



## 第13章

# 有线局域网:以太网



以太网是一种传输速率为10Mbps的常用局域网 (LAN) 标准。所有计算机被连接一条同轴电缆上, 采用具有冲突检测的载波监听多点访问技术 (CSMA/CD) 的方法, 采用竞争机制和总线拓扑结构。以太网具有的一般特征概述如下:

- 共享媒体: 所有网络设备依次使用同一通信媒体。
- 广播域: 需要传输的帧被发送到所有节点, 但只有寻址到的节点才会接收到帧。
- CSMA/CD: 以太网中利用载波监听多路访问/冲突检测方法来防止更多节点同时发送数据。
- MAC地址: 媒体访问控制层的所有 Ethernet 网络接口卡 (NIC) 都采用48位网络地址。

## 13-1 IEEE标准

1985年，计算机团体IEEE（电器与电子工程师学会）开始了一个项目，称为项目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。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。

### 本节重点讨论的话题：

数据链路层  
物理层



图13.1 局域网的IEEE标准

LLC: Logical link control

MAC: Media access control

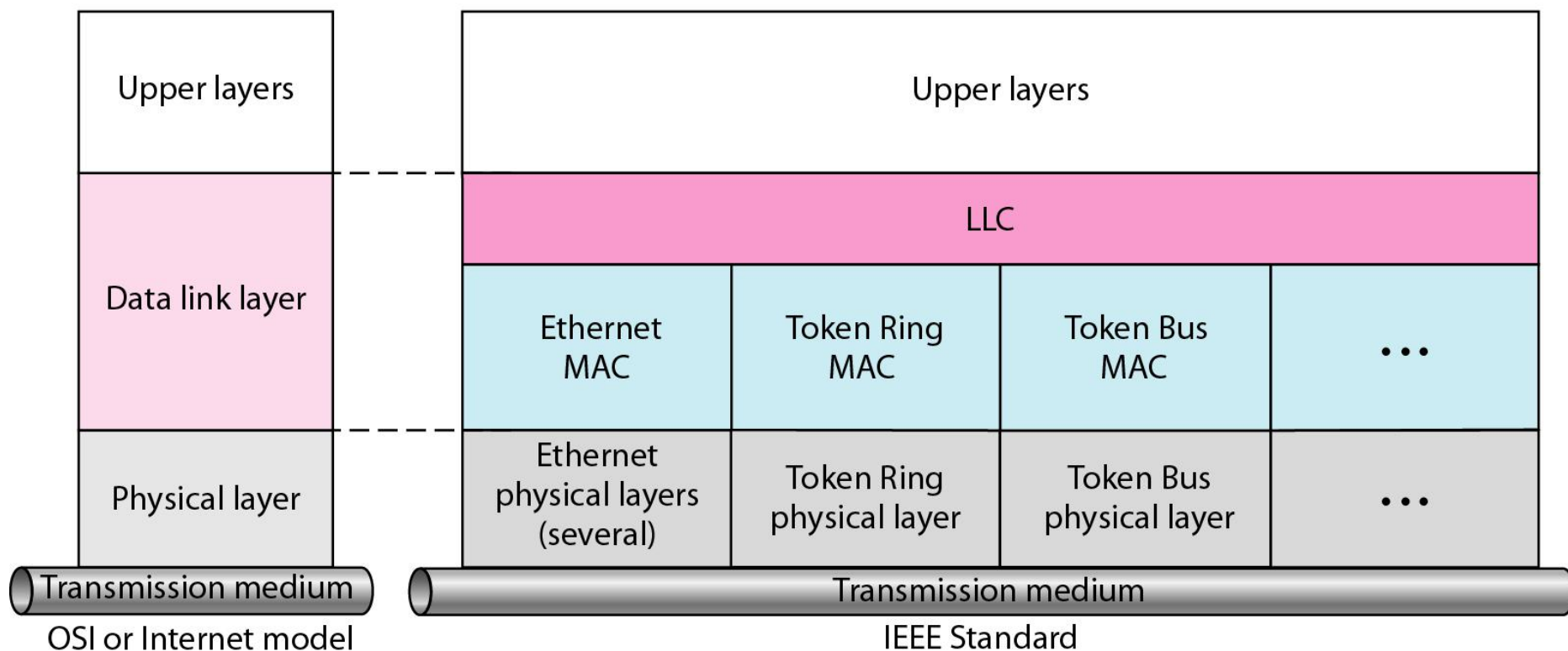
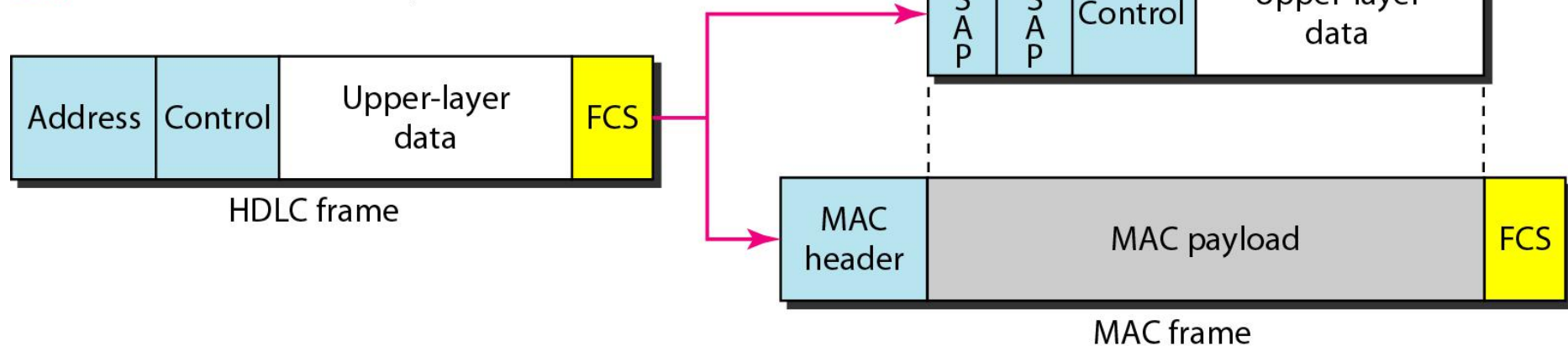




图13.2 HDLC帧与LLC和MAC帧的比较

DSAP: Destination service access point

SSAP: Source service access point



## 13-2 标准以太网

最初的以太网是由施乐公司的Palo Alto研究中心（PARC）创建的。自此之后，它经历了四代的发展。我们将简单介绍标准（或传统）以太网。

本节重点讨论的话题：

MAC子层  
物理层



图13.3 以太网的四代发展

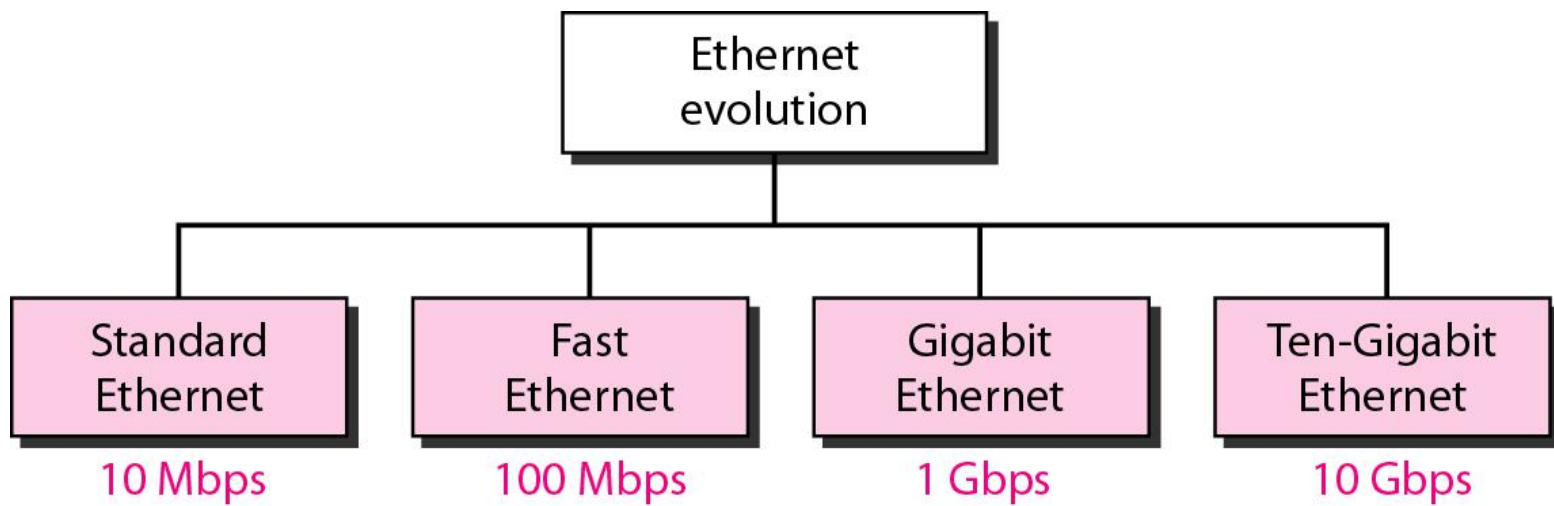
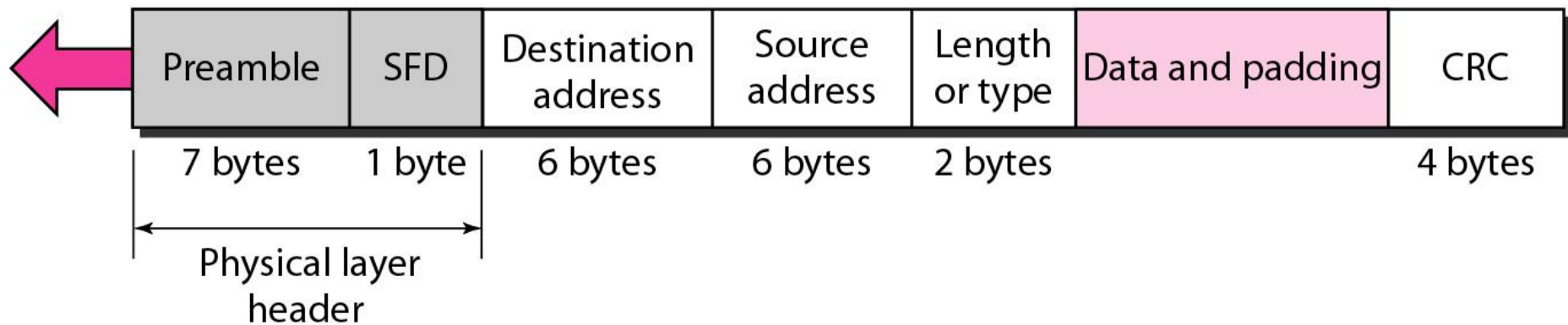




