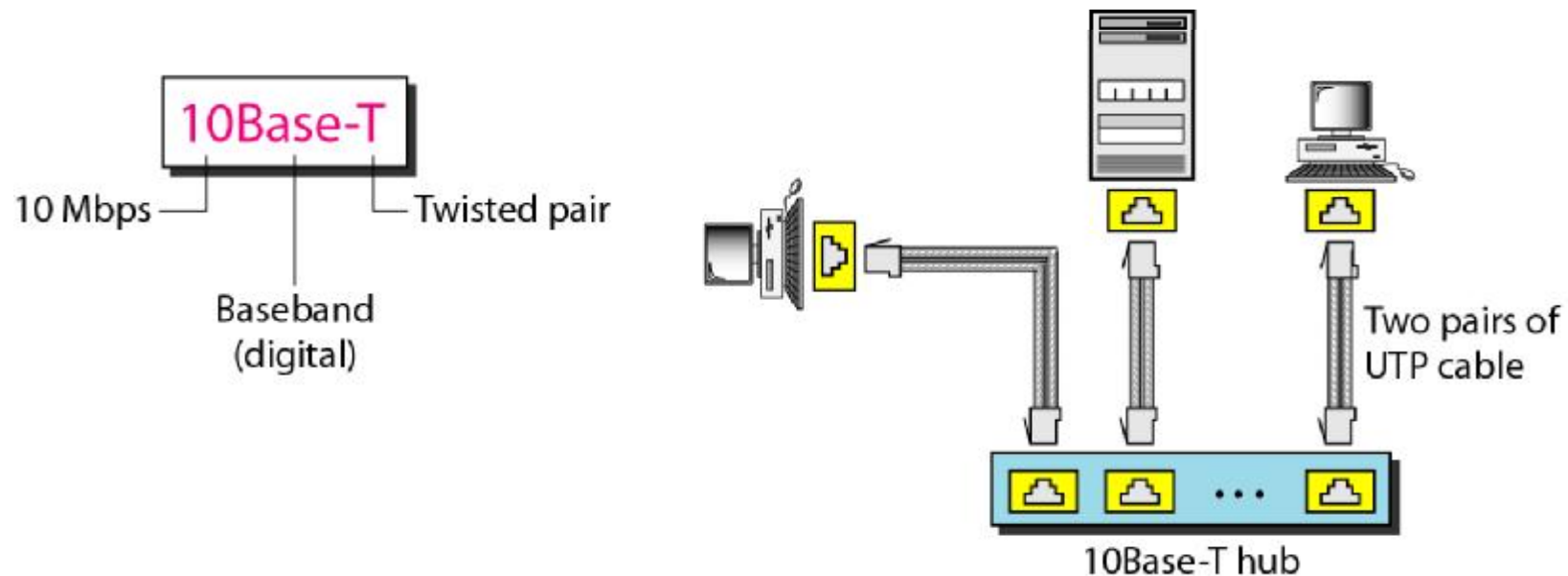
## 图13.11 10Base2：细缆以太网

- p 第二个以太网规范，使用总线拓扑，电缆细且电缆可以被弯曲以离站点很近，收发器通常是网卡的一部分，被安装在站点内部；
- p 注意：冲突发生在细轴电缆中；
- p 比10Base5的成本效益高，因为细轴电缆便宜，且T型接口比分接头便宜，安装也简单；因为高度衰减，分段长度不超过185米（接近200米）



## 图13.12 10Base-T：双绞线以太网

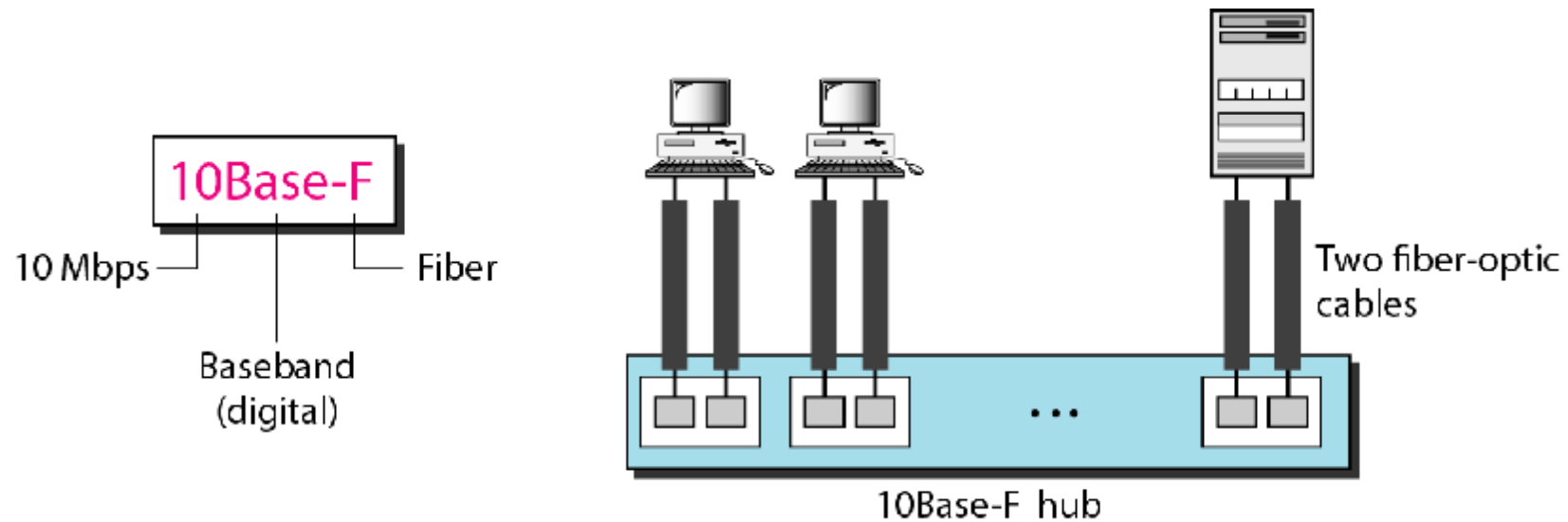
- 第三个以太网规范，或称为双绞线以太网，星型拓扑结构，站点通过双绞线连接到一个网络集线器上；
- 双绞线在站点和网络集线器之间形成了两条路径（一条发送一条接收），冲突发生在网络集线器中；
- 双绞线的最大长度是100米



