

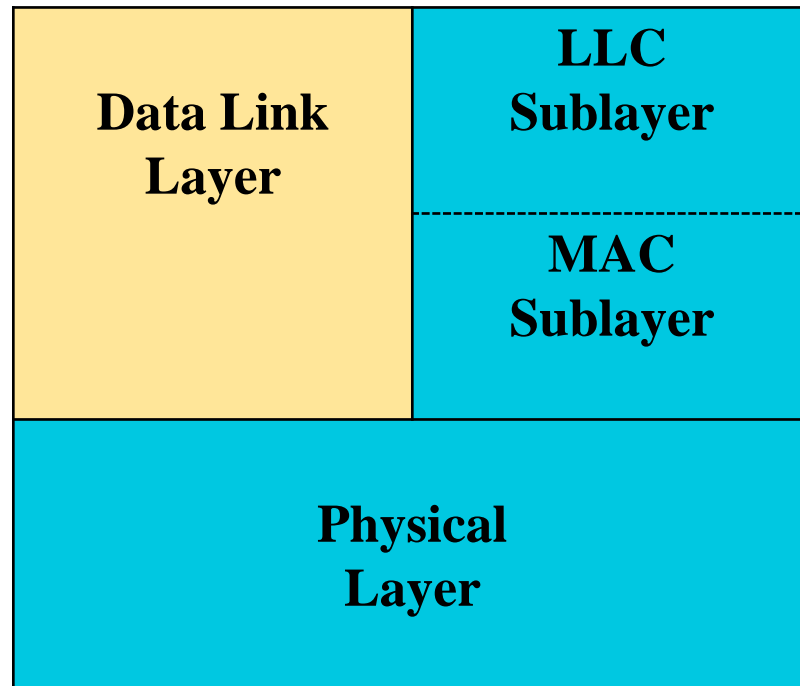
## 第四章 介质访问控制子层

# 以太网概述

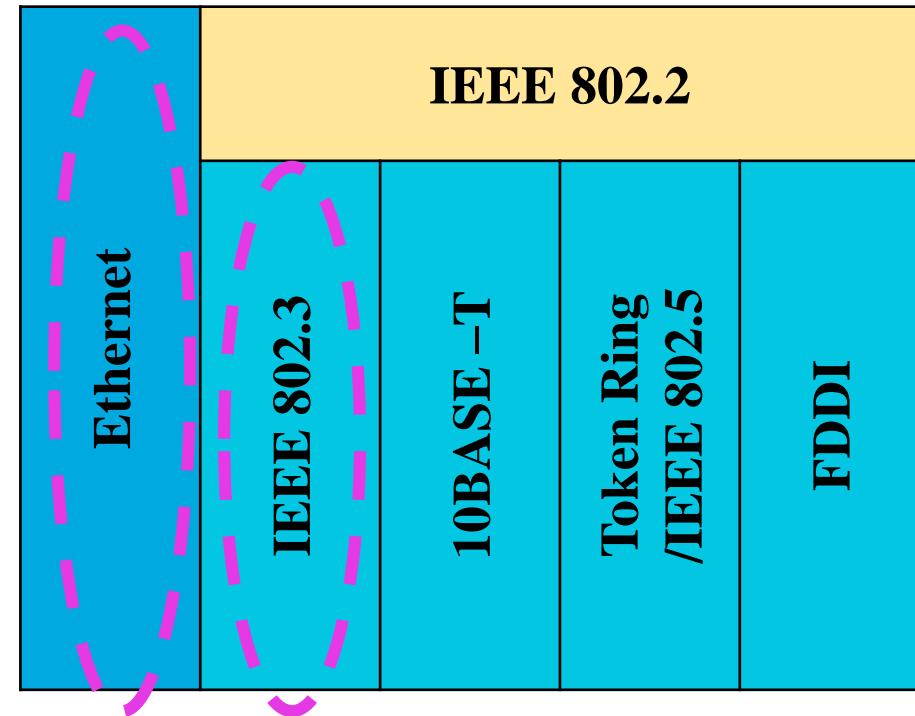


# 以太网所处的位置

## OSI Layers



## LAN Specification





# 以太网的发展史

1973 ➔ **Robert Metcalfe**及其同事设计了以太网雏形（施乐公司）

1980 ➔ DIX发布最早的以太网标准，**开放**标准

1985 ➔ IEEE802.3对以太网作了小的修改，基本一致，兼容

1995 ➔ IEEE宣布了100Mbps以太网标准

1998 ➔ 吉比特以太网标准（1000M）

1999

2002 ➔ IEEE通过了10Gbps以太网标准

Ethernet Standard	Date	Description
Experimental Ethernet	1973 <sup>[1]</sup>	2.94 Mbit/s (367 kB/s) over coaxial cable (coax) bus
Ethernet II (DIX v2.0)	1982	10 Mbit/s (1.25 MB/s) over thick coax. Frames have a Type field. This frame format is used in the TCP/IP protocol suite.
IEEE 802.3 standard	1983	10BASE5 10 Mbit/s (1.25 MB/s) over thick coax. Same as Ethernet II (above) except Type field follows the 802.3 header. Based on the CSMA/CD Process.
802.3a	1985	10BASE2 10 Mbit/s (1.25 MB/s) over thin Coax (a.k.a. thinnet or cheapernet)
802.3b	1985	10BROAD36
802.3c	1985	10 Mbit/s (1.25 MB/s) repeater specs
802.3d	1987	Fiber-optic inter-repeater link
802.3e	1987	1BASE5 or StarLAN
802.3i	1990	10BASE-T 10 Mbit/s (1.25 MB/s) over twisted pair
802.3j	1993	10BASE-F 10 Mbit/s (1.25 MB/s) over Fiber-Optic