图13.4 802.3的MAC帧

**Preamble:** 56 bits of alternating 1s and 0s.

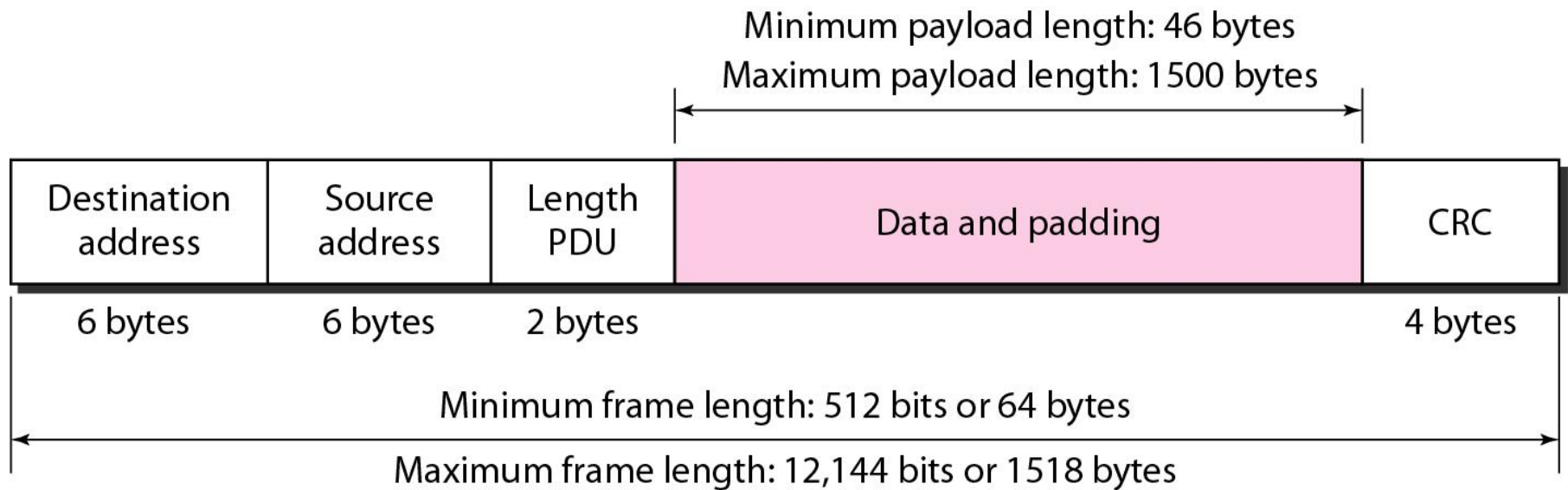
**SFD:** Start frame delimiter, flag (10101011)







**Figure 13.5** 帧的最小长度和最大长度



**最小帧长: 64 bytes (512 bits)**  
**最大帧长: 1518 bytes (12,144 bits)**



# 地址

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

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

图13.6 用十六进制表示法表示以太网地址

第一个字节的最低位决定了地址的类型。如果该位是0，地址是单播地址，否则便是多播地址。广播地址是多播地址的一个特例，它的所有位都是1。

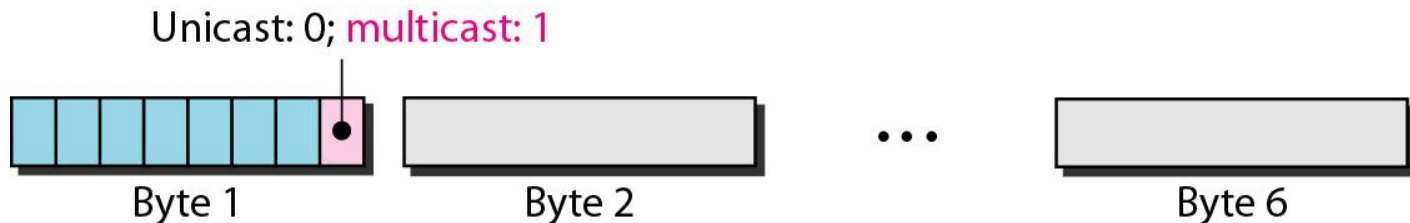


图13.7 单播地址和多播地址

## 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, 我们得到以下答案:

*a.* 单播地址,  $(A)_{16} = (1010)_2$

*b.* 多播地址,  $(7)_{16} = (0111)_2$

*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



第 1 字节

第 6 字节

十六进制表示的 EUI-48 地址：

AC-DE-48-00-00-80

二进制表示的 EUI-48 地址：

机构唯一标志符 OUI

扩展标志符

字节顺序  
高位在前

802.5  
802.6

第 1

第 2

第 3

第 4

第 5

第 6

10101100

11011110

01001000

00000000

00000000

10000000

最高位  
最先发送

最低位

I/G 比特

最高位  
最后发送

最低位

字节顺序  
低位在前

802.3  
802.4

第 1

第 2

第 3

第 4

第 5

第 6

00110101

01111011

00010010

00000000

00000000

00000001

最低位  
最先发送

最高位

I/G 比特

最低位  
最后发送

最高位

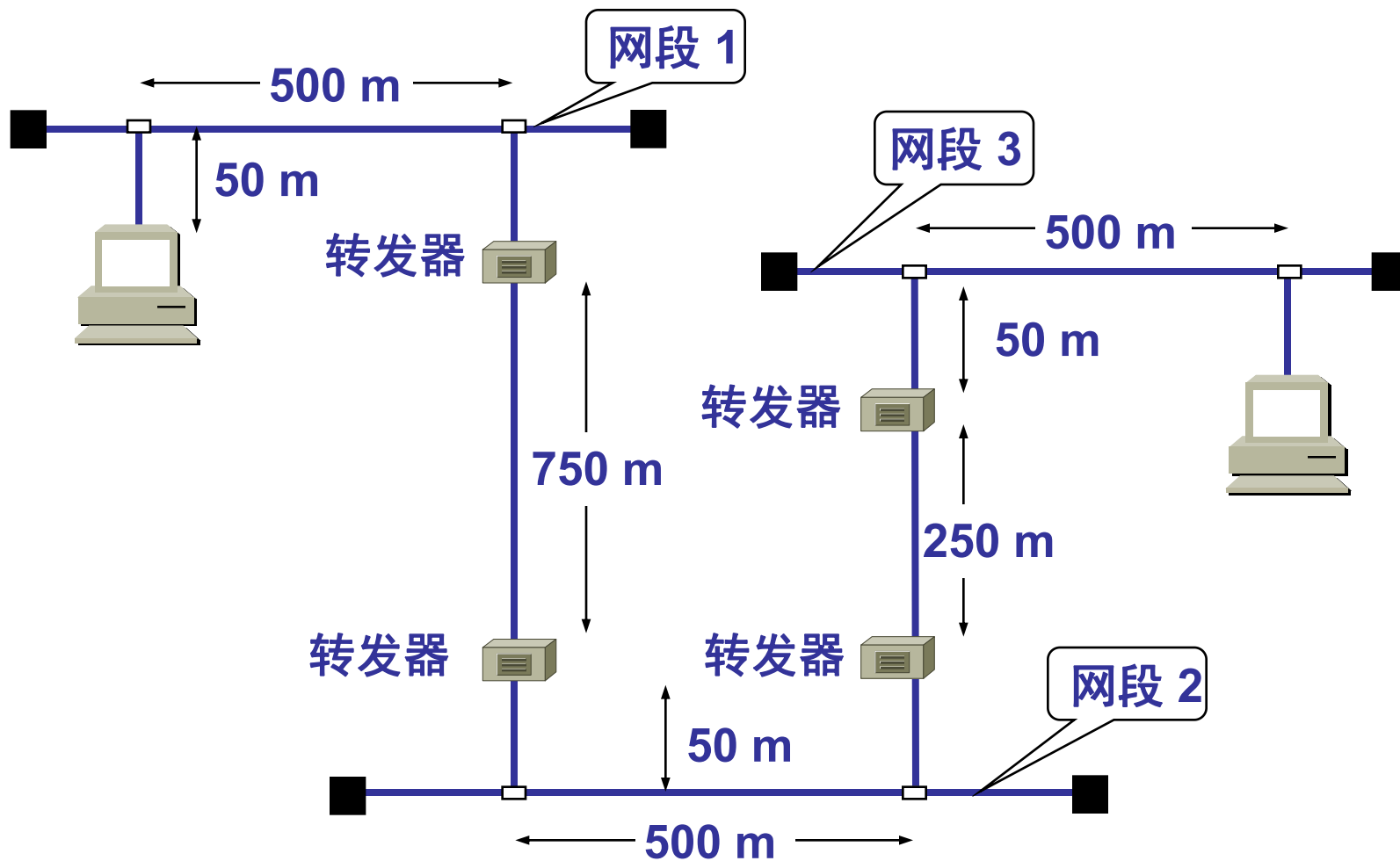


# 时隙和冲突

- 时隙 = 往返时间+发送干扰序列所需要的时间
- 对于10Mbps的网络是51.2 $\mu$ s, 原因与最短帧长有关
- 时隙与最大网络长度有关
  - 最大网络长度 = 传播速度 $\times$ (时隙/2),
  - 最大网络长度 =  $2 \times 10^8 \times (51.2 \times 10^{-6}/2)$   
 $= 5120 \text{ m}$
- 考虑到中继器和接口的延迟, 以及发送干扰序列所需的时间, 减少到2500m。