---

## 图13.13 10Base-F：光纤以太网

使用一种星型拓扑将站点与网络集线器相连接，站点使用两条光纤与网络集线器相连接



**表13.1** 标准以太网实现的总结

<i>Characteristics</i>	<i>10Base5</i>	<i>10Base2</i>	<i>10Base-T</i>	<i>10Base-F</i>
Media	Thick coaxial cable	Thin coaxial cable	2 UTP	2 Fiber
Maximum length	500 m	185 m	100 m	2000 m
Line encoding	Manchester	Manchester	Manchester	Manchester

## 13-3 标准的变化

**p**10Mbps标准以太网在运行更高的传输速率之前已经经历了一些变化，这些变化事实上为以太网的发展开辟了一条新路，使得与其它高传输速率的局域网相比，以太网变得更有竞争力。

---

## 桥接以太网

---

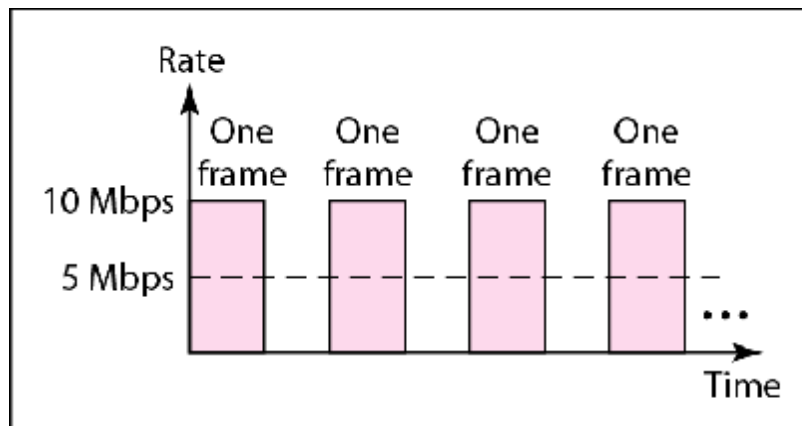
**p** 以太网发展的第一步是将局域网用网桥（**bridge**）分割；

**p** 在以太局域网中，网桥有两个作用：提高带宽和分割冲突域。

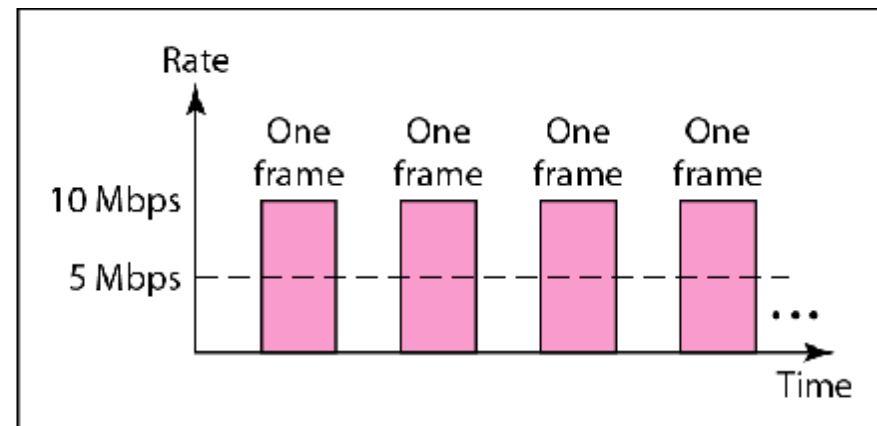


### 图13.14 带宽共享

- 如果一个以上站点使用网络，能力就被共享了；
- 例如，如果有两个站点要发送大量的帧，它们可能会轮流使用；当一个站点发送时，另一个站点停止发送，可以认为平均每个站点发送的速度是5Mbps。