802.3j	1993	10BASE-F 10 Mbit/s (1.25 MB/s) over Fiber-Optic
802.3u	1995	100BASE-TX, 100BASE-T4, 100BASE-FX Fast Ethernet at 100 Mbit/s (12.5 MB/s) w/au
802.3x	1997	Full Duplex and flow control; also incorporates DIX framing, so there's no long
802.3v	1998	100BASE-T2 100 Mbit/s (12.5 MB/s) over low quality twisted pair
802.3z	1998	1000BASE-X Gbit/s Ethernet over Fiber-Optic at 1 Gbit/s (125 MB/s)
802.3-1998	1998	A revision of base standard incorporating the above amendments and errata
802.3ab	1999	1000BASE-T Gbit/s Ethernet over twisted pair at 1 Gbit/s (125 MB/s)
802.3ac	1998	Max frame size extended to 1522 bytes (to allow "Q-tag") The Q-tag includes 802
802.3ad	2000	Link aggregation for parallel links, since moved to IEEE 802.1AX
802.3-2002	2002	A revision of base standard incorporating the three prior amendments and errata
802.3ae	2002	10 Gigabit Ethernet over fiber; 10GBASE-SR, 10GBASE-LR, 10GBASE-ER, 10GBASE-SW,



802.3bw		100BASE-T1 - 100 Mbit/s Ethernet over a single twisted pair for automotive applications
802.3-2015	2015	802.3bx - a new consolidated revision of the 802.3 standard including amendments 802.2bk/bj/bm
802.3by	~Sep 2016	25 Gbit/s Ethernet <sup>[3]</sup>
802.3bz	~Aug 2017 <sup>[4]</sup>	2.5 Gigabit and 5 Gigabit Ethernet over Cat-5/Cat-6 twisted pair - 2.5GBASE-T and 5GBASE-T

# Robert Metcalfe 梅特卡夫（专栏作家、投资家）

1969 MIT本科毕业，双学位

1970 哈佛大学硕士学位

1973 PhD，哈佛大学  
（第二次通过答辩，以ALOHA为基础）

Xerox 工作

May 22, 1973，以太网誕生日

November 11, 1973（David Boggs）

1979 离开施乐，创建3COM

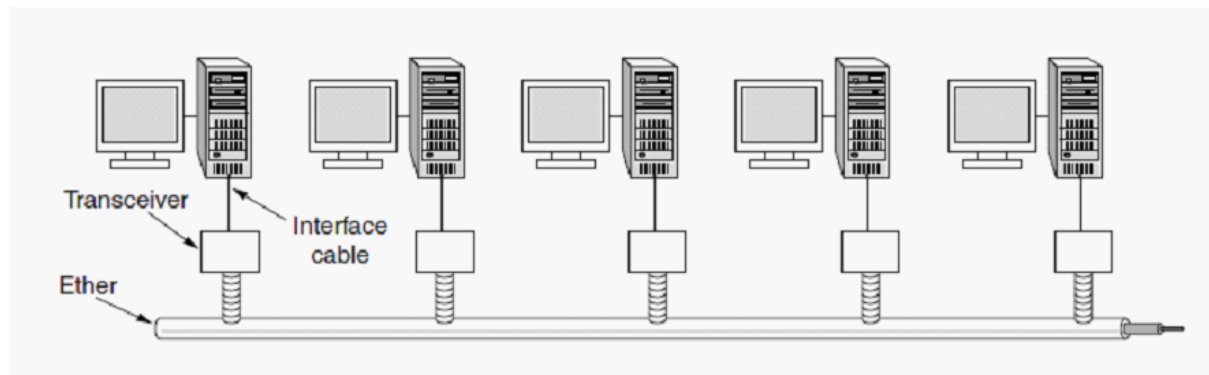
1990 被迫离开3COM



# 2 种以太网

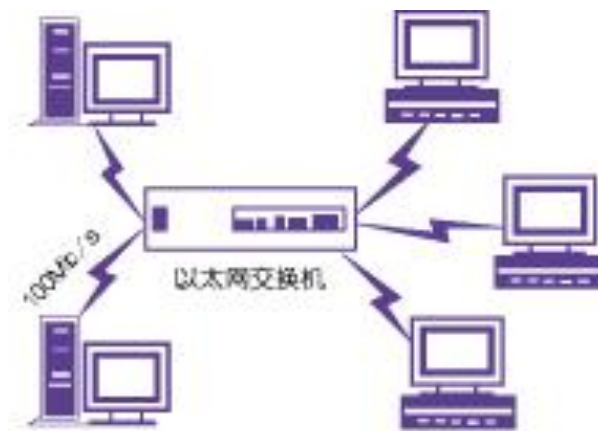
## □ 经典以太网

- 3M~10Mbps
- 不再使用



## □ 交换式以太网

- 10M, 100M, 1G
- 广泛使用





# IEEE以太网命名规则

## □ 10Base2 (IEEE 802.3a)

- -10: 传输带宽 (单位Mbps)
- -Base: 基带传输
- -2 (或5): 支持的分段长度 (100米为单位, 四舍五入)