# 以太网的最大作用距离





# 两种不同的 MAC 帧格式

- 常用的以太网MAC帧格式有两种标准
  - DIX Ethernet V2 标准
  - IEEE 的 802.3 标准
- 最常用的 MAC 帧是以太网 V2 的格式



这种 802.3 + 802.2 帧已经较少使用

IP 数据报

IP 层

当长度/类型字段表示长度时

字节 1 1 1  
802.2 LLC 帧



LLC 子层

802.3 MAC 帧

字节

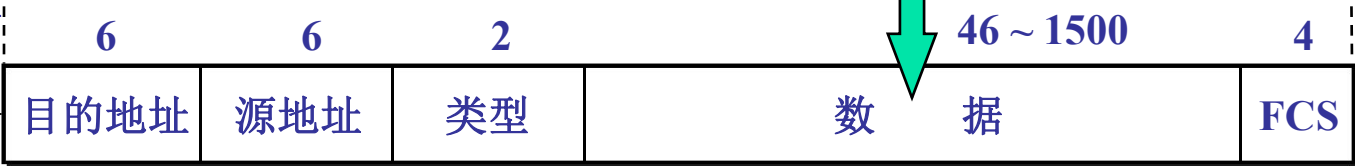


MAC 子层

IP 数据报

IP 层

字节



MAC 层

以太网 V2 MAC 帧

插入

8 字节



物理层

7 字节

1 字节



前同步码

帧开始定界符



## 无效的 MAC 帧

- 数据字段的长度与长度字段的值不一致;
- 帧的长度不是整数个字节;
- 用收到的帧检验序列 FCS 查出有差错;
- 数据字段的长度不在 46 ~ 1500 字节之间;
- MAC 帧长度不在 64 ~ 1518 字节之间;
- 对于检查出的无效 MAC 帧就简单地丢弃, 以太网不负责重传丢弃的帧。



