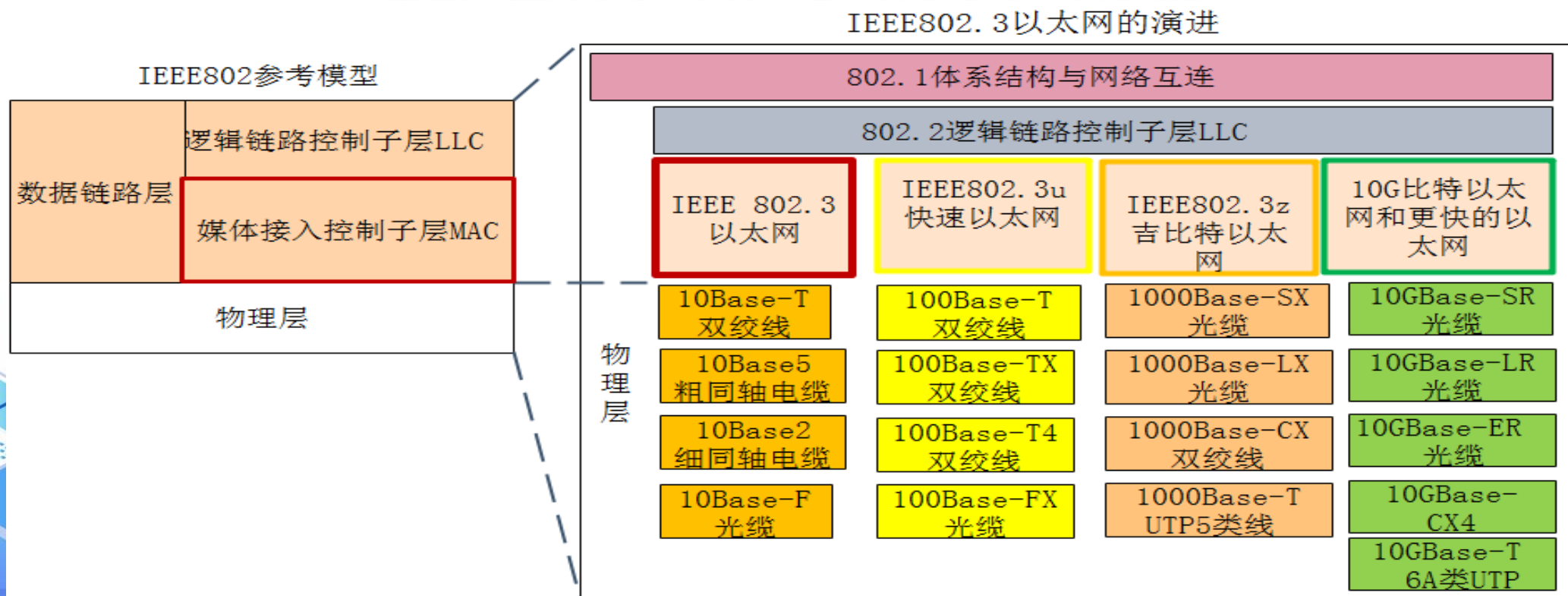


高速以太网



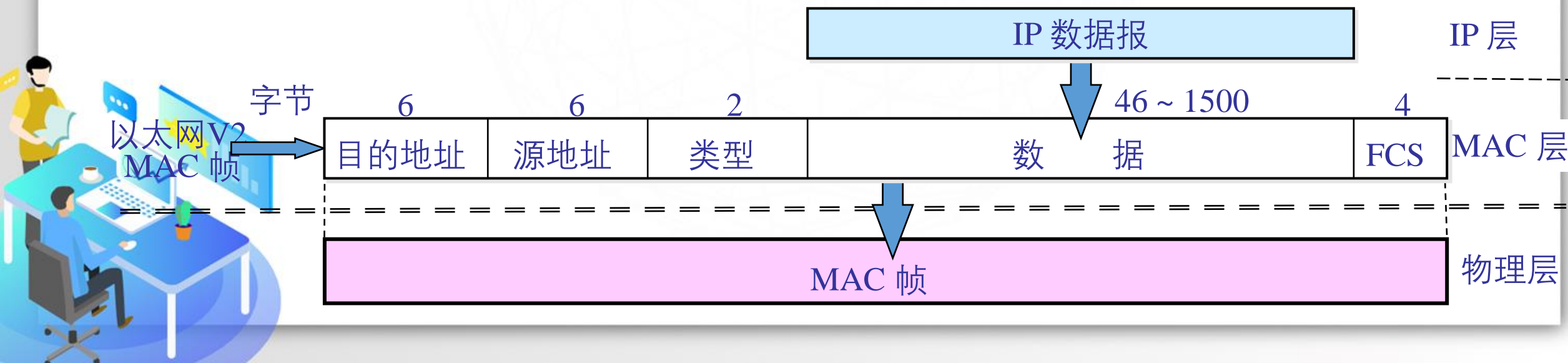
以太网的演进

- 以太网Ethernet从 1973 年创立以来，其标准经历了多次发展，用于规范更快、更灵活的技术。
- 随着电子技术的发展，以太网的速率不断提升。从10 Mbit/s传统以太网到100Mbit/s的快速以太网到1Gbit/s的吉比特以太网，再到10G比特以太网和更快速率的以太网。



高速以太网保留了统一的以太网帧结构

- 速率达到或超过 100 Mb/s 的以太网称为高速以太网。
- 从10Mbit/s的以太网到高速以太网，在数据链路层中，所有速率的以太网的帧结构都几乎相同。
- Ethernet V2 是TCP/IP体系结构网络使用的以太网帧格式。如图所示，以太网帧结构是将第3层 PDU（IP数据报）作为帧的有效数据载荷，再添加14字节帧头（目的地址、源地址和类型字段）和4字节帧尾（帧校验序列FCS）封装成发送的消息。



100BASE-T快速以太网

- 100BASE-T是在双绞线上传送 100 Mb/s 基带信号的星型拓扑以太网，仍使用 IEEE 802.3 的 CSMA/CD 协议，它又称为快速以太网(Fast Ethernet)。
- 用户只要使用100Mbit的适配器和100Mb/s的集线器或交换机，就可以方便地从10Base-T以太网升级到100Base-T，而不必改变网络的拓扑结构。
- 100BASE-T快速以太网的标准是IEEE 802.3u。



100BASE-T 以太网的特点



- 保留了传统以太网的基本特征（相同的帧格式、最小帧长、最大帧长等）。