## □ 10Base-TX (IEEE 802.3X)

- -T: 铜制非屏蔽双绞线
- -F: 表示光缆



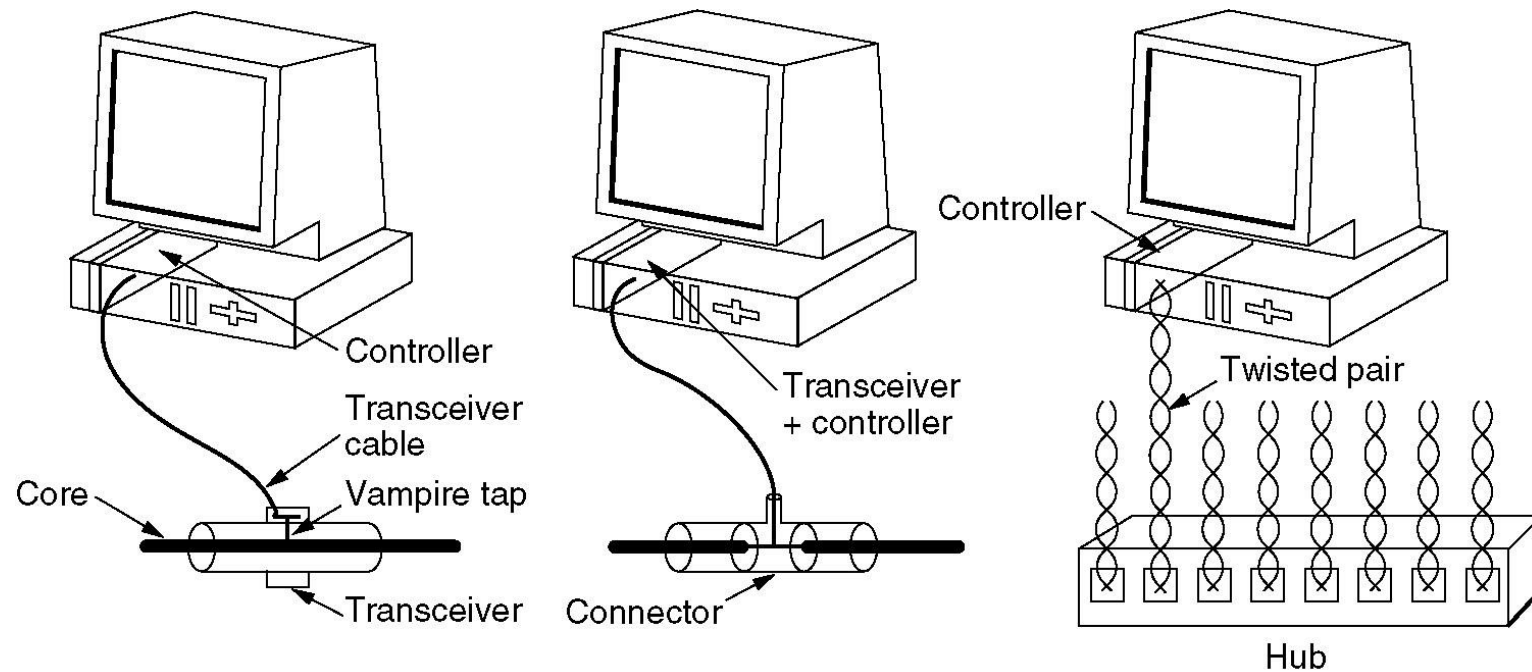


# 以太网线缆

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	1024	易于维护	RJ-45
10Base-F	光纤	2km	1024	用于楼间	ST