图13.8 标准以太网的分类

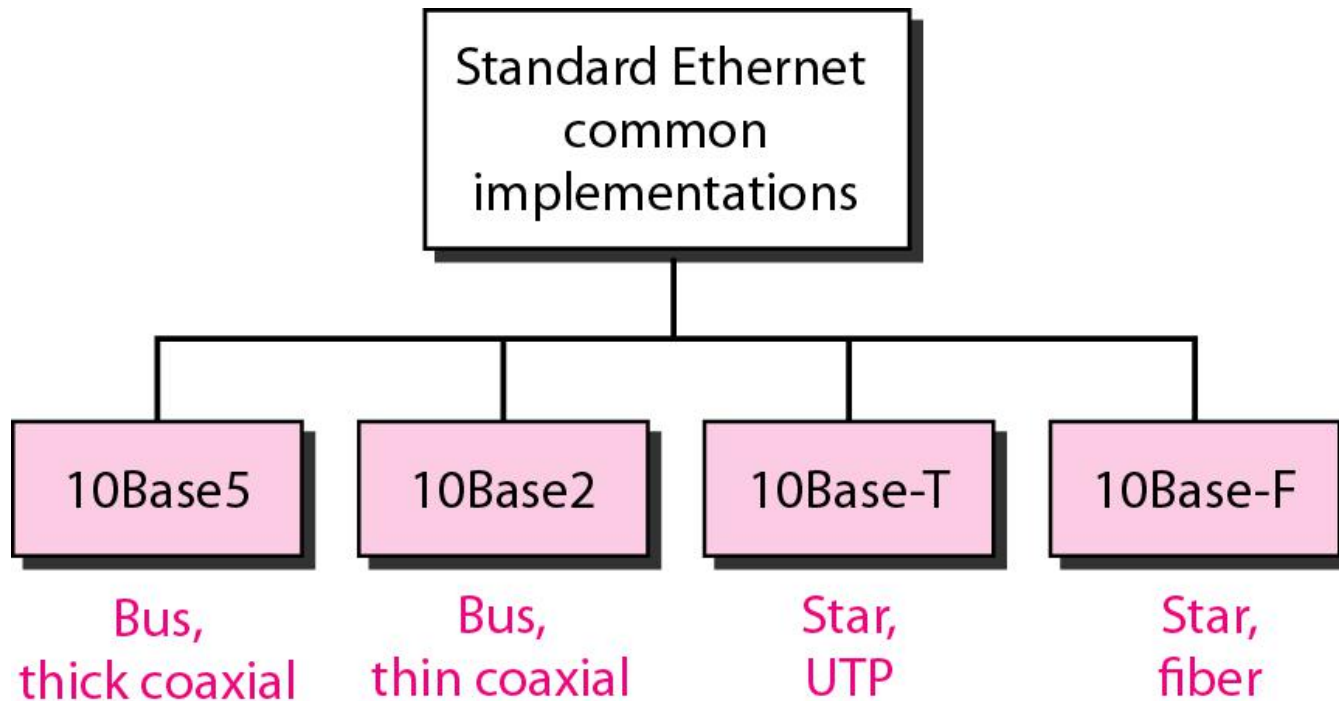




图13.9 标准以太网实现中的编码

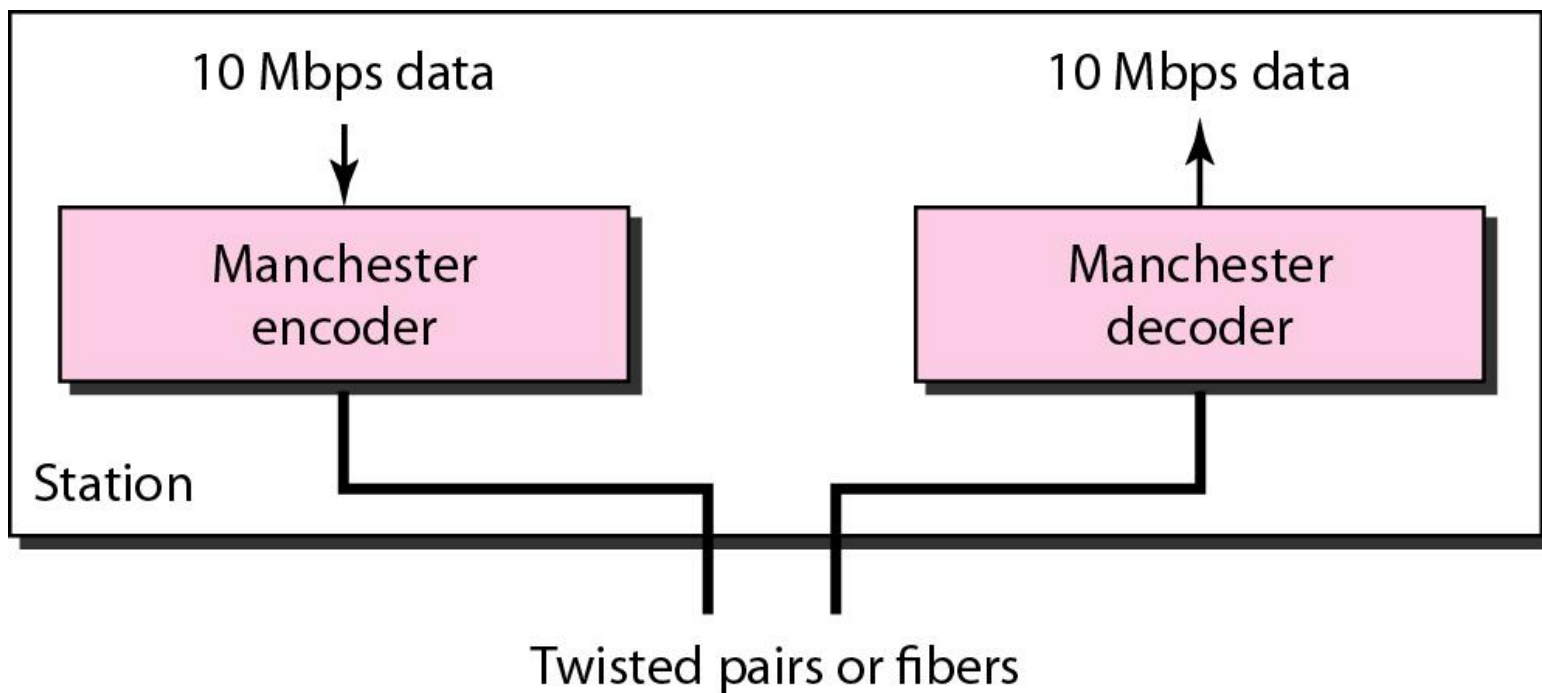




图13.10 10Base5: 粗缆以太网

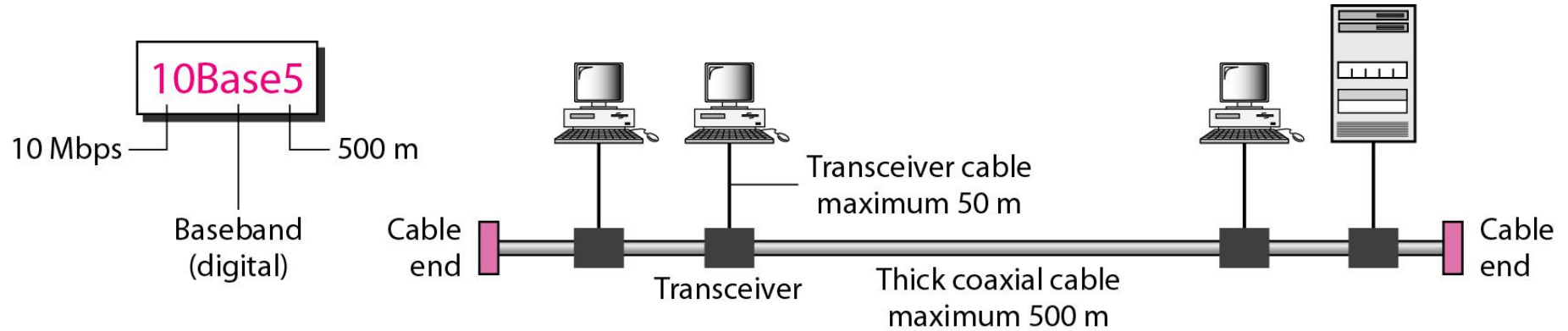




图13.11 10Base2：细缆以太网

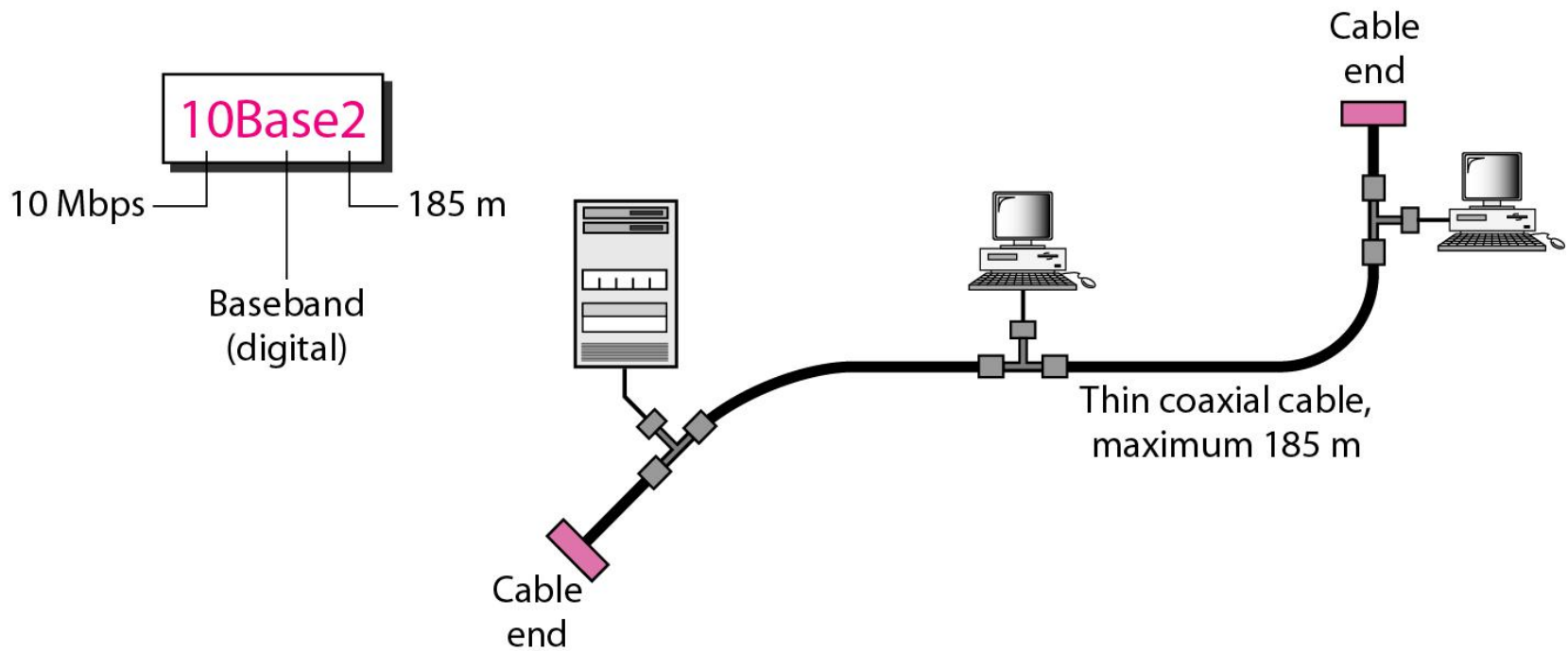




图13.12 10Base-T：双绞线以太网

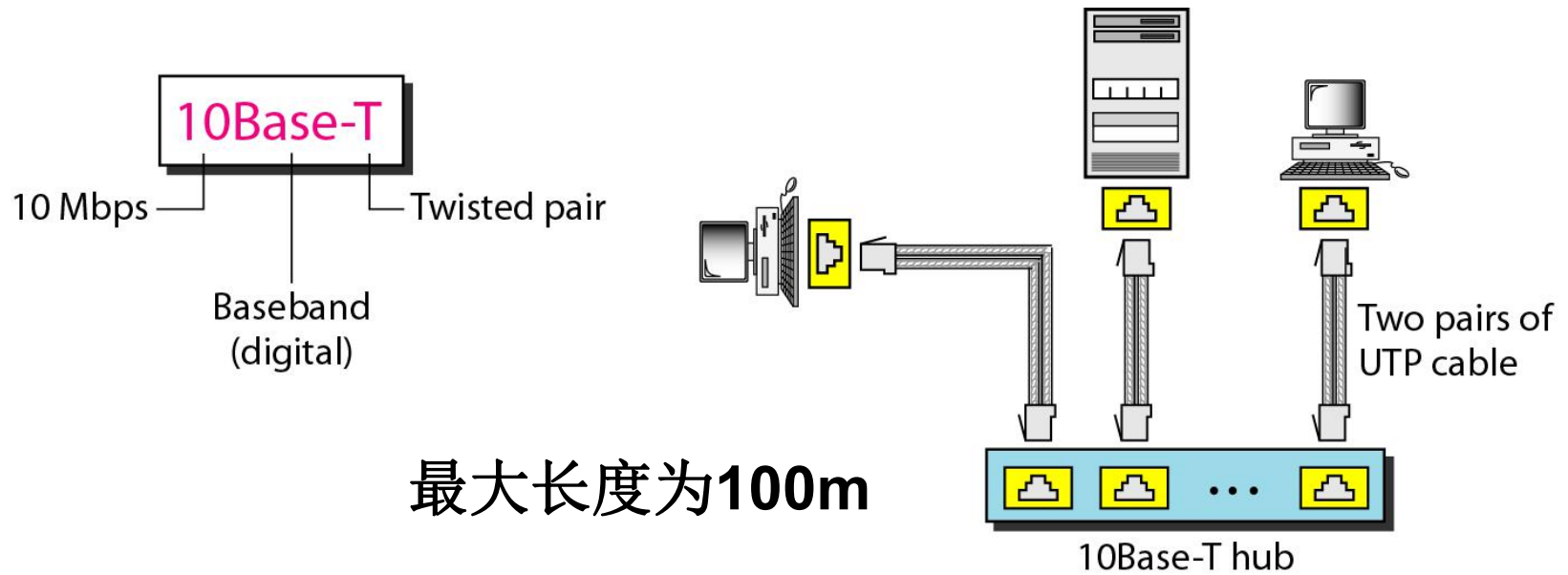
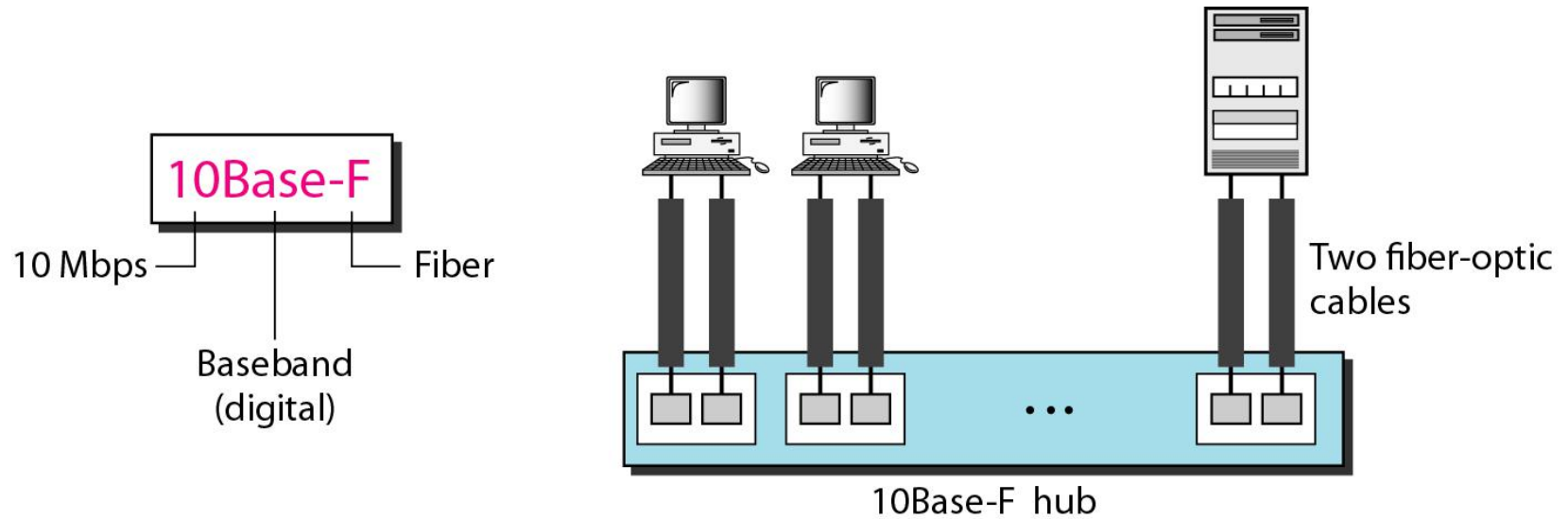