- 802.3u标准定义了介质专用接口（Media Independent Interface MII），将MAC层与物理层分开。
这样，物理层在实现100 Mb/s速率时使用的传输介质和信号编码方式的变化不会影响MAC层。
- 允许在 100 Mb/s下全双工（CSMA/CD不起作用）和半双工（仍然使用CSMA/CD工作方式）两种方式工作。



100BASE-T 以太网的特点

因为以太网信道极限利用率 S_{\max} 的计算公式为：
$$S_{\max} = \frac{T_0}{T_0 + \tau} = \frac{1}{1 + a}$$

参数 a 是以太网单程端到端时延 τ 与帧的发送时间 T_0 之比：

$$a = \frac{\tau}{T_0} = \frac{d/s}{L/C} = \frac{dC}{Ls} = \frac{d}{L} \cdot \frac{C}{s}$$

为了保持以太网信道利用率较高， a 必须保持一个很小的数值。

从10Mbit/s以太网提升到100Mb/s快速以太网，数据速率 C 提升了10倍，帧长 L 不变，发送时延 T_0 减小了；

若要参数 a 保持不变，则要将传播时延 τ 减小，电磁波传输速率 s 保持不变，则可将网络电缆长度 d 减小到原来数值的十分之一。



100BASE-T 以太网标准的一些改动

100Mb/s快速以太网的标准改动了原10Mb/s以太网的一些规定:

- 将一个网段的最大电缆长度减小到 100 m。
- 由于保持最短帧长64字节 (512bit) 不变, 100Mb/s快速以太网的争用期由原来的51.2us改为 5.12us, 帧间时间间隔从原来的 $9.6\ \mu\text{s}$ 改为 $0.96\ \mu\text{s}$, 都是10Mb/s以太网的1/10。