a. First station



b. Second station

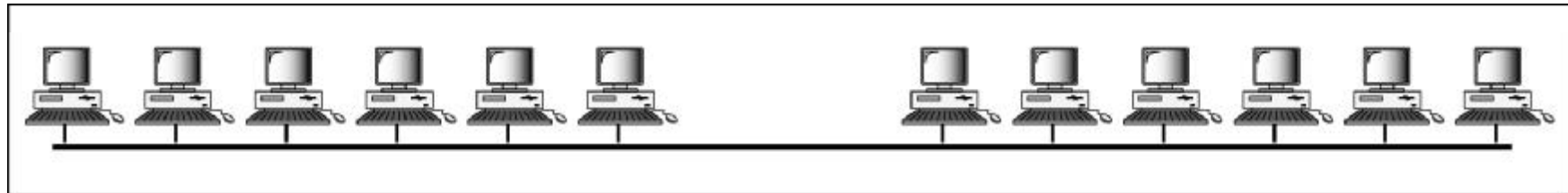
---

图13.15 一个带有网桥的网络和不带网桥的网络

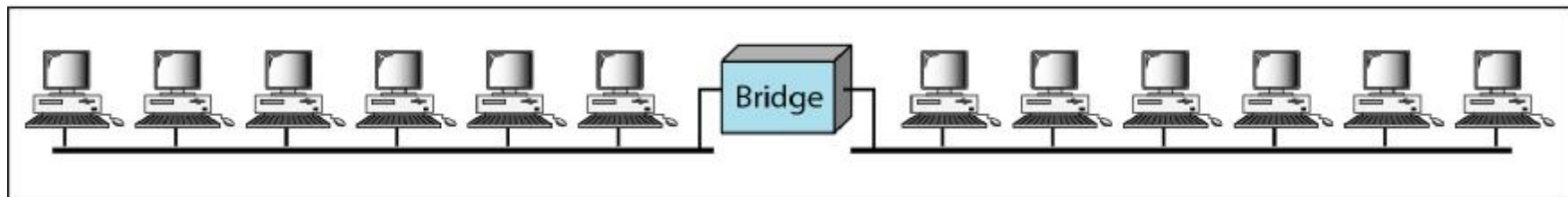
---

**p**网桥将网络分成两个或更多的网络，基于带宽，每个网络都是独立的；

**p**例如一个有12个站点的网络被分成两个网络，每个网络有6个站点，每个网络的能力都是10Mbps；10Mbps的能力在**每个网络中**被6个站点（实际上7个）共享，而并非12个。



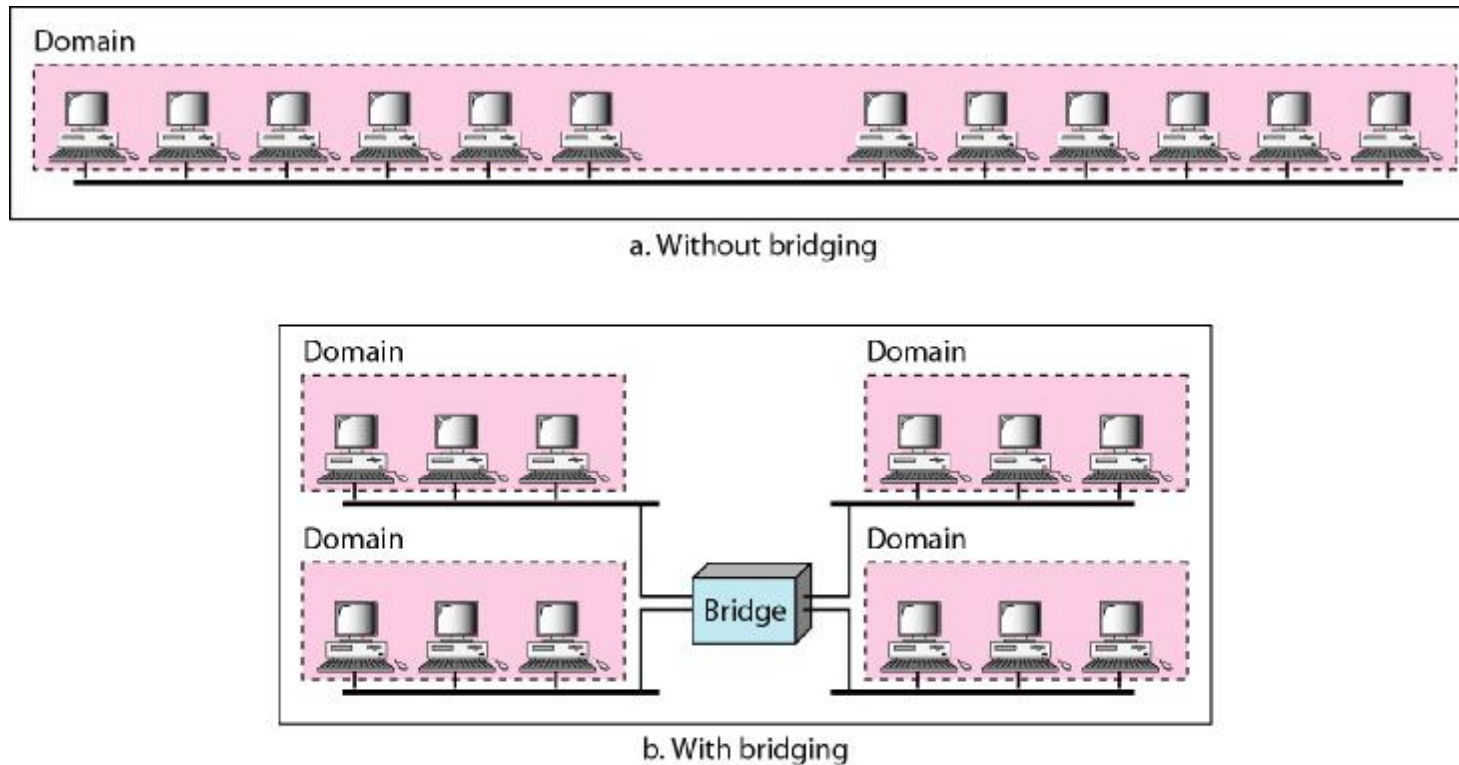
a. Without bridging



b. With bridging

**图13.16** 一个带有网桥和不带有网桥网络的冲突域

**p**另一个优势是分割冲突域，有桥接时冲突域会变得更小且冲突概率大幅度减少；如果没有桥接，则有12个站点竞争访问介质，有了桥接之后，就只有3个站点竞争访问。



---

## 图13.17 交换式以太网

---

- 桥接LAN的概念进一步扩展为交换LAN;
- 将网络分割成N个网络, N是LAN上站点的个数; 带宽仅由站点和交换机共享;
- 冲突域也就分为N个;
- 一个2层交换机 (switch) 就是一个N个端口的网桥, 该网桥带有允许快速处理分组的附加功能;
- 从桥接以太网到交换式以太网是一个大进步。