图13.13 10Base-F: 光纤以太网



最大长度为**2000m**





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

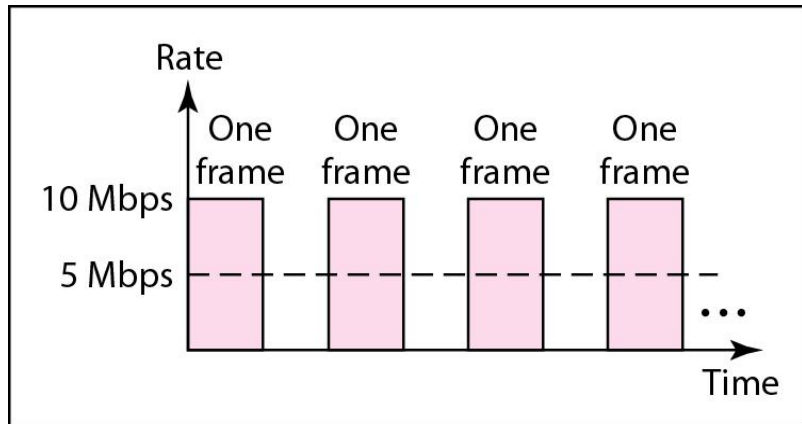
10Mbps标准以太网在运行更高的传输速率之前已经经历了一些变化。这些变化事实上为以太网的发展开辟了一条新路，使得与其它高传输速率的局域网相比，以太网变得更有竞争力。