100BASE-T 以太网规定了三种不同的物理层标准

➤ 100BASE-TX

- 使用 2 对 UTP 5 类线或屏蔽双绞线 STP。
- 网段最大长度100m。

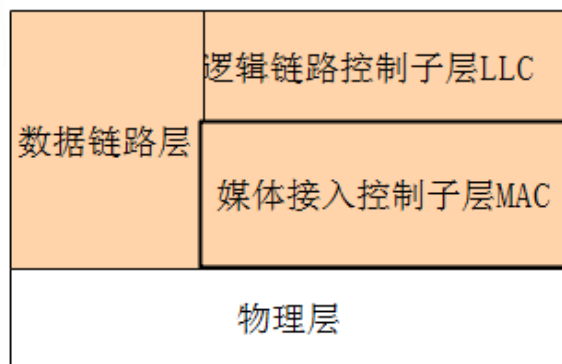
➤ 100BASE-T4

- 使用 4 对 UTP 3 类线或 5 类线（3对线同时传送数据，1对线作为碰撞检测的接收信道。）。
- 网段最大长度100m。

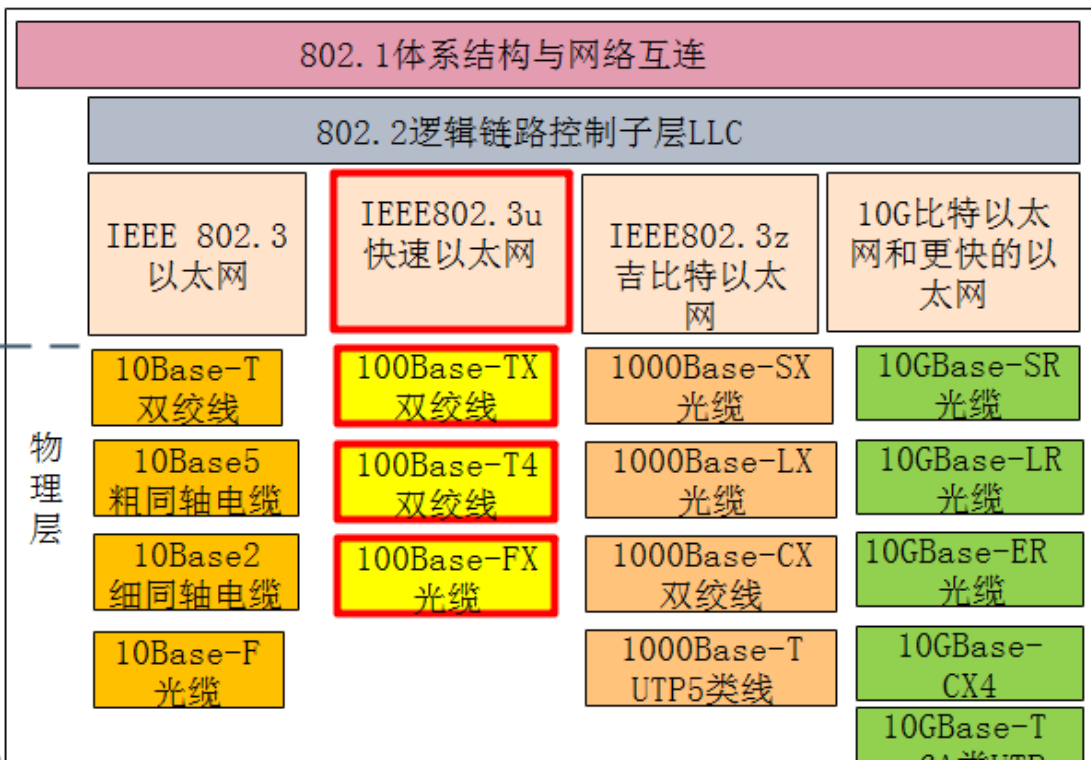
➤ 100BASE-FX

- 使用 2 根光纤。
- 网段最长2000m。

IEEE802参考模型



IEEE802.3以太网的演进



物理层

速率自动协商机制

- 100BASE-T 以太网具有10Mbps和100Mbps速率网卡共存的速率自动协商机制。
- 速率自动协商具有以下功能：与其他节点网卡交换工作模式相关参数，自动协商和选择共有的性能最高的工作模式，自动协商过程要在500ms内完成。
 - 自动协商只涉及物理层，协商过程中按照性能从高到低的选择排序是：
 - 100BASE-TX或100BASE-FX 全双工
 - 100BASE-T4
 - 100BASE-TX
 - 10BASE-T全双工
 - 10BASE-T