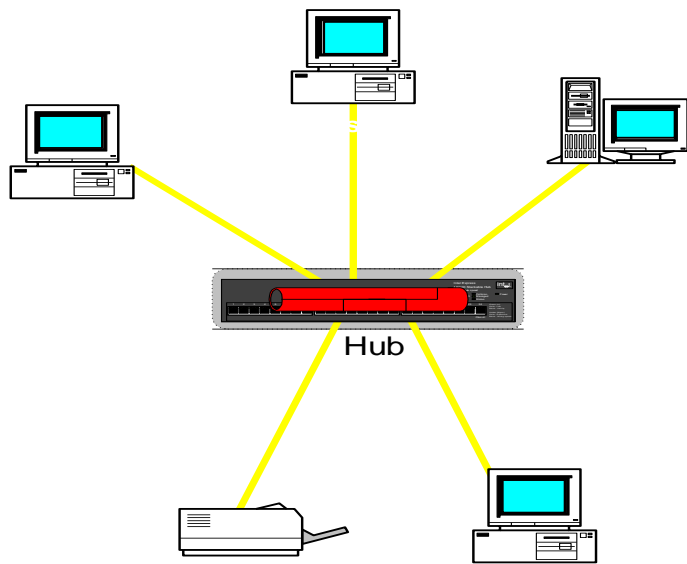
# 以太网连接方式的比较图示



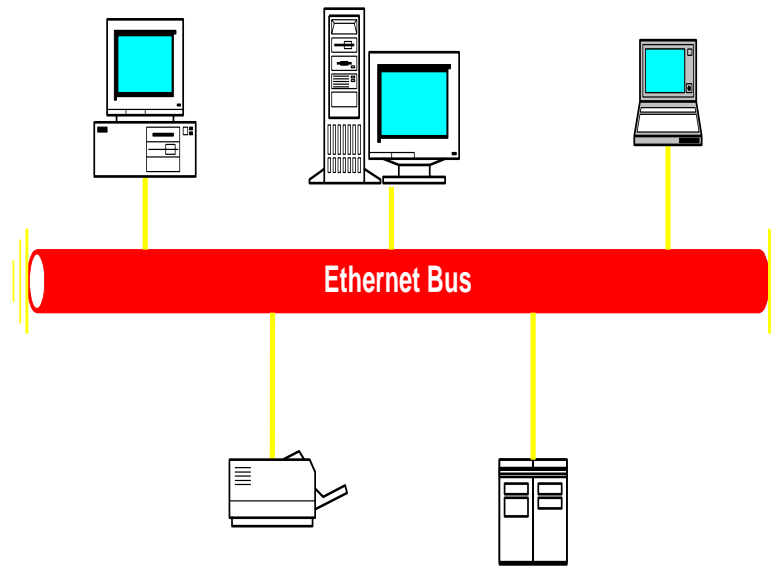
Name	Cable	Max. seg.	Nodes/seg.	Advantages
10Base5	Thick coax	500 m	100	Original cable; now obsolete
10Base2	Thin coax	185 m	30	No hub needed
10Base-T	Twisted pair	100 m	1024	Cheapest system
10Base-F	Fiber optics	2000 m	1024	Best between buildings



# 10Base-T的拓扑结构



物理结构



逻辑结构

- ❑ 物理连接是星型/扩展星型结构
- ❑ 逻辑上是总线结构（站点争用总线）



# 10BaseT的特点

## □ 与同轴电缆相比的优点

- 安装成本大大降低
- 即插即用，组网灵活
- 星型结构，故障隔离
- 适于大批量制造
- 具有开放式标准的互操作能力

## □ 问题

- 多用户共享一条10M速率信道



# 以太网编码

## □ 以太网采用曼彻斯特编码

➤ 1: 高电压到低电压

➤ 0: 低电压到高电压

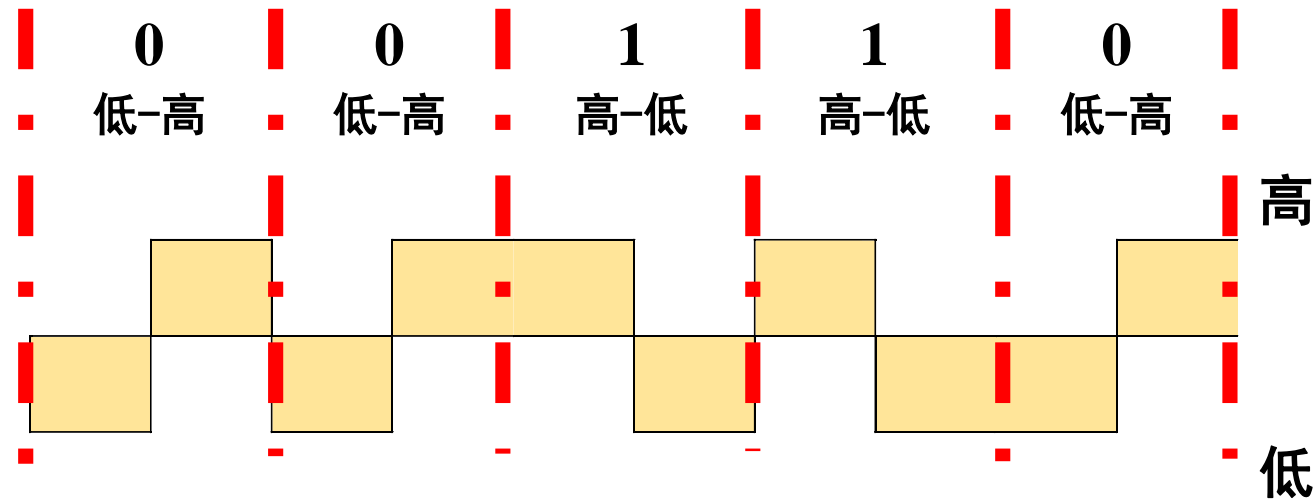
➤ 电压值

- +0.85 volt: high signal
- -0.85 volt: low signal
- 0 volt: DC value

## □ 差分曼彻斯特编码（802.5采用）



# 曼彻斯特编码



□ 比特率  $b = 10 \text{ Mbps}$

□ 波特率  $B = 20 \text{ MHz}$  (信号的变化频率)