### 本节重点讨论的话题：

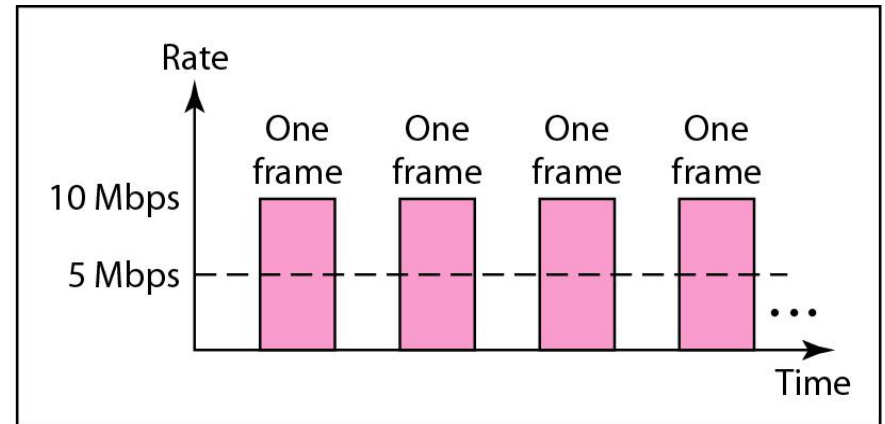
桥接以太网  
交换式以太网  
全双工以太网



# 桥接以太网



a. First station

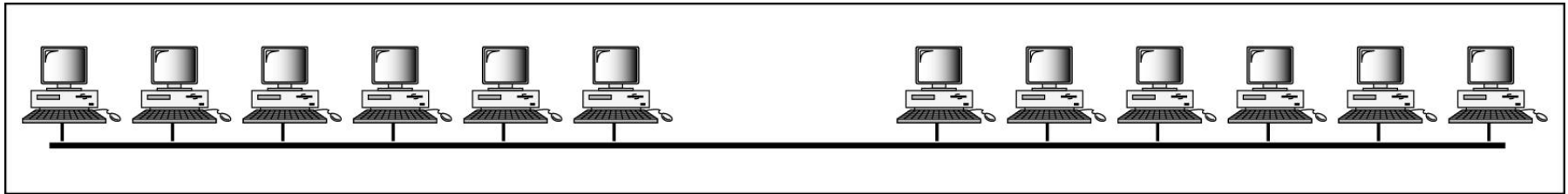


b. Second station

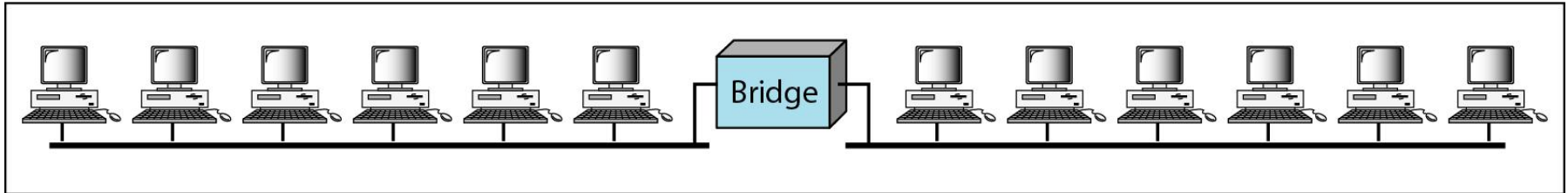
图13.14 带宽共享



图13.15 一个带有网桥的网络和不带网桥的网络



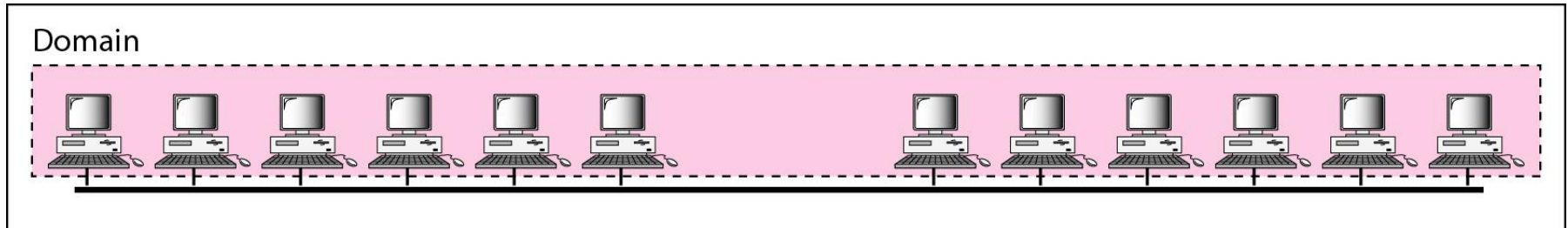
a. Without bridging



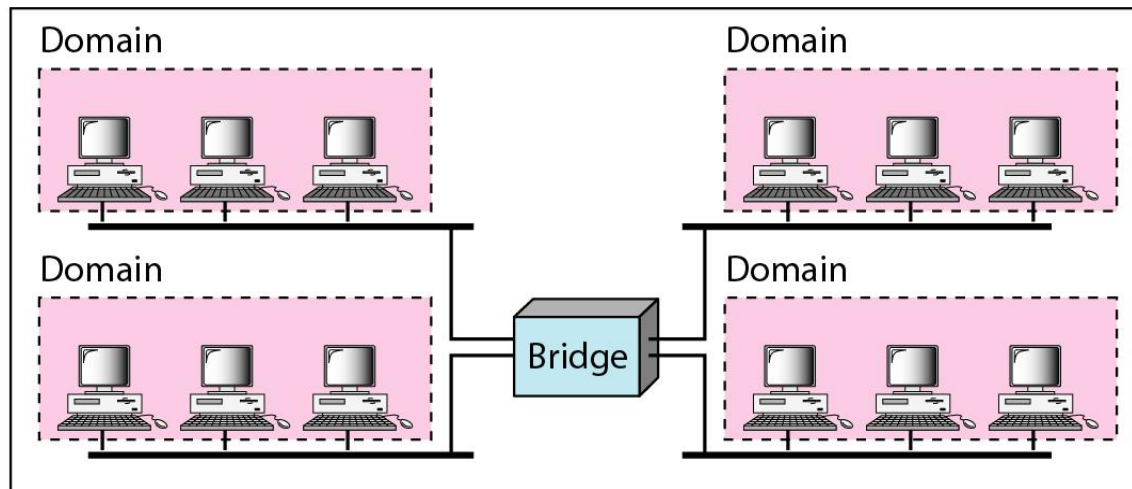
b. With bridging



图13.16 一个带有网桥和不带有网桥网络的冲突域



a. Without bridging



b. With bridging



## 交换式以太网

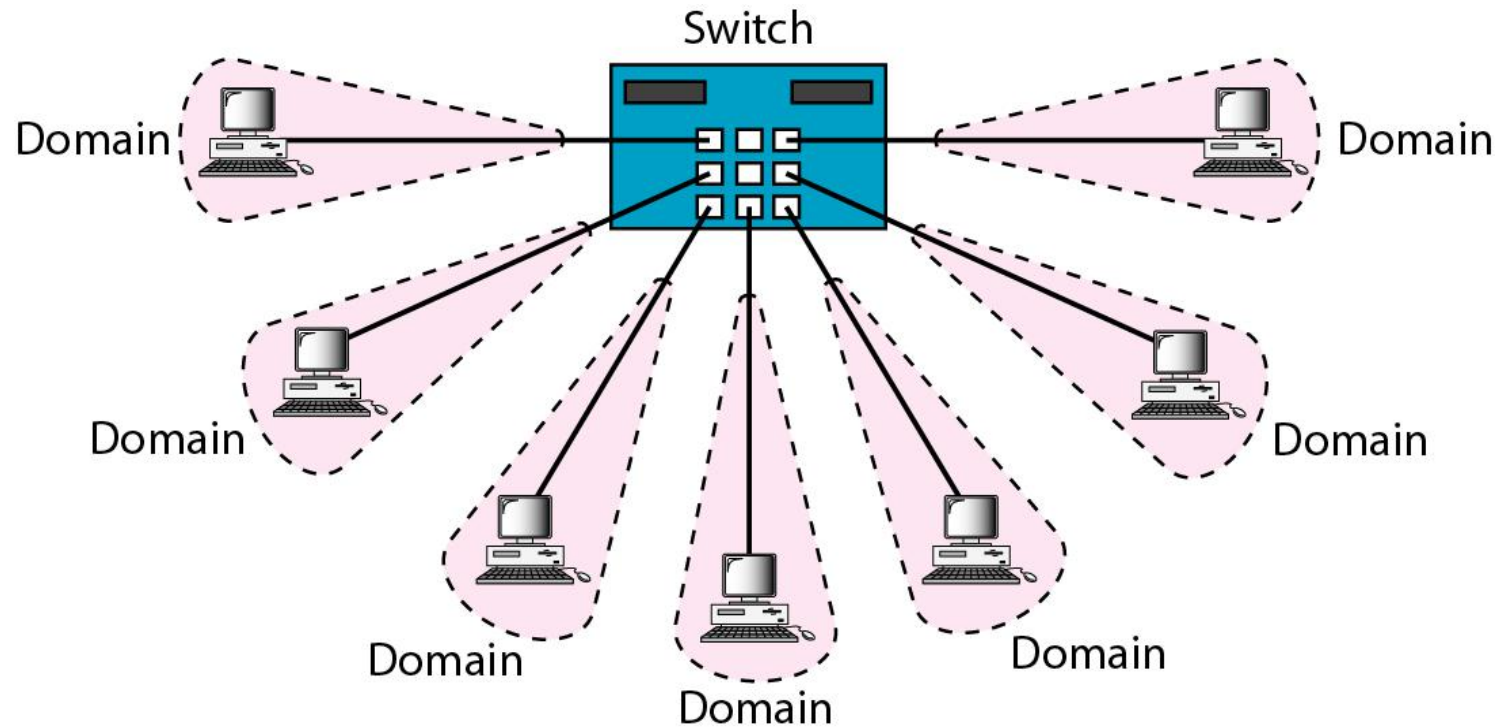
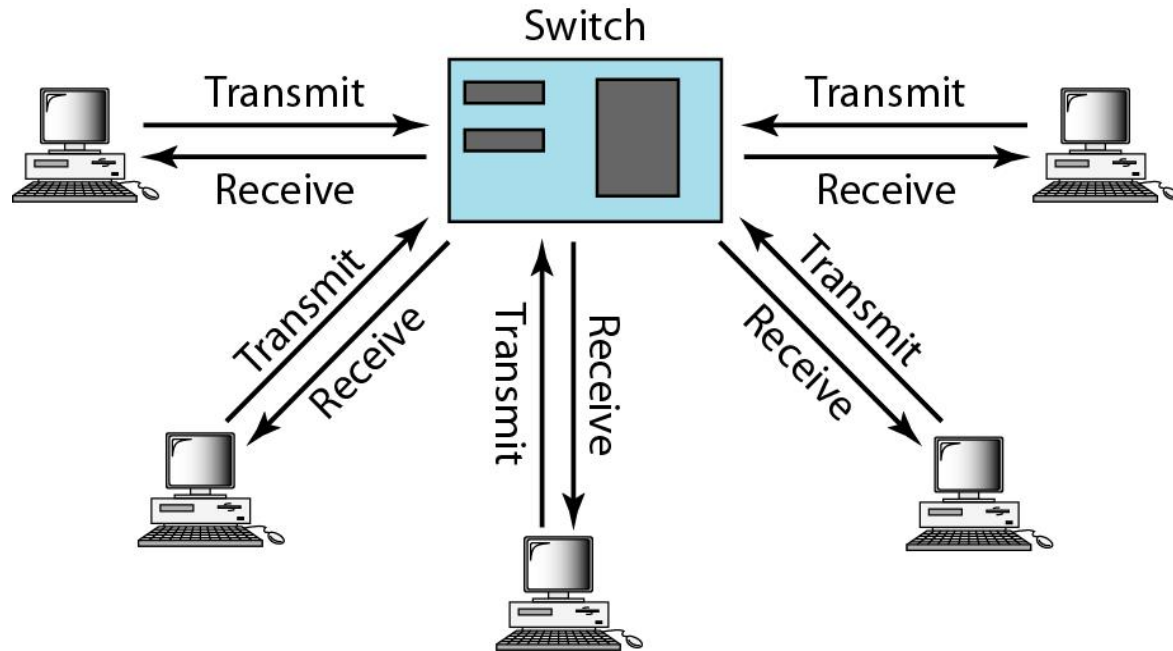


图13.17 交换式以太网

## 全双工交换式以太网



1. 10base5和10base2是半双工，10baseT始终是全双工。
2. 全双工模式是将每一个域的能力从10M提高到20M。
3. 不需要CSMA/CD，站点和交换机之间是专用链路，不再需要载波检测，不需要冲突检测。

## 13-4 快速以太网

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。IEEE在名为802.3u下创造了快速以太网。快速以太网是标准以太网的后向兼容，但是其传输速度是100Mbps，快了10倍。

本节重点讨论的话题：

MAC子层  
物理层



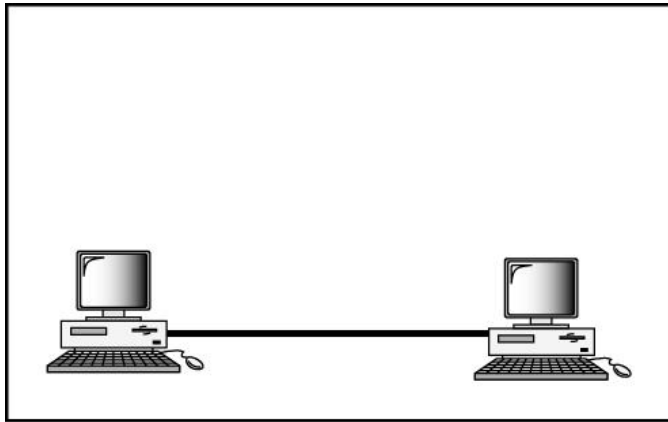


- 数据速率升级为100Mbps;
- 与标准以太网兼容;
- 保留48位地址;
- 保留相同的帧格式;
- 保留最大和最小帧长度。

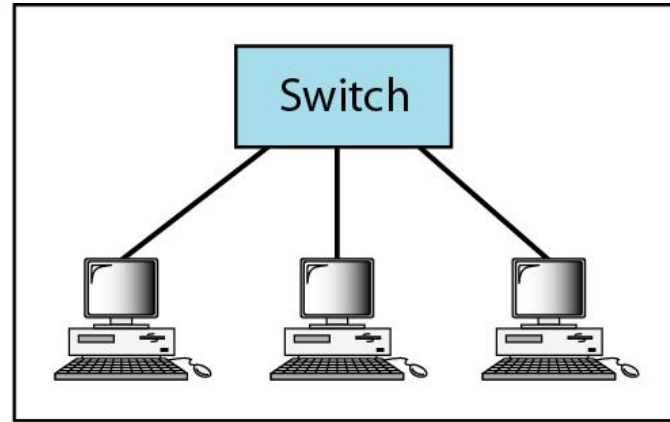


- 放弃总线型拓扑
- 保留星型拓扑
  - 半双工：集线器、CSMA/CD
  - 全双工：交换机
- 自动协商：运行模式和传输速率
  - 解决不兼容问题
  - 功能扩展
  - 检测集线器

