

A decorative graphic on the left side of the slide, consisting of overlapping yellow, red, and blue squares with a black crosshair.

高性能网络基础

- 郝卫东





高性能网络基础

- 有线网
 - 以太网技术
 - xDSL铜线通信技术
 - 光通信技术
- 短距离无线通信（WPAN）
 - ZigBee
 - Bluetooth
 - 超宽带（UWB）
 - 60 GHz通信
- 中长距离无线通信
 - 无线LAN通信
 - 无线 MAN通信
 - 移动通信网(WWAN)
- 组网案例
- 网络测量
- 服务质量优化



有线网

- 以太网技术
- xDSL铜线通信技术
- 光通信技术

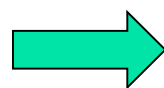
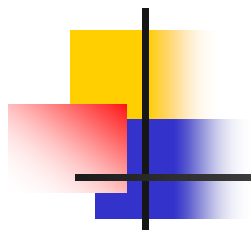


1.高性能网络基础

- 重点
 - 以太网技术及其演进



以太网技术



- 以太网的发展历程
- 目前的主流技术及应用
- 下一代以太网技术及未来发展



以太网技术的发展历程

- 1973 年Metcalfe（梅特卡夫） 博士在施乐实验室发明了以太网, 并开始进行以太网拓扑的研究工作。
- 1976 年施乐公司构建基于以太网的局域网, 并连接了超过100 台PC。
- 1980 年DEC、Intel 和施乐联手发布10Mbps 以太网标准提议。