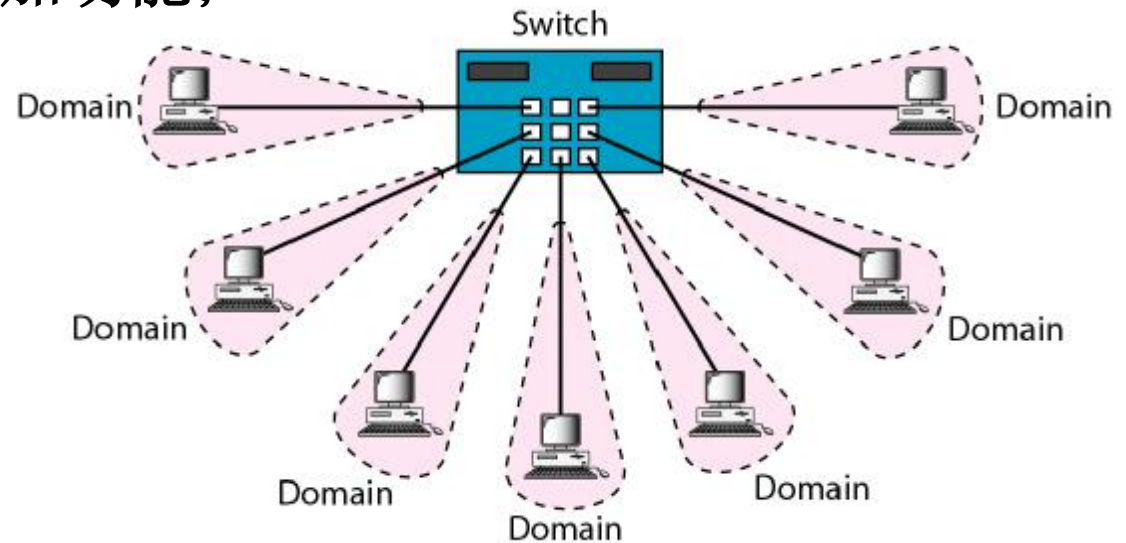
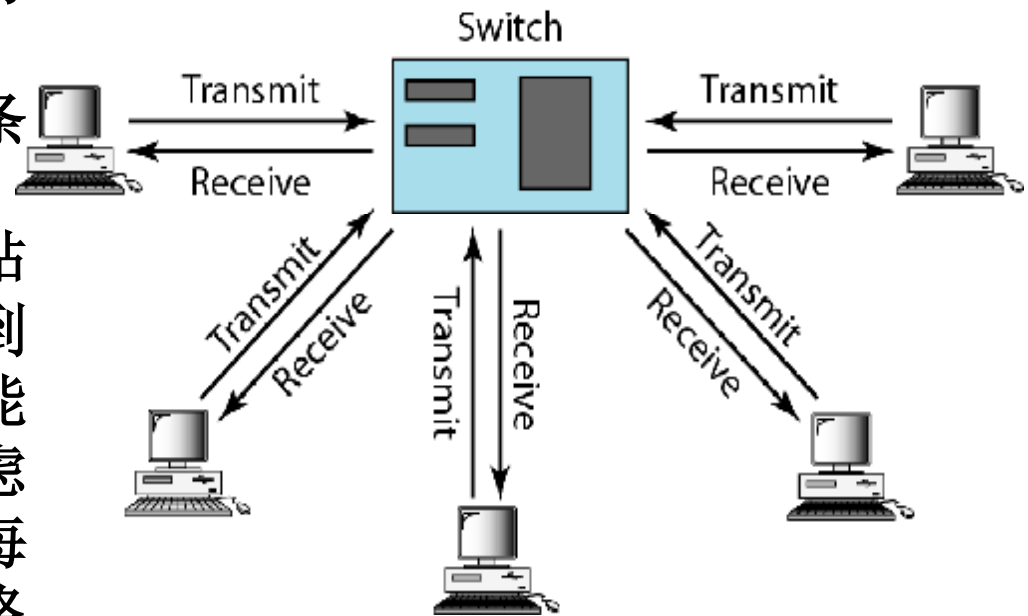


图13.18 全双工交换式以太网

- p 10Base5 和 10Base2 的一个局限就是它们的通信是半双工的；
- p 全双工模式将每一个域的能力从10Mbps增加到20Mbps；
- p 在站点与交换机之间使用两条链路；
- p 不需要CSMA/CD方法，每个站点都通过两条分离的链路连接到交换机，每个站点或交换机都能够独立地发送或接收而不必考虑冲突；在站点和交换机之间的每一条链路都是点到点的专用链路，它们不再需要载波检测，也不再需要冲突检测



---

问题？

---

p 组建局域网可以用集线器，也可以用二层交换机：

Q1：用交换机连接的一组工作站属于同一个冲突域吗？

Q2：用集线器连接的一组工作站属于同一个冲突域吗？

## 13-4 快速以太网

- p 设计快速以太网是为了与诸如FDDI或光纤通道等的局域网协议相竞争;
- p IEEE在名为802.3u下创造了快速以太网;
- p 快速以太网是标准以太网的后向兼容, 但是传输速度是100Mbps, 快了10倍;
- p 快速以太网的目标是:
  - Ø1. 将数据速率升级为100Mbps;
  - Ø2. 使它能与标准以太网兼容;
  - Ø3. 保留48位地址;
  - Ø4. 保留相同的帧格式;
  - Ø5. 保留帧长度的最大值和最小值。