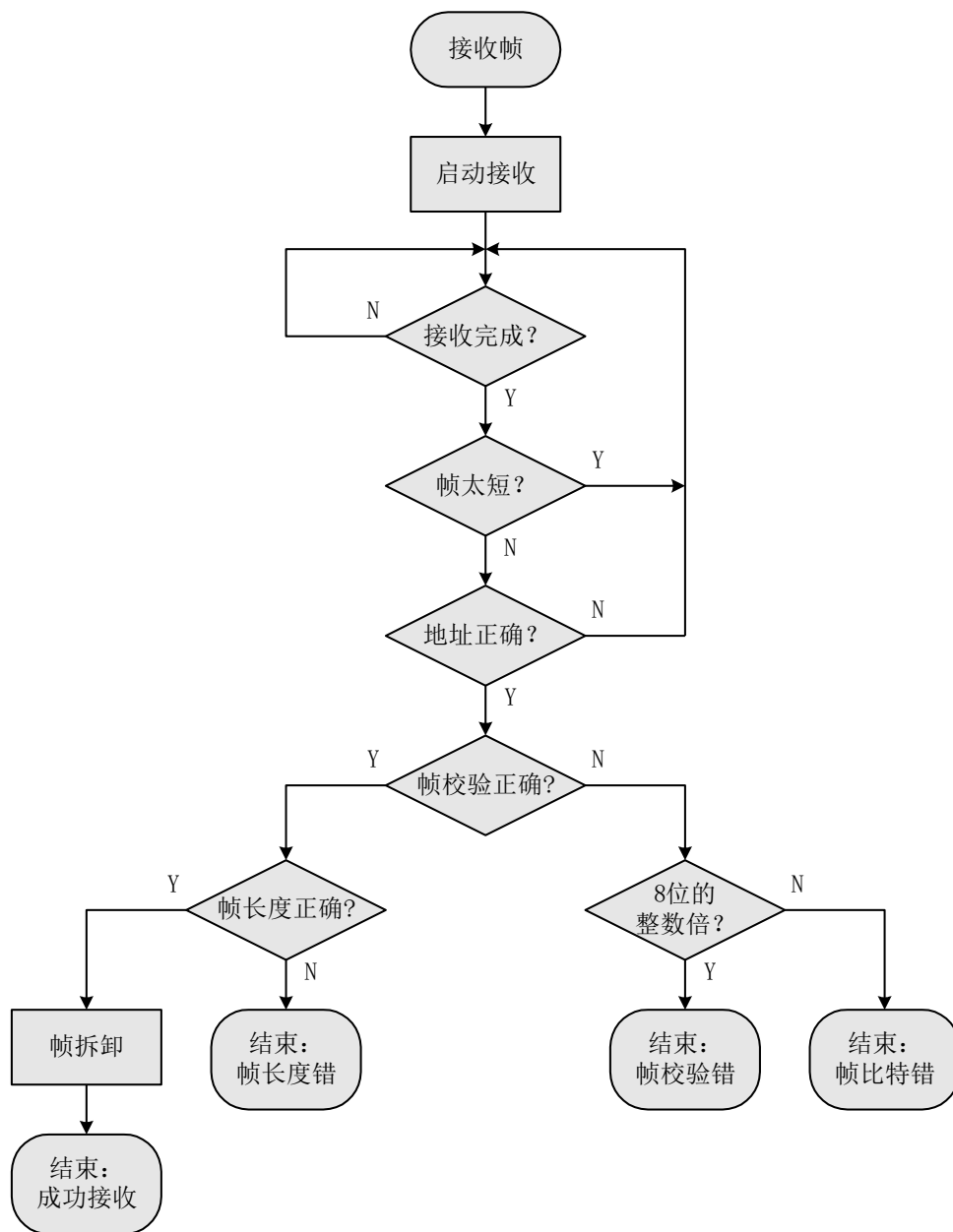
悬赏!



# IEEE 802.3/以太网MAC子层协议

- IEEE802.3协议描述了运行在各种介质上1 Mb/s~10 Mb/s的1-持续CSMA/CD协议的局域网标准。
- 很多人对以太网和IEEE802.3不加区分，但二者确有差别（如帧格式）。