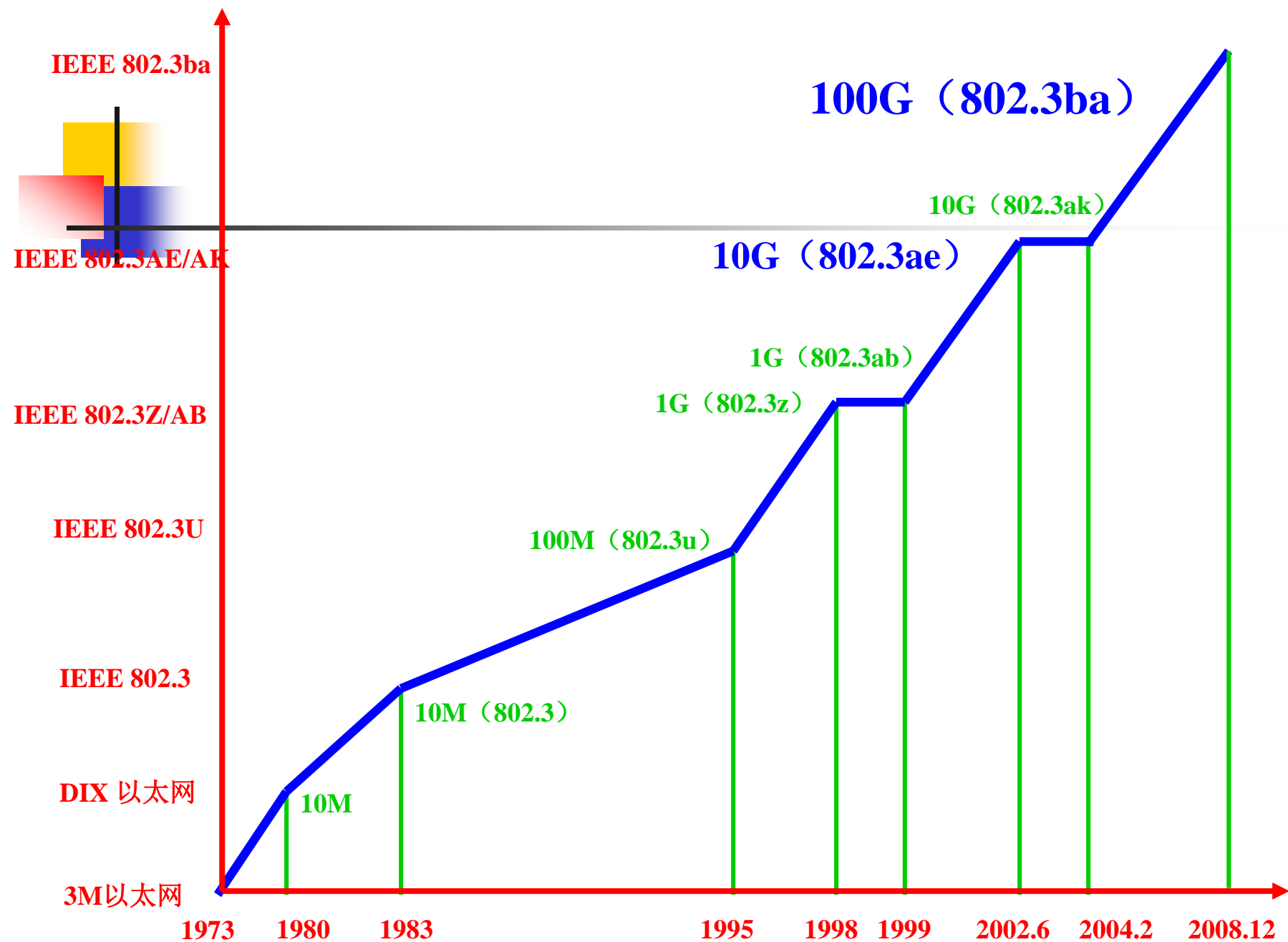
以太网技术的发展历程

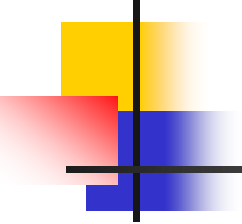
- 1983 年IEEE 802.3 工作组发布**10BASE-5**“粗缆”以太网标准, 这是最早的以太网标准。
- 1986 年IEEE 802.3 工作组发布**10BASE-2**“细缆”以太网标准。
- 1991 年IEEE 802.3 工作组发布**10BASE-T**“无屏蔽双绞线(UTP)”以太网标准。
- 1995 年IEEE 通过**802.3u** 100M以太网标准。



以太网技术的发展历程

- 1998 年IEEE 通过802.3z 1000M 以太网标准(基于光纤和对称屏蔽铜缆)
- 1999 年IEEE 通过802.3ab 1000M以太网标准(基于五类线)
- 2002 年IEEE 通过802.3ae 10G 以太网标准。
- 2010 年6月17日发布IEEE 802.3ba 40/100G 以太网标准。



- 
-
- 802.3z: 千兆以太网标准
 - 802.3ab: 802.3标准的1000BASE-T标准
 - 802.3ad: 链路聚合/捆绑
 - 802.3ae: 万兆以太网标准
 - 802.3ak: 基于铜线的万兆以太网
 - 802.3ba: 10万兆以太网标准



- 以太网的发展历程



- 目前的主流技术及应用

- 下一代以太网技术及发展



以太网技术

- 以太网技术是目前使用最广泛的网络技术。随着用户需求的不断增加，以太网也不断的更新升级。
- 从10Mbps的传统以太网，到100Mbps的快速以太网，到1000Mbps的千兆以太网，直到10Gbps的万兆以太网和100Gbps的十万兆以太网，以太网的发展不断超越人们的想象



以太网技术

- 目前，大部分局域网络均采用以太网，在大型网络系统中的各个子网也多数由以太网构成。从应用来看，办公室自动化、网上证券、校园网、控制系统等各类应用均采用它作为主要的通信传输方式，而且仍保持很猛的发展势头。
- 可以预见，将来的局域网仍将以以太网为主流技术。总之，以太网是目前网络技术中先进成熟、实时性强、应用广泛、性能稳定、价格低廉的通信技术。



以太网技术

- 标准以太网即10Mb/s以太网，使用很广泛，是早期中小型企事业单位组网的首选，
- 一般由网卡、同轴电缆组成。10Mb/s细缆以太网采用IEEE 802.3a标准。



以太网技术

- 快速以太网传输速度是标准以太网的10倍，可达到100Mb/s，一般用于中小型局域网。
- 快速以太网设备很多，一般都是10/100Mb/s自适应的，可以保证带宽的利用率。快速以太网能显著提高工作站和服务器的传输带宽，从而可以安全的增大网络上的负载。
- 小型快速以太网设备一般包括集线器、网卡、基于RJ45的连接线。
- IEEE于1995年5月正式通过了快速以太网100Base-T标准，即IEEE 802.3u标准。



以太网技术

- 千兆以太网技术采用了与100Mb/s以太网相同的帧结构、网络协议、全/半双工工作方式、流控模式及布线系统，可以与10Mb/s或100Mb/s的以太网很好地配合工作，能够最大程度利用以前的资源。
- 一般千兆以太网都作为局域网的骨干网，由集线器、**路由器**、**交换机**、传输介质组成。
- 千兆位以太网技术有两个标准：IEEE 802.3z和IEEE 802.3ab。
 - IEEE 802.3z制定了光纤和短程铜线连接方案的标准。
 - IEEE 802.3ab制定了**5类双绞线**上较长距离连接方案的标准。