---

## MAC子层

---

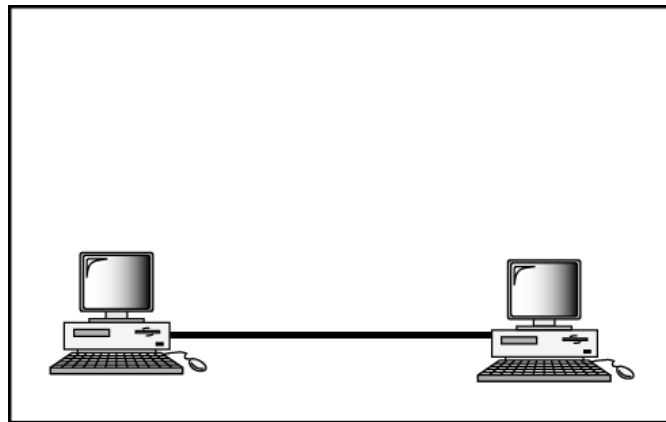
- p 放弃总线拓扑而只保留星型拓扑；
- p 在星型拓扑中，有两种选择：半双工和全双工；半双工中站点通过集线器连接，全双工中通过每个端口都带有缓冲区的交换机来进行连接；
- p 对于半双工说，访问方法是相同的（CSMA/CD）；对于全双工快速以太网而言，CSMA/CD是不必要的，然而，在实现时还是保留了CSMA/CD，以便于和标准以太网向后兼容；
- p 快速以太网增加了一个新特性：自动协商-autonegotiation，允许两个设备协商它们的运行模式（半/全双工）和传输速率（10/100M自适应）