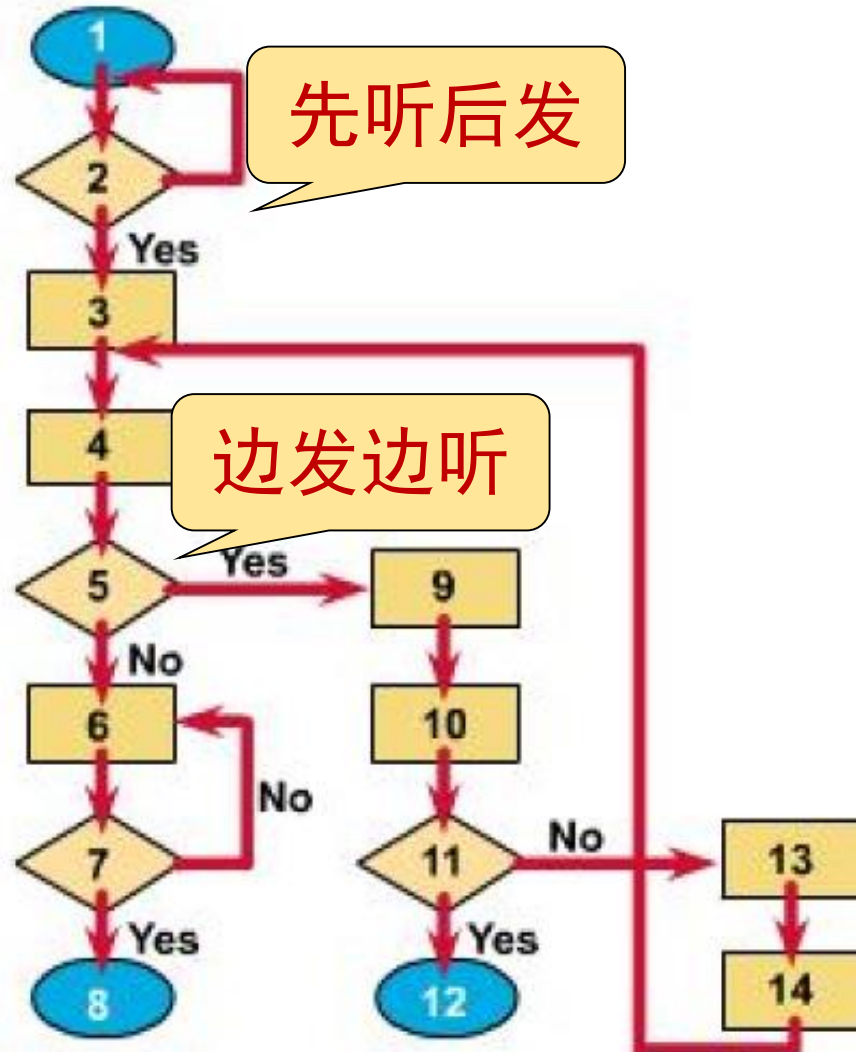
# 以太网工作站接收数据流程





# 以太网介质访问控制技术(CSMA/CD)

1. Host wants to transmit
2. Is carrier sensed?
3. Assemble frame
4. Start transmitting
5. Is a collision detected?
6. Keep transmitting
7. Is the transmission done?
8. Transmission completed
9. Broadcast jam signal
10.  $attempts = attempts + 1$
11.  $attempts > \text{too many?}$
12. Too many collisions; abort transmission
13. Algorithm calculates backoff
14. Wait for  $t$  seconds





## 二进制指数后退算法

- 发送方在检测到冲突后，双方（或多方）都将延时一段时间，那么这段时间到底是多长？
- 冲突检测到后，时间被分成离散的时隙
- 时隙的长度等于信号在介质上来回传输时间（ $51.2\mu\text{s}$ ）
- 一般地， $i$  次冲突后，等待的时隙数将从  $(0 \sim 2^i - 1) \times 51.2\mu\text{s}$  中随机选择。



# 随机等待的时间

## Retry Random Time Range

1	$2^1-1 = 0 \dots 1 \times 51.2_{\mu\text{sec}}$
2	$2^2-1 = 0 \dots 3 \times 51.2_{\mu\text{sec}}$
3	$2^3-1 = 0 \dots 7 \times 51.2_{\mu\text{sec}}$
4	$2^4-1 = 0 \dots 15 \times 51.2_{\mu\text{sec}}$
5	$2^5-1 = 0 \dots 31 \times 51.2_{\mu\text{sec}}$
6	$2^6-1 = 0 \dots 63 \times 51.2_{\mu\text{sec}}$
7	$2^7-1 = 0 \dots 127 \times 51.2_{\mu\text{sec}}$
8	$2^8-1 = 0 \dots 255 \times 51.2_{\mu\text{sec}}$

## Retry Random Time Range

9	$2^9-1 = 0 \dots 511 \times 51.2_{\mu\text{sec}}$
10	$2^{10}-1 = 0 \dots 1023 \times 51.2_{\mu\text{sec}}$
11	$2^{11}-1 = 0 \dots 1023 \times 51.2_{\mu\text{sec}}$
12	$2^{12}-1 = 0 \dots 1023 \times 51.2_{\mu\text{sec}}$
13	$2^{13}-1 = 0 \dots 1023 \times 51.2_{\mu\text{sec}}$
14	$2^{14}-1 = 0 \dots 1023 \times 51.2_{\mu\text{sec}}$
15	$2^{15}-1 = 0 \dots 1023 \times 51.2_{\mu\text{sec}}$
16	$2^{16}-1 = 0 \dots 1023 \times 51.2_{\mu\text{sec}}$