吉比特以太网

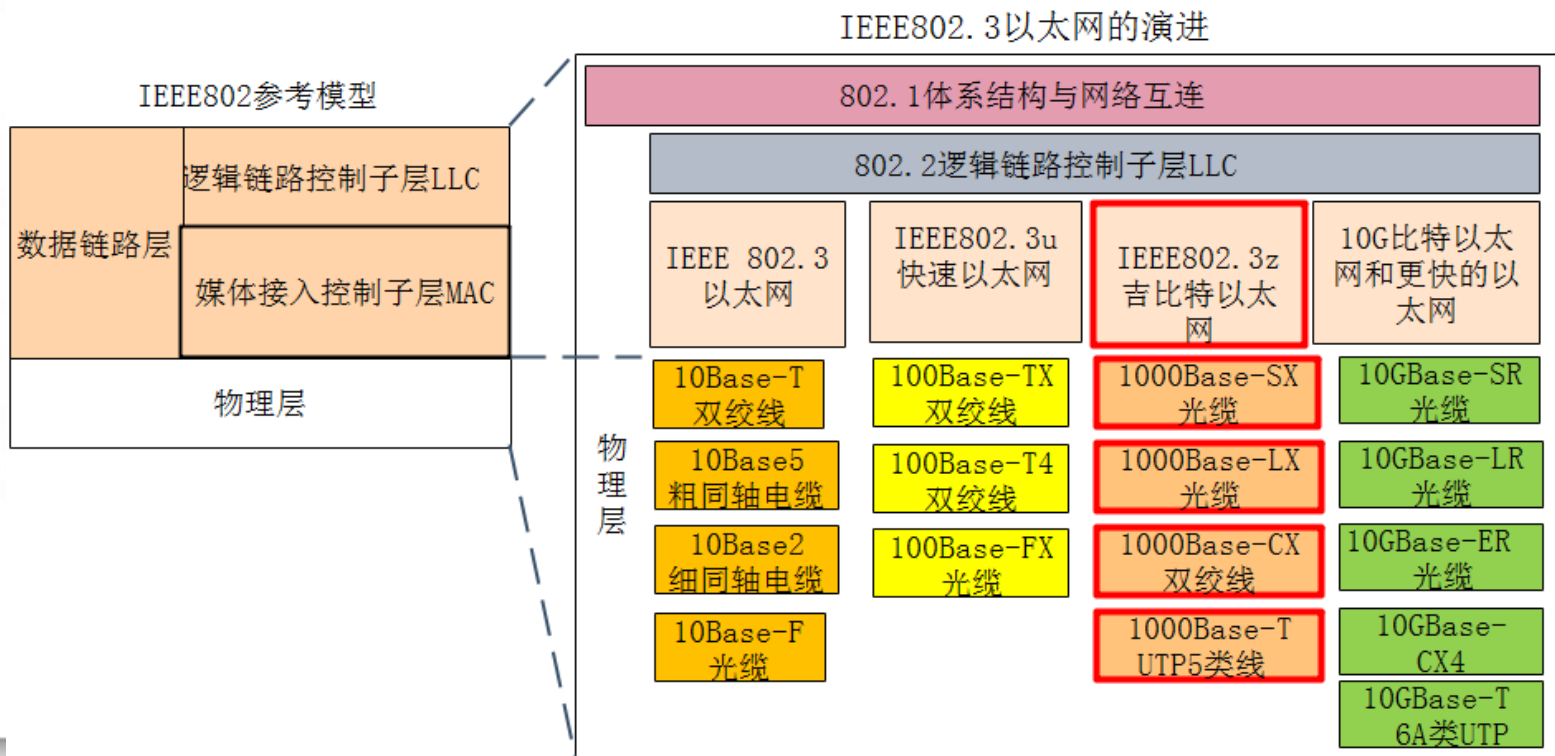
1998年IEEE 802.3z成为吉比特以太网的正式标准。

- 允许在 1 Gb/s 下全双工和半双工两种方式工作。
- 使用 802.3 协议规定的帧格式。
- 在半双工方式下使用 CSMA/CD 协议（全双工方式不需要使用 CSMA/CD 协议）。
- 与 10BASE-T 和 100BASE-T 技术向后兼容。