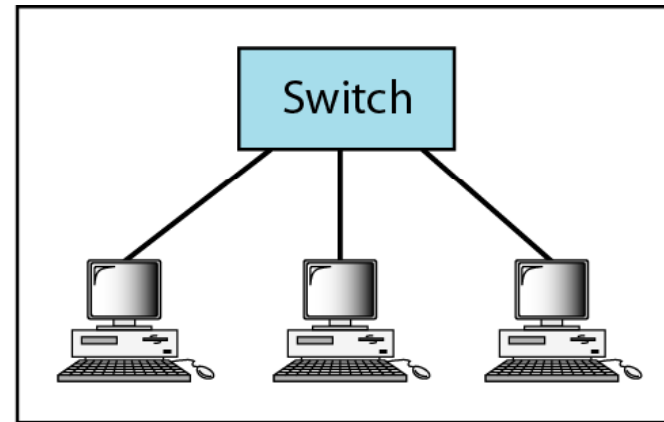
---

## 图13.19 快速以太网物理拓扑

**p**如果只有两个站点，可以点到点；三个或三个以上的站点就需要中间有一个集线器或交换机来连接，呈星型拓扑结构。



a. Point-to-point



b. Star

---

图13.20 快速以太网的物理层实现-两线或四线

---

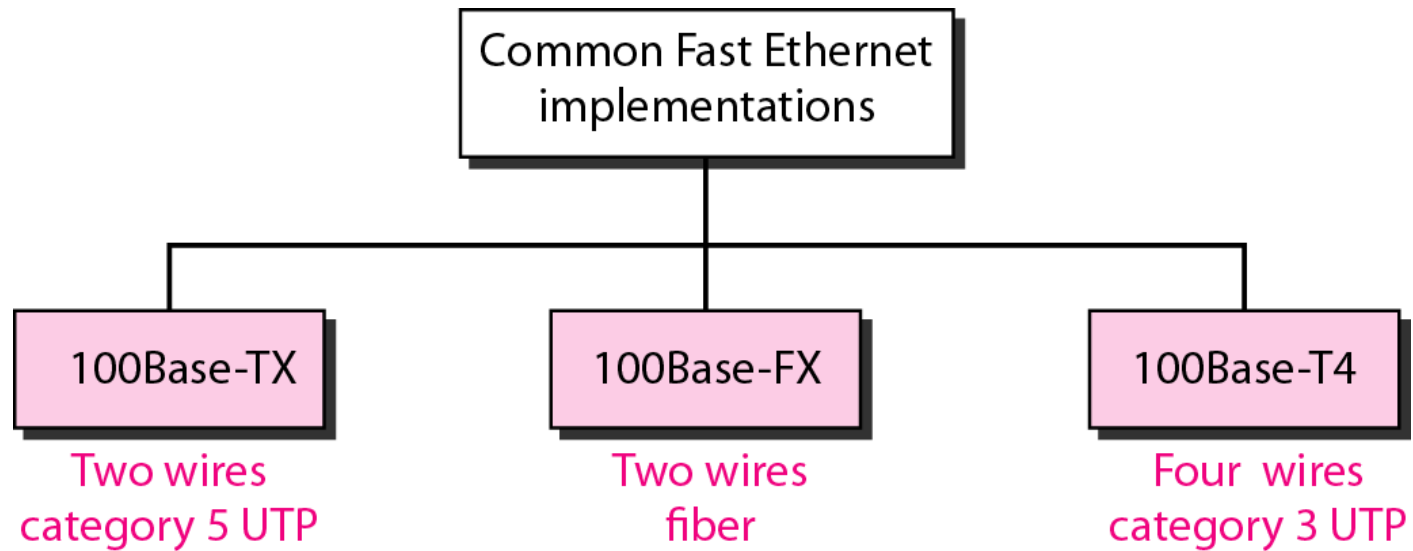
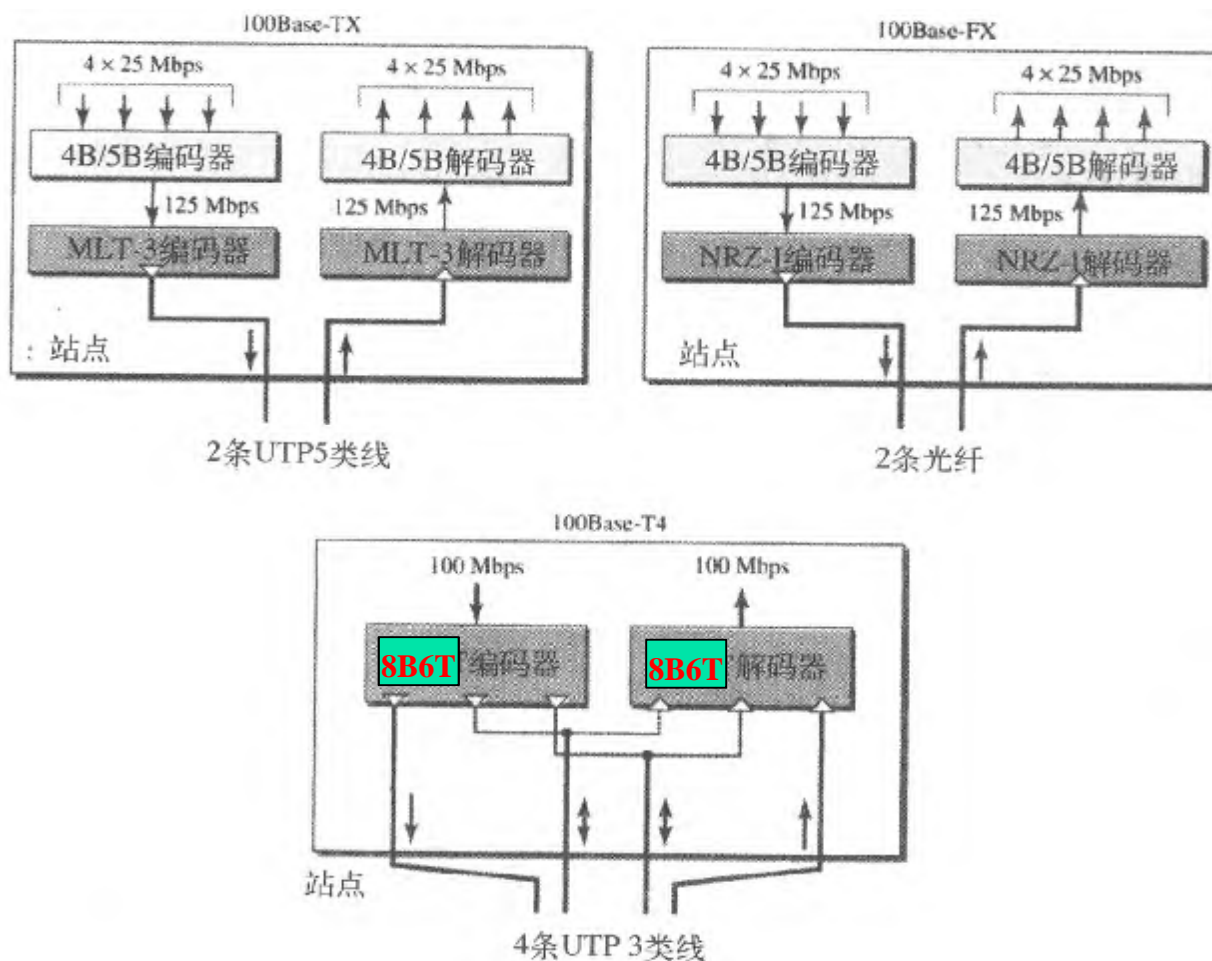


图13.21 快速以太网实现的编码

**p**MLT-3 有同步问题（长0时），4B/5B块编码实现位的同步并阻止了一长串0和1情形；

**p**NRZ-I 对于一长串的0或1有位同步问题，4B/5B解决；

**p**100Base-T4 用4条（或对）双绞线，发送和接收都用三对，故两对是双向传输



**表13.2** 快速以太网实现的总结

<i>Characteristics</i>	<i>100Base-TX</i>	<i>100Base-FX</i>	<i>100Base-T4</i>
Media	Cat 5 UTP or STP	Fiber	Cat 4 UTP
Number of wires	2	2	4
Maximum length	100 m	100 m	100 m
Block encoding	4B/5B	4B/5B	
Line encoding	MLT-3	NRZ-I	8B6T

## 13-5 千兆以太网

对传输速度更高的需求使得千兆以太网（1000 Mbps）应运而生，IEEE 802.3z；

设计目标：

- Ø1. 将数据速率升级到1 千兆。
- Ø2. 使其与标准以太网或快速以太网相兼容。
- Ø3. 使用相同的48 位地址。
- Ø4. 使用相同的帧格式。
- Ø5. 保留帧长度的最大值和最小值。
- Ø6. 支持快速以太网中定义的自动协商。

---

## MAC子层

---

**p** 千兆以太网在介质访问方面有两个独特的方法：半双工或全双工方法；

**p** 几乎所有的千兆以太网的实现都采用了全双工方法

---

## 全双工模式

---

- p 全双工模式中，有一个中心交换机将所有的电脑或其他交换机连接起来；
- p 每个交换机的每个进入端口都有缓存区，使数据在传输前得以存储，不存在冲突，CSMA/CD是不必要的；
- p 缺少冲突意味着电缆长度的最大值取决于电缆中信号的衰减程度，而不是冲突检测过程。