交换机（二层交换机）



路由器（无线路由器）





以太网技术

- 关于千兆以太网的物理层，人们主要关心它可以支持的传输介质的种类。与百兆以太网类似，千兆以太网支持现有的双绞线和光缆等线缆设施，从而可以获得良好的性能价格比。
- 它可以用于楼层内、楼内和园区内的网络上，因为它可以支持多种传输介质和大范围的距离。具体而言，千兆以太网可以在下列四种介质上运行：
 - 单模光纤，最大连接距离至少可达5公里；
 - 多模光纤，最大连接距离至少可达550米；
 - 平衡的屏蔽铜缆，最大连接距离至少可达25米；
 - 五类非屏蔽双绞线（UTP），最大连接距离至少可达100米。

千兆以太网支持的传输介质

千兆以太网规范	传输介质类型	模式带宽 (MHz*km)	IEEE规定应 满足的最小 距离(米)
1000BASE-LX (802.3z)	62.5um多模光纤	500	550
	50um多模光纤	400	550
	50um多模光纤	500	550
	10um单模光纤	N/A	5000
1000BASE-SX (802.3z)	62.5um多模光纤	160	220
	62.5um多模光纤	200	275
	50um多模光纤	400	500
	50um多模光纤	500	550
1000BASE-CX (802.3z)	屏蔽铜缆	N/A	25
1000BASE-T (802.3ab)	5类非屏蔽双绞线	N/A	100



以太网技术

- 从表中可以看出，在光纤上传输千兆以太网有两个物理层标准：
 - 1000BASE-SX和
 - 1000BASE-LX
- 它们都由IEEE 802.3z工作小组制定。
- 1000BASE-SX通常采用多模光纤，它支持较短的传输距离，通常用做较短距离（如在楼宇水平方向布线）的多模光纤传输主干。
- 1000BASE-LX通常采用支持长传输距离的多模光纤和单模光纤，比如用做距离较长的建筑物之间的光纤主干或是范围较大的园区主干。



以太网技术

- 1000BASE-LX使用的收发器上配置了波长为1300nm的光纤激光传输器，它可以驱动多模光纤，也可以驱动单模光纤。
- 在1000BASE-SX使用的收发器上配置了波长为850nm的光纤激光传输器，它可以驱动多模光纤，但是不支持单模光纤。
- 在1000BASE-LX和1000BASE-SX千兆以太网中连接光缆与交换机端口的连接器可以是SC型光纤连接器，也可以是MT-RJ型光纤连接器。

根据端面研磨形态来分,有PC(Physical Contact, 端面为球面) 连接器及APC(Angled Physical Contact, 端面为倾斜的球面) 连接器



FC是Ferrule Connector, 表示金属箍连接器; SC是Square Connector, 表示方型连接器; ST有人把它叫作Stab & Twist, 表示插入后捻一下

简单说: FC是圆头螺旋 SC是方头插拔 ST是圆头卡口

ST



FC



SC



MT-RJ



www.hc360.com

MT-RJ





以太网技术

- 虽然表中显示千兆以太网支持的最大地理范围是5公里，但实际上，许多厂商实现的千兆以太网技术对光纤支持的物理距离远大于上述标准，
 - 对多模光纤已经可以支持十几公里的范围，
 - 而对单模光纤已经可以支持高达几十公里的距离。
 - 世界著名的网络设备提供商CISCO、AVAYA等公司推出的核心交换机上可以配备长距离GBIC（千兆接口连接器）千兆以太网模块，该模块可以提供长达70公里以上的光纤支持能力。



以太网技术

- 万兆以太网(10GE)技术始于2002年6月 IEEE 802.3ae标准（基于光纤）的正式发布。
- 万兆以太网标准的建立目的是扩展802.3协议到可操作的10Gbps速度，并扩展以太网应用到WAN链路。
- 这将提供巨大的带宽增加并维持最大兼容性，包括与已经建立的802.3接口，与以前在科研和开发上的投资，以及与原有的网络操作和管理原则的最大兼容性



以太网技术

- 以太网物理层（PHY, PHYsical layer）设备对应OSI模型的第一层，它连接介质（光纤或铜缆）到MAC层，后者对应OSI模型的第二层。
 - 在物理层，802.3ae目前支持9um单模光纤（SMF, single-mode fiber）、50um多模光纤（MMF, multi-mode fiber）和62.5um多模光纤三种光纤，
 - 而对电接口（铜缆接口）的支持规范10GBASE-CX4，在15米长的四对双轴铜线上达到万兆的传输速率。它采用802.3ak标准(2004年批准)，是不采用5类或6类电缆技术的铜缆以太网标准。