吉比特以太网的物理层使用两种成熟的技术

- 基于美国国家标准协议ANSI制定的光纤通道Fiber Channel的物理层
 - 1000BASE-SX, 多模光纤, 网段最大长度550m。
 - 1000BASE-LX, 单模光纤或多模光纤, 网段最大长度5000m。
- 基于现有以太网的物理层
 - 1000BASE-CX, 使用2对STP, 网段最大长度25m。
 - 1000BASE-T
 - 使用 4对 5 类线 UTP
 - 网段最大长度100m



载波延伸(carrier extension)



- 吉比特以太网工作在半双工方式时，就必须进行碰撞检测。
- 由于数据率提高了，因此只有减小最大电缆长度或增大帧的最小长度，才能使参数 a ($a = \frac{\tau}{T_0} = \frac{d/s}{L/C} = \frac{dC}{Ls} = \frac{d}{L} \cdot \frac{C}{s}$) 保持为较小的数值。
- 吉比特以太网仍然保持一个网段的最大长度为 100 m，但采用了“载波延伸”的办法，使最短帧长仍为 64 字节（这样可以保持兼容性），同时将争用时间增大为 512 字节。

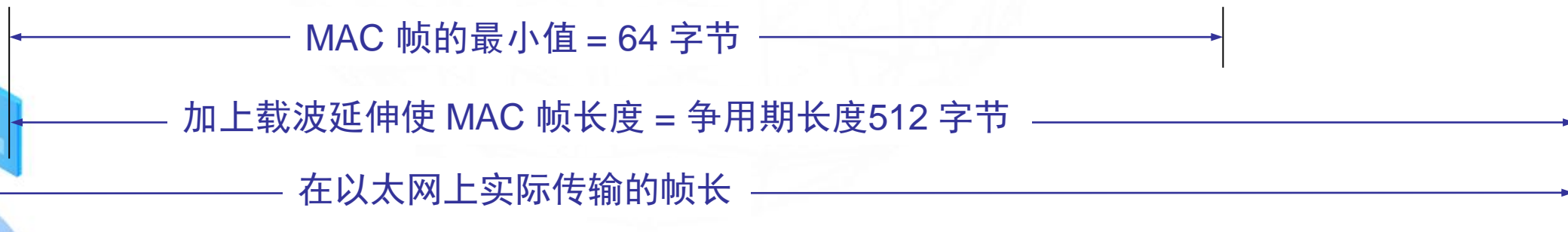
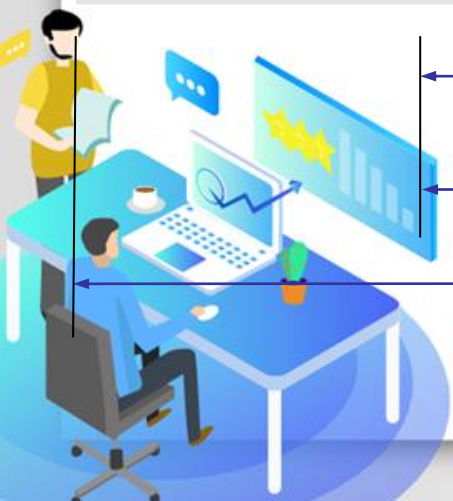