## 注意

□ **i次冲突后时间片为：**

➤  **$0 < i \leq 10$  时，取  $(0 \sim 2^i - 1) \times 2\tau$**

➤  **$10 < i < 16$  时，取  $(0 \sim 1023) \times 2\tau$**

➤  **$i > 16$  时，放弃发送**



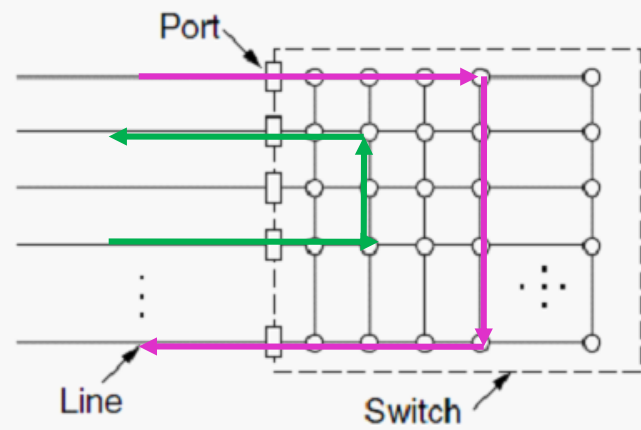
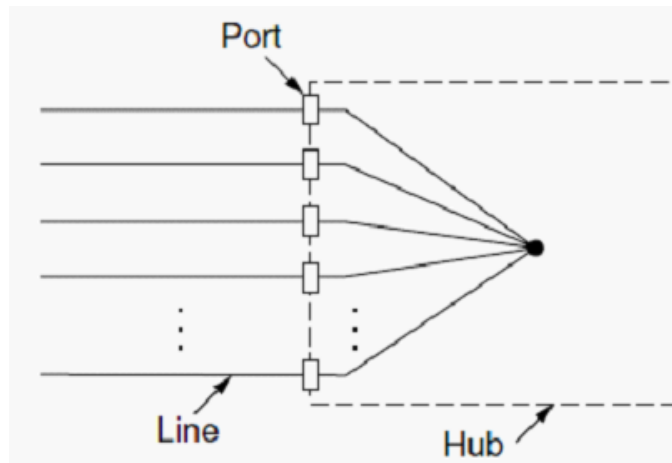
# 二进制指数后退算法的优化

- 以上讨论的都是发送方怎样避免冲突，或冲突后怎样再次成功地发送。
- 但是，一旦成功发送后，接收方如需发确认帧，其中又有争用信道的问题。如把一次成功发送后的第一个时隙留给接收方，则可及时收到确认帧。



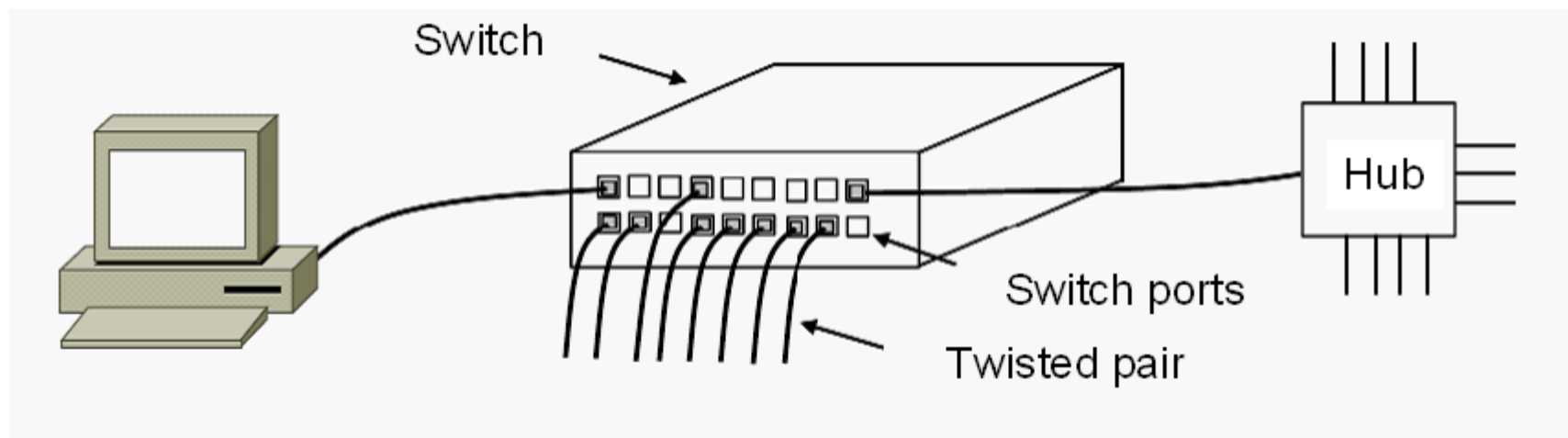
# 经典以太网

- ❑ 10base2
- ❑ 10base5
- ❑ 10base-T
- ❑ 提高负载的方法
  - 提速到100M
  - 全双工
  - 交换式网络, hub switch