图13.19 快速以太网拓扑



a. Point-to-point



b. Star



图13.20 快速以太网的实现

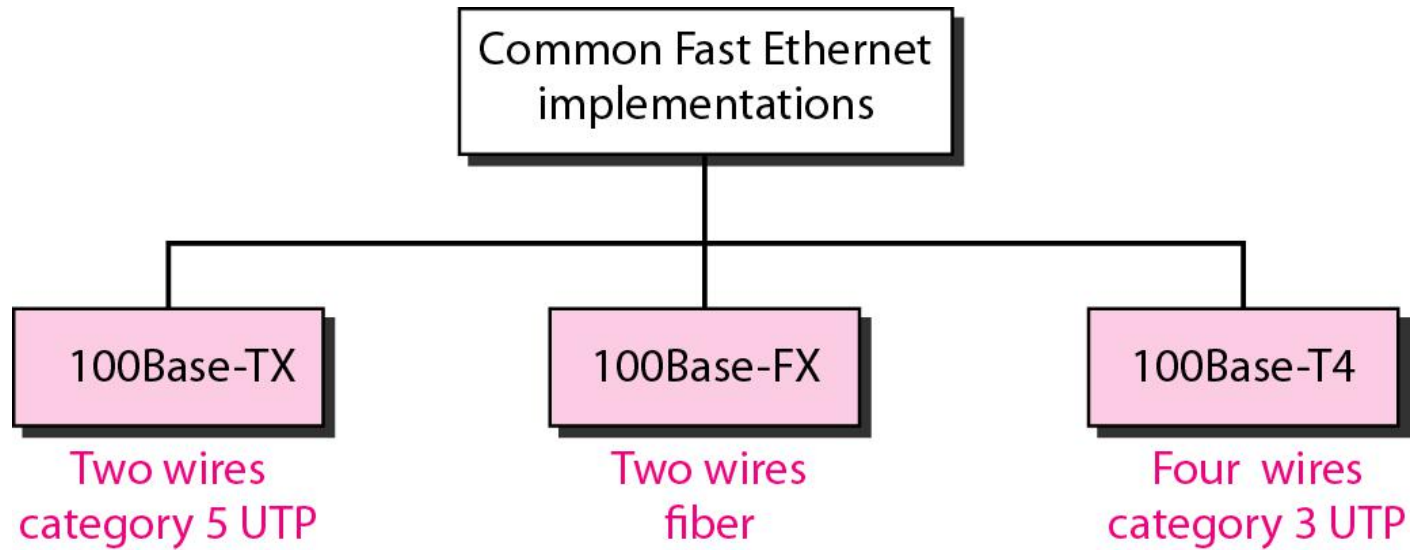




图13.21 快速以太网实现的编码

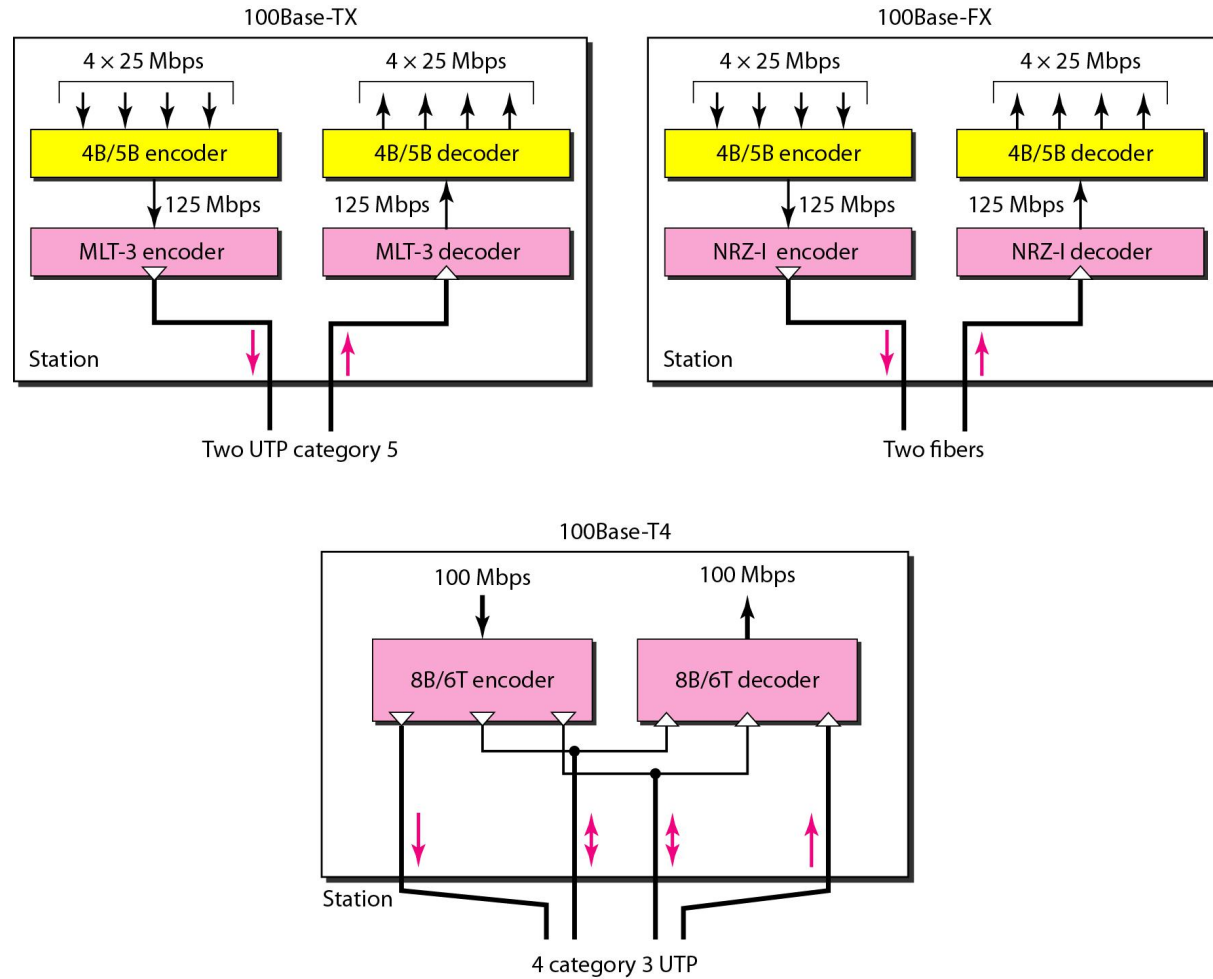




表13.2 快速以太网实现的总结

<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	8B/6T

## 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委员会称之为标准 802.3z.

本节重点讨论的话题：

MAC子层

物理层

10千兆以太网



- 数据速率升级为1000Mbps;
- 与标准以太网和快速以太网兼容;
- 保留48位地址;
- 保留相同的帧格式;
- 保留最大和最小帧长度;
- 支持自动协商。



## ■全双工：交换机

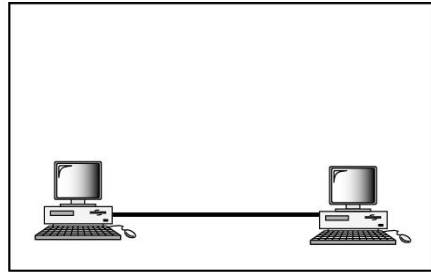
- 无需CSMA/CD
- 网络的最大长度取决于信号的衰减程度

## ■半双工：集线器

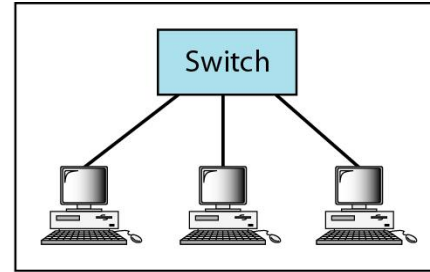
- 网络的最大长度取决于最小帧长
- 传统方法：最小帧长512bit
- 载波扩展方法：最小帧长512byte
- 帧突发方法：短帧