万兆以太网可以在双绞线上传输吗？

- 因为一直认为在双绞线上不可能实现这么高的传输速率，原因就是运行在这么高工作频率（至少为500MHz）基础上的损耗太大。
- 2006年，由IEEE 802.3an项目组负责的10GBASE-T被批准为正式的IEEE标准，实现了高品质双绞线传输10G以太网可达100米（革命性进步）
- 在双绞线上支持10G传输的距离是标准的核心，该标准最终制定的规范如下：
 - 6类能按不同规格，实现从55米到100米传输；
 - 7类和超6类能实现100米传输

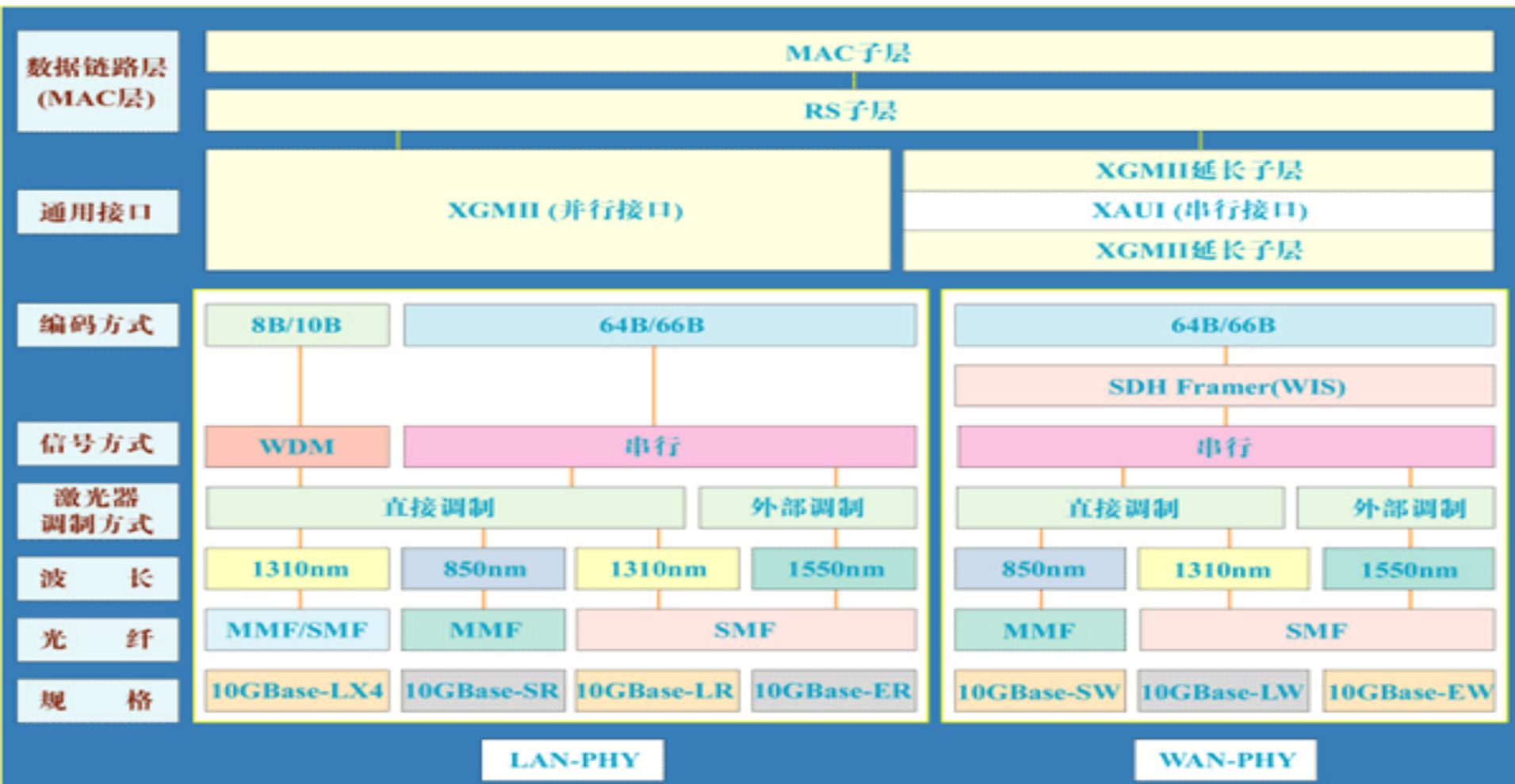


以太网技术

- 以太网物理层（PHY, PHYsical layer）设备对应OSI模型的第一层，它连接介质（光纤或铜缆）到MAC层，后者对应OSI模型的第二层。
 - 在MAC层，802.3ae继承了802.3以太网的帧格式和最大/最小帧长度，支持多层星型连接、点到点连接及其组合，充分兼容已有应用，不影响上层应用，进而降低了升级风险。