在短 MAC 帧后面加上载波延伸

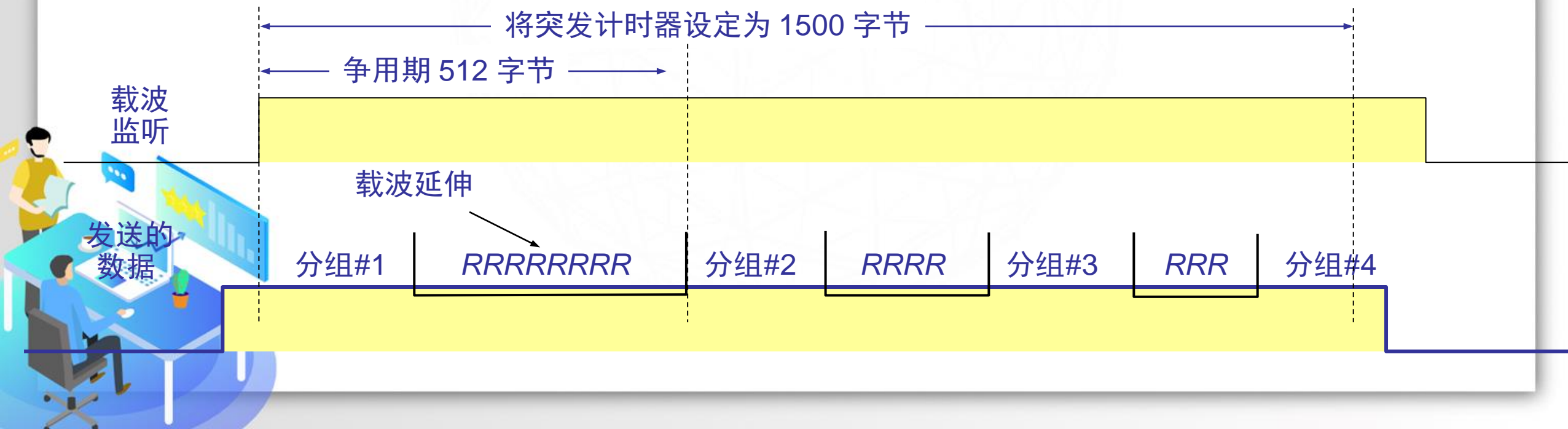
- 凡发送的 MAC 帧长不足 512 字节时，就用一些特殊字符填充在帧的后面，使 MAC 帧的发送长度增大到 512 字节，但这对有效载荷并无影响。
- 接收端在收到以太网的 MAC 帧后，要将所填充的特殊字符删除后才向高层交付。

前同步码	目地地址	源地址	数据长度	数 据	FCS	载波延伸
------	------	-----	------	-----	-----	------



分组突发

- 当很多短帧要发送时，第一个短帧要采用上面所说的载波延伸的方法进行填充。
- 随后的一些短帧则可一个接一个地发送，只需留有必要的帧间最小间隔即可。这样就形成可一串分组的突发，直到达到 1500 字节或稍多一些为止。