---

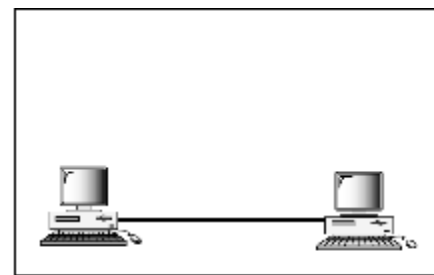
## 半双工模式

---

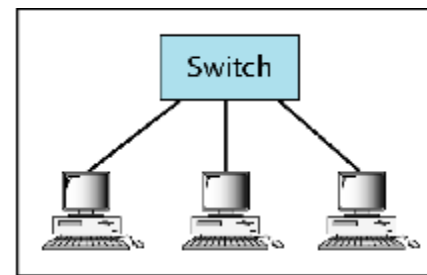
- p 千兆以太网也使用半双工模式，但很少用到；
- p 交换机被集线器替代，集线器作为普通电缆的一部分便可能有冲突产生；
- p 半双工方法使用CSMA/CD，网络的最大长度完全取决于帧大小的最小值，定义了三种方法：
  - Ø 传统方法：保留与传统以太网相同的帧长度的最小值（512位）；
  - Ø 载波扩展方法：帧长度的最小值是512字节（4096位）；
  - Ø 帧突发方法：为了提高效率，发送成倍的帧而不是给每个帧增加扩展；为了使成倍的帧看上去像一个帧，在帧间加以填充