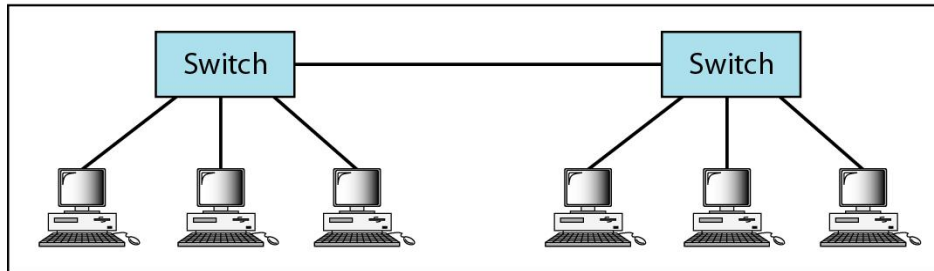
图13.22 千兆以太网的拓扑结构



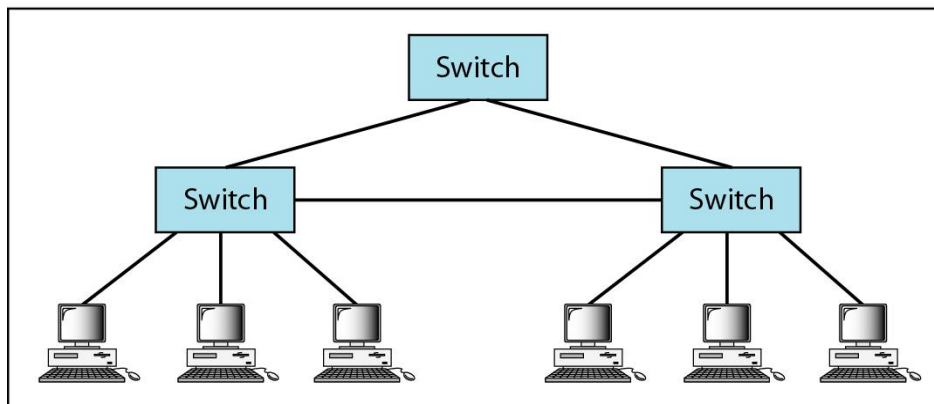
a. Point-to-point



b. Star



c. Two stars



d. Hierarchy of stars



图13.23 千兆以太网实现

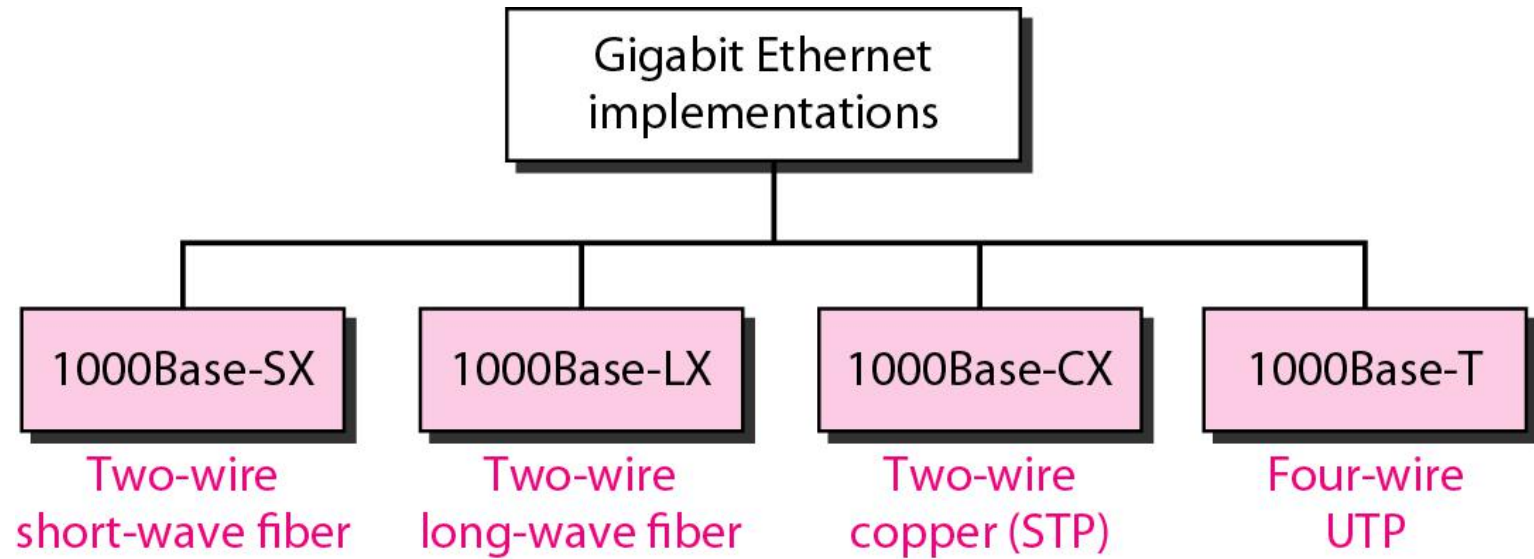




图13.24 千兆以太网实现中的编码

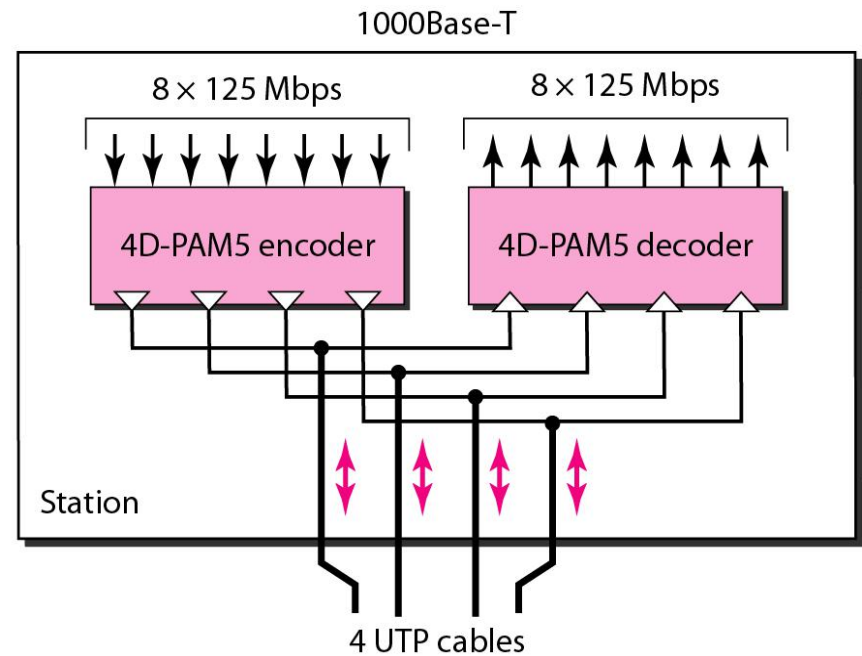
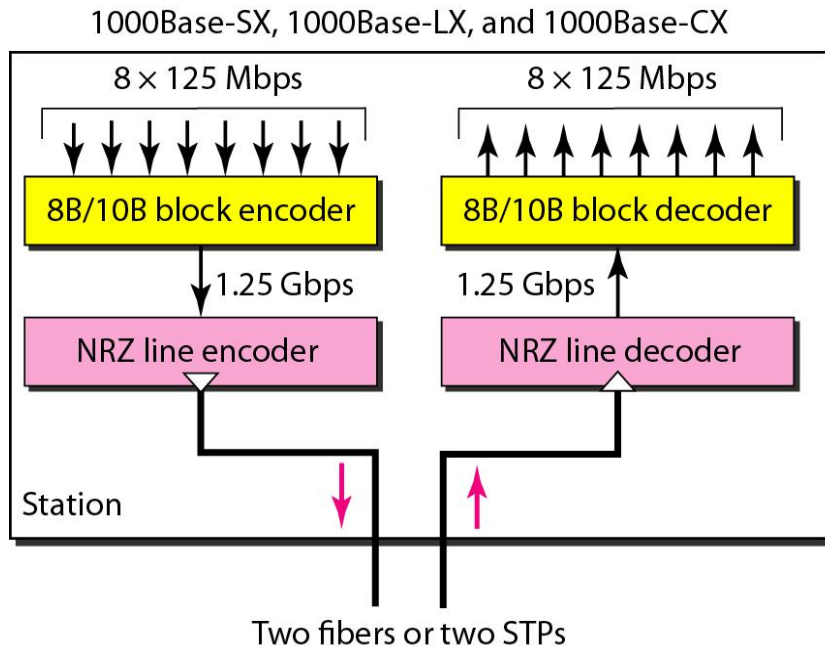


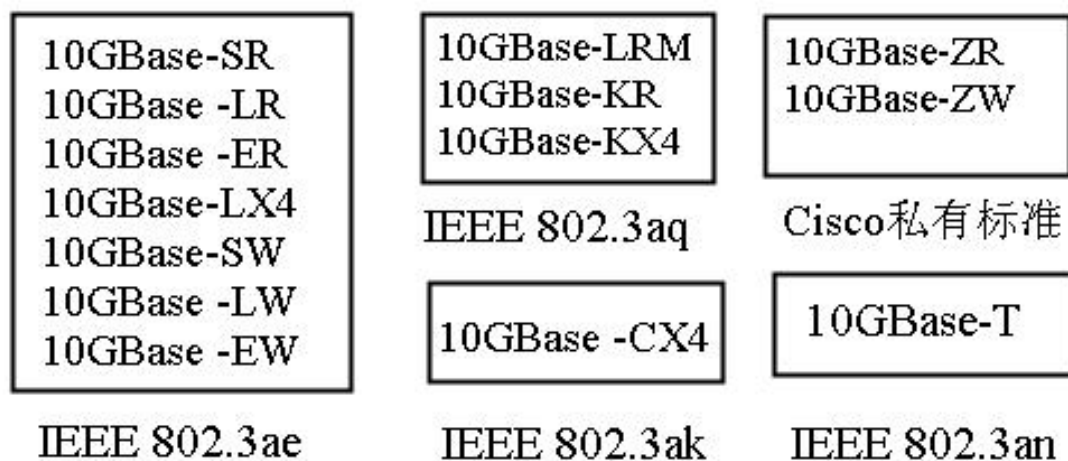


表13.3 千兆以太网实现的总结

<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

## 13-6 万兆以太网

- 万兆位以太网（10GigE）802.3ae标准已由IEEE于2002年6月批准，主要用于主干网络。
- 万兆位以太网已批准用于光纤线路，铜线规范已经于2016年由IEEE审查通过。



万兆以太网标准与对应的规范



表13.4 10千兆以太网实现的总结

<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



## 小结：IEEE802系列协议

- 802.1--高层及其交互工作。提供高层标准的框架，包括端到端协议、网络互连、网络管理、路由选择、桥接和性能测量。
- 802.2--连接链路控制LLC，提供OSI数据链路层的高子层功能，提供LAN、MAC子层与高层协议间的一致接口。
- 802.3--以太网规范，定义CSMA/CD标准的MAC子层和物理层规范。
- 802.4--令牌总线网，定义令牌总线的MAC子层和物理层规范。
- 802.5--令牌环网，定义了，令牌传递环形网的MAC子层和物理层的规范。
- 802.6--城域网MAN，定义城域网的MAC子层和物理层规范。
- 802.7--宽带技术。
- 802.8--光纤技术。
- 802.9--综合话音数据局域网。
- 802.10--可互操作的局域网安全。
- 802.11--无线局域网。
- 802.12--新型高速局域网（100 Mb / s）。





- IEEE802.3I

原始IEEE 802.3规范的物理更改，它要求通过双绞线网络介质，使用以太网类型的信令。标准设定信令速度为10M，通过双绞线电缆传输，采用星形或延伸的星形拓扑。

- IEEE802.3u

100Base-T是100兆以太网标准，可采用3类传输介质，即100Base-T4、100Base-TX和100Base-FX，它采用4B/5B编码方式。

- IEEE802.3z

IEEE 802.3z千兆以太网标准在1998年6月通过，它规定的三种收发信机包括三种介质：1000BASE-LX应用于已安装的单模光纤基础上，1000BASE-SX应用于已安装的多模光纤基础上，1000BASE-CX应用于已安装的在设备室内连接的平衡屏蔽铜缆基础上。

- IEEE 802.3ab

IEEE 802.3ab是继超高速以太网标准（802.3z）公布之后，于1999年6月通过的规范，为针对实体媒介部分制定的 1000 Base-T 规格，这项标准的通过使得超高速以太网不再只限制于光纤的传输环境。



## ■ IEEE802.3z

- IEEE 802.3z千兆以太网标准在1998年6月通过，它规定的三种收发信机包括三种介质：1000BASE-LX应用于已安装的单模光纤基础上，1000BASE-SX应用于已安装的多模光纤基础上，1000BASE-CX应用于已安装的在设备室内连接的平衡屏蔽铜缆基础上。

## ■ IEEE 802.3ab, 1999年6月

- IEEE 继超高速以太网标准（802.3z）公布之后，于1999年6月再通过的规范，为针对实体媒介部分制定的 1000 Base-T 规格，由于这项标准的通过使得超高速以太网不再只限制于光纤的传输环境。

# 作业



■ P280页

13, 15, 17, 19