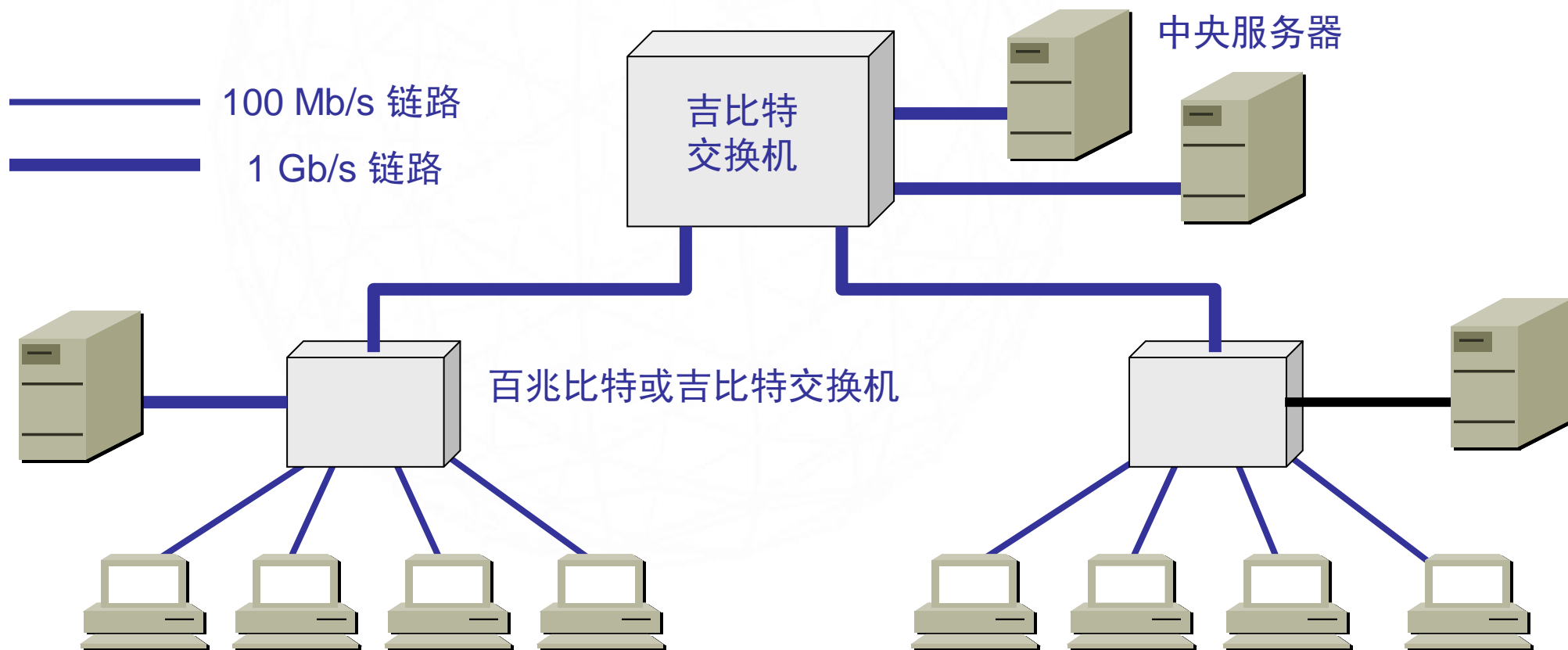
全双工方式

- 当吉比特以太网工作在全双工方式时（即通信双方可同时进行发送和接收数据），不使用载波延伸和分组突发。



吉比特以太网的配置举例

- 吉比特以太网交换机可以直接与多个工作站相连，也可用作百兆以太网的主干网，与百兆比特或吉比特交换机相连，再和大型服务器相连。



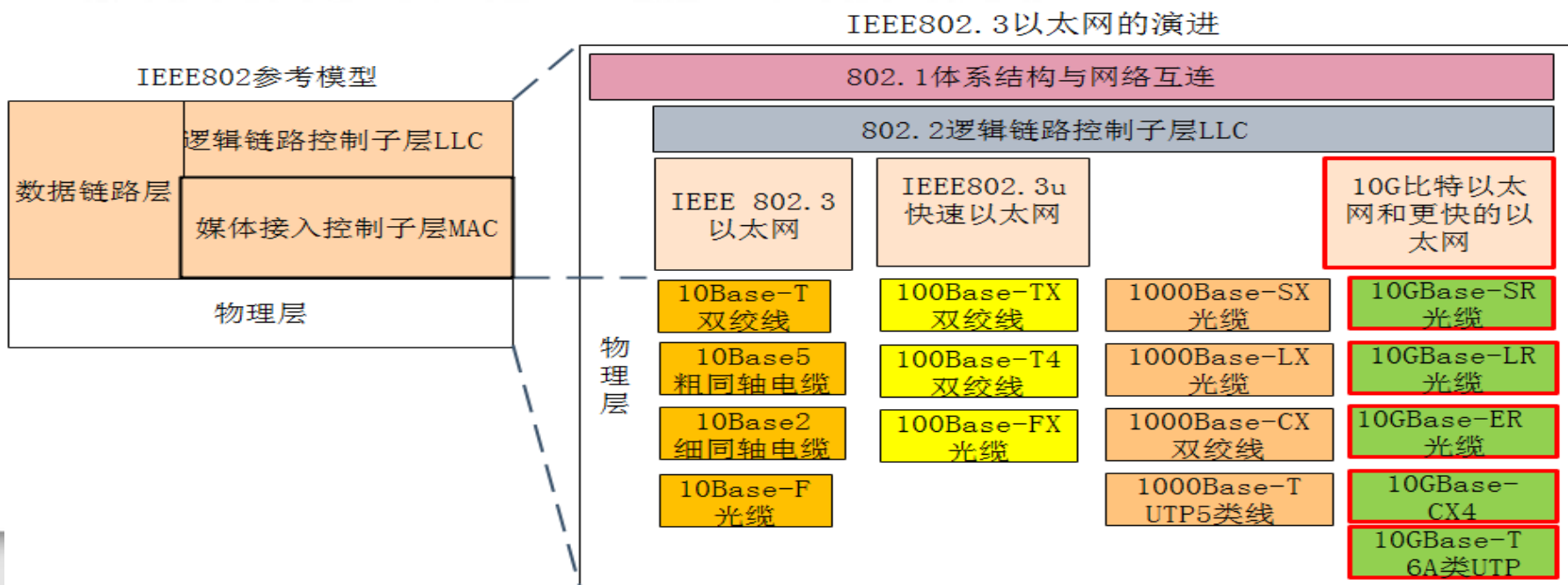
10 吉比特和100吉比特以太网

- 10 吉比特以太网与 10 Mb/s, 100 Mb/s 和 1 Gb/s 以太网的帧格式完全相同。
- 10 吉比特以太网还保留了 802.3 标准规定的以太网最小和最大帧长, 便于升级。
- 10 吉比特以太网只工作在全双工方式, 因此没有争用问题, 也不使用 CSMA/CD 协议。



10 G以太网的物理层标准

- 10GBASE-SR 光缆 (IEEE 802.3ae) 300 m, 多模光纤 (0.85 μm)
- 10GBASE-LR 光缆 (IEEE 802.3ae) 10 km, 单模光纤 (1.3 μm)
- 10GBASE-ER 光缆 (IEEE 802.3ae) 40 km, 单模光纤 (1.5 μm)
- 10GBASE-CX4 铜缆 (IEEE 802.3a) 15 m, 4 对双芯同轴电缆(twinax)
- 10GBASE-T 铜缆 (IEEE 802.3an) 100 m, 4 对 6A 类UTP 双绞线



端到端的以太网传输



- 10 吉比特以太网的出现，使以太网的工作范围从局域网（校园网、企业网）扩大到城域网和广域网，从而实现了端到端的以太网传输。
- 这种工作方式的好处是：