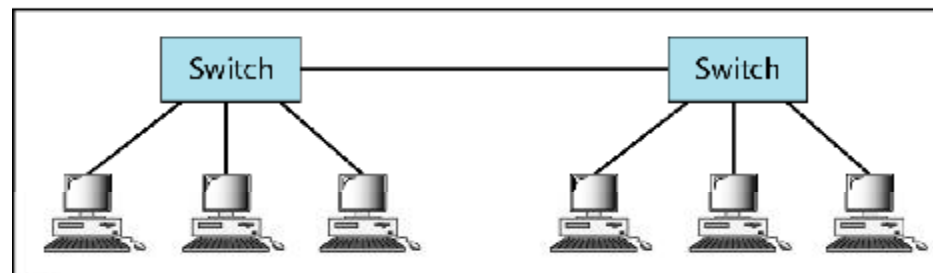
图13.22 千兆以太网的拓扑结构



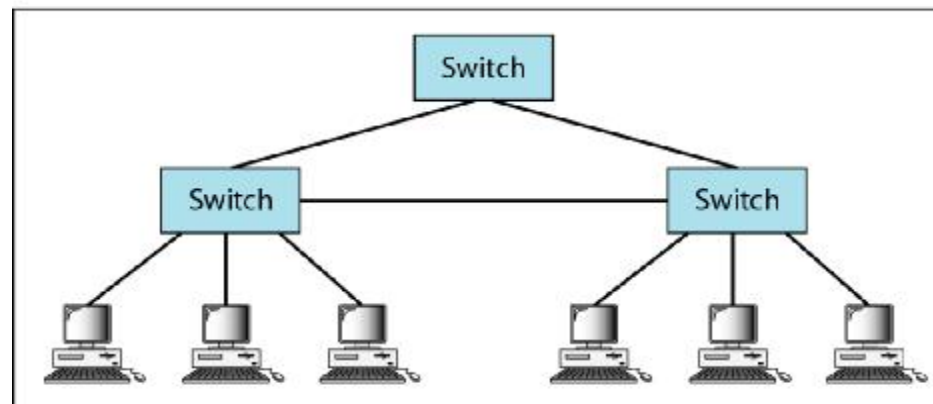
a. Point-to-point



b. Star



c. Two stars



d. Hierarchy of stars

---

图13.23 千兆以太网的实现-两线或四线

---

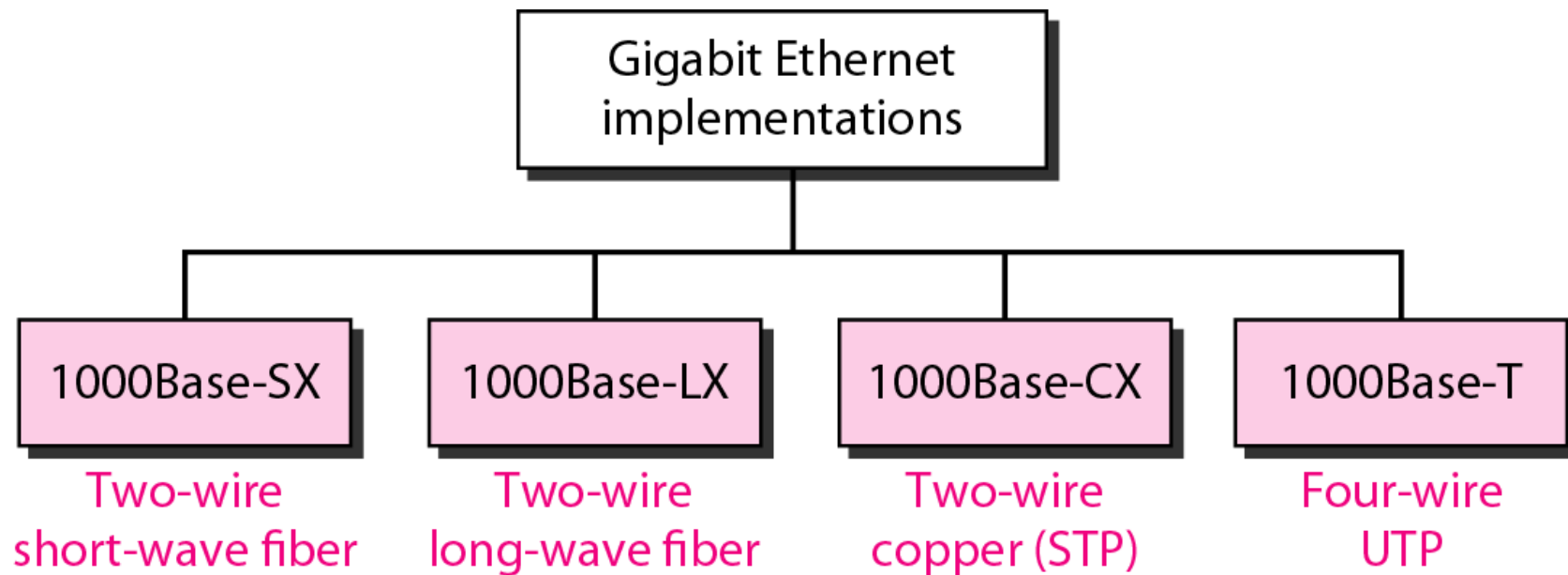


图13.24 千兆以太网实现中的编码

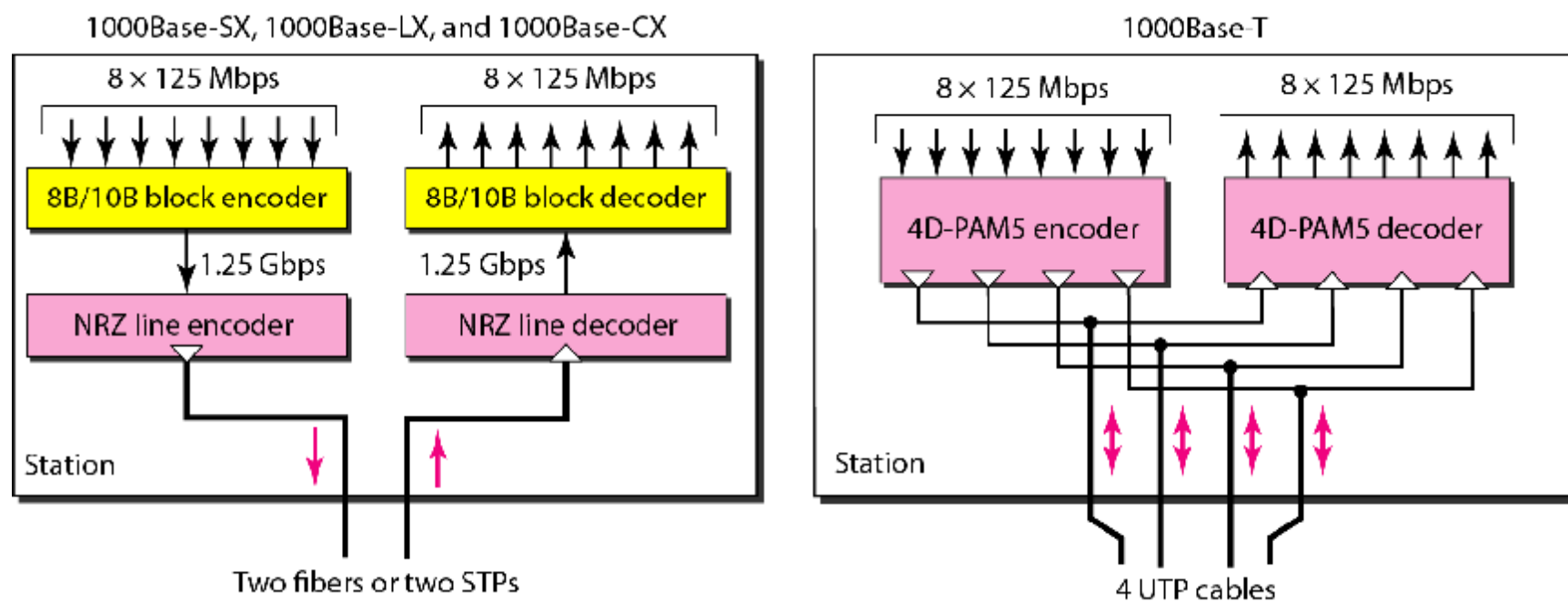


表13.3 千兆以太网实现的总结

<i>Characteristics</i>	<i>1000Base-SX</i>	<i>1000Base-LX</i>	<i>1000Base-CX</i>	<i>1000Base-T</i>
Media	Fiber short-wave	Fiber long-wave	STP	Cat 5 UTP
Number of wires	2	2	2	4
Maximum length	550 m	5000 m	25 m	100 m
Block encoding	8B/10B	8B/10B	8B/10B	
Line encoding	NRZ	NRZ	NRZ	4D-PAM5

---

## 10千兆以太网

---

**pIEEE 802.3ae;**

**p**只在全双工模式下运行，不存在竞争，也不使用CSMA/CD;

**p**10千兆以太网物理层的设计目标是在长距离内使用光纤，最常见的三种实现是：**10GBase-S**，**10GBase-L**，**10GBase-E**

<i>Characteristics</i>	<i>10GBase-S</i>	<i>10GBase-L</i>	<i>10GBase-E</i>
Media	Short-wave 850-nm multimode	Long-wave 1310-nm single mode	Extended 1550-nm single mode
Maximum length	300 m	10 km	40 km