# 交换式以太网





# 100Mbps以太网——802.3u

## □ 改进10Mbps以太网

➤ 要求：兼容性、成本、标准化

➤ 基本思想：保留原有的帧格式、接口和过程规则，将位时间降为10ns（原100ns），电缆最大长度降到10分之一（原2500米）。





# 100Mbps以太网——802.3u

## □ 改变编码方式、提高传输速率

➤ 100Base-T4 (25MHz)

➤ 100Base-TX (125MHz)

名称	传输介质	最大距离
100Base-T4	3 类双绞线	100 米
100Base-TX	5 类双绞线	100 米
100Base-FX	光纤	2000 米



# 4B/5B Encoding

- 既没有使用 NRZ，也没有使用 Manchester
- 4 bits数据被编码成 5 bits信号

效率高、  
易于实现、  
电压平衡

4B/5B编码表

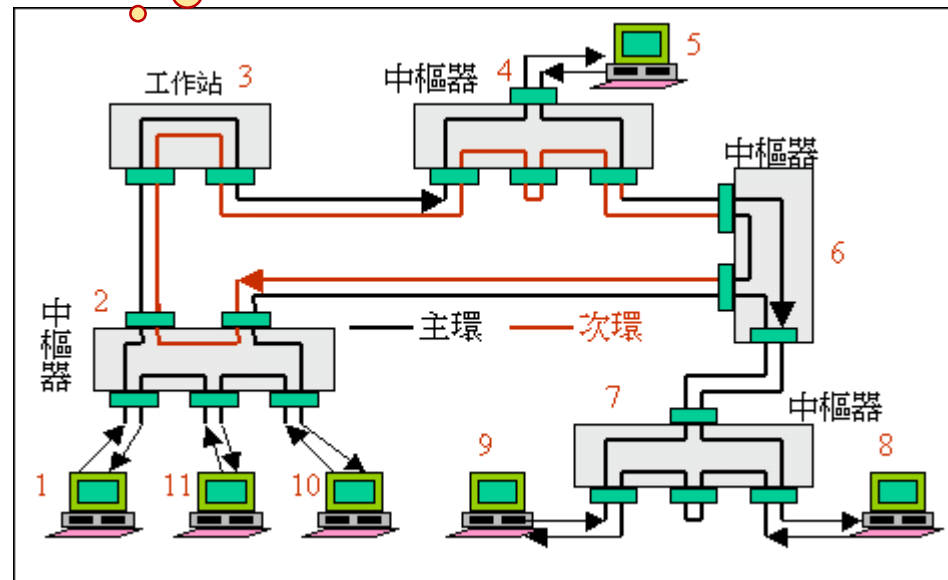
十进制	4位二进制数	4B/5B 码	十进制	4位二进制数	4B/5B 码
0	0000	11110	8	1000	10010
1	0001	01001	9	1001	10011
2	0010	10100	10	1010	10110
3	0011	10101	11	1011	10111
4	0100	01010	12	1100	11010
5	0101	01011	13	1101	11011
6	0110	01110	14	1110	11100
7	0111	01111	15	1111	11101



# FDDI—无可奈何花落去

- 1986年，高速LAN技术，100M
- 优点：可靠、抗干扰
- 缺点：
  - 太复杂，很难到桌面
  - 部署复杂，成本高昂，交换机端口少
  - 受快速以太网的冲击
  - 80年代后，90年代初美国还采用，但理论上已经不见踪影

未普遍使用





# 千兆位以太网（吉比特以太网，GE）——802.3z

## □ 园区网的技术发展

- FDDI 100M
- ATM 155M/622M/2.4G
- GE 1000M(1G)

## □ 与现有10M/100M以太网技术的兼容性P241

- FDDI和ATM不兼容，需要改变帧格式
- 千兆位以太网兼容

## □ 速率提高带来的冲突检测问题以及解决办法

- 只在半双工的模式下才会遇到



# 以太网回顾

## □ 强大的生命力

- 简单性和灵活性
- 易于维护
- 支持TCP/IP，互联容易
- 善于借鉴：4B/5B，8B/10B.....

## □ KISS：Keep It Simple, Stupid（大智若愚）

- 乔布斯：stay hungry, stay foolish



# 小结

- 以太网是多路访问协议的实现：CSMA/CD
- 二进制指数回退算法，降低了再次冲突的可能
- 以太网类型
  - 经典以太网
  - 交换式以太网
- 以太网具有强大的生命力

# 思考题

- 二进制指数回退算法是怎样做的？
- 经典以太网的特点是什么？
- 交换式以太网的特点是什么？
- 以太网为什么具有强大的生命力？
- 以太网采用的编码方法是什么？

谢谢观看



# 致谢

本课程课件中的部分素材来自于：（1）清华大学出版社出版的翻译教材《计算机网络》（原著作者：Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall）；（2）思科网络技术学院教程；（3）网络上搜到的其他资料。在此，对清华大学出版社、思科网络技术学院、人民邮电出版社、以及其它提供本课程引用资料的个人表示衷心的感谢！

对于本课程引用的素材，仅用于课程学习，如有任何问题，请与我们联系！