 - 经过实践证明的成熟的技术
 - 互操作性很好
 - 在广域网中使用以太网时价格便宜。
 - 统一的帧格式简化了操作和管理。



40GE/100GE



- 以太网技术发展很快，在10 吉比特以太网之后又制定了 40GE/100GE （即40吉比特以太网和100吉比特以太网） 的标准IEEE 802.3ba-2010和 802.3bm-2015。
- 40GE/100GE只工作在全双工方式（不使用CSMA/CD协议）。
- 保持了以太网的帧格式、最短帧长和最大帧长。
- 下表是40GE和100GE的物理层名称和传输距离。

物 理 层	40GB 以太网	100GB 以太网
在背板上传输至少超过1 m	40GBASE-KR4	
在铜缆上传输至少超过7 m	40GBASE-CR4	100GBASE-CR10
多模光纤上传输至少100 m	40GBASE-SR4	100GBASE-SR10,*100GBASE-SR4
单模光纤上传输至少10 km	40GBASE-LR4	100GBASE-LR4
单模光纤上传输至少40 km	* 40GBASE-ER4	100GBASE-ER4

小结

- 速率达到或超过 100 Mb/s 的以太网称为高速以太网。
- 从10Mbit/s的以太网到高速以太网，所有速率的以太网都保留了以太网的基本特征（帧结构、最短帧长、最长帧长）。在速率提升之后，只是在物理层制定了不同的标准，高层软件不需要做任何改动。
- 以太网从传统10 Mb/s以太网、100Mb/s快速以太网，1G比特以太网、10G比特以太网、40GE/100GE的演进证明了以太网是：
 - 可扩展的（从 10 Mb/s 到 100 Gb/s）。
 - 灵活的（多种物理层传输媒体、全/半双工、共享/交换）。
 - 易于安装，稳健性好。