以太网技术

IEEE 802.3ae体系结构





以太网技术

- 如图所示，802.3ae规范定义了两种PHY类型：
 - 一种是兼容传统以太网的速率为10Gbps的“LAN PHY”（局域网物理层），
 - 另一种是连接SDH（Synchronous Digital Hierarchy, 同步数字系列）OC-192的速率为9.58464Gbps的“WAN PHY”（广域网物理层）。
 - 这两种物理层的共同点包括共用一个MAC层,仅支持全双工，省略了CSMA/CD（载波侦听多路访问/冲突检测）策略，采用光纤作为物理介质等。



以太网技术

- 10Gb/s局域以太网物理层的特点是支持802.3MAC全双工工作方式，允许以太网复用设备同时携带10路1Gb/s信号。帧格式与以太网的帧格式一致，工作速率为10Gb/s。10Gb/s局域网可用最小的代价升级现有的局域网，并与10/100/1000Mb/s兼容，使局域网的网络范围最大达到40km。
- 10Gb/s广域网物理层的特点是采用OC-192帧格式在线路上传输，传输速率为9.58464Gb/s，所以10Gb/s广域以太网MAC层必须有速率匹配功能。当物理介质采用单模光纤时，10Gb/s广域网传输距离可达200km；采用多模光纤时，可达40km。10Gb/s广域网物理层还可以选择多种编码方式。



以太网技术

- 从图中可见，这两种PHY分别可使用
 - 10GBase-S（850nm短波）、
 - 10GBase-L（1310nm长波）、
 - 10GBase-E（1550nm长波）三种规格，
- 相应的最大传输距离至少为300m、10km、40km。
- 其中LAN PHY还包括一种可以使用
 - WDM（wave division multiplexing，波分复用）技术的“10GBASE-LX4”规格。
- 这样，LAN PHY有四种物理层规格，而WAN PHY有三种物理层规格
- “SR”代表“短距离”（short range）
- “LR”代表“长距离”（Long Range）
- “ER”代表“超长距离”（Extended Range）



10GBase-LX4

- 10GBase-LX4采用波分复用技术，通过使用4路波长统一为1300 nm，工作在3.125Gb/s的分离光源来实现10Gb/s传输。
- 该规范在多模光纤中的有效传输距离为2~300m，在单模光纤下的有效传输距离最高可达10km。
- 它主要适用于需要在一个光纤模块中同时支持多模和单模光纤的环境。
- 因为10GBase-LX4规范采用了4路激光光源，所以在成本、光纤线径和电源成本方面较前面介绍的10GBase-LR规范有不足之处(稍贵)。



以太网技术

■ 应用场景分析

- 10GBASE-ER (40km) 或 1550 nm 串行光发送接收器可成功地部署在城域网应用和专用长途应用中。
- 10GBASE-LR (10km) 或1310 nm 串行 光发送接收器可被选作交换机到交换机之间或大厦链路之间的应用。
- 10GBASE-LX4 (10km) 或1310 nm 基于WDM(波分复用) 的光发送接收器, 可用于支持已经安装的多波光纤骨干网。
- 10GBASE-SR (300m) 或850 nm 串行光发送接收器能够满足数据中心和其它短距离应用的要求。



以太网技术

- 应用场景分析

- *WAN PHY与SONET OC-192帧结构的融合，可与OC-192电路、SONET/SDH设备一起运行，保护传统基础投资，使运营商能够在不同地区通过城域网提供端到端以太网。*



以太网技术

- 万兆以太网技术与百兆千兆以太网技术比较
 - 首先是万兆以太网不仅具有适用于单模光纤的长距离接口，而且进一步扩展了距离（40km以上）；
 - 其次是万兆以太网只在全双工模式下操作，这意味着不必使用冲突探测协议（如CSMA/CD）；
 - 最后是万兆以太网提供了可选择的PHY，可用于局域网PHY或广域网PHY



万兆以太网的应用

- 高校校园网
- 数据中心出口
- 城域网
- 存储组网
- 集群和网格计算\云计算
- 语音、视频、图像和数据合一的通信
- 金融交易
- 超级计算研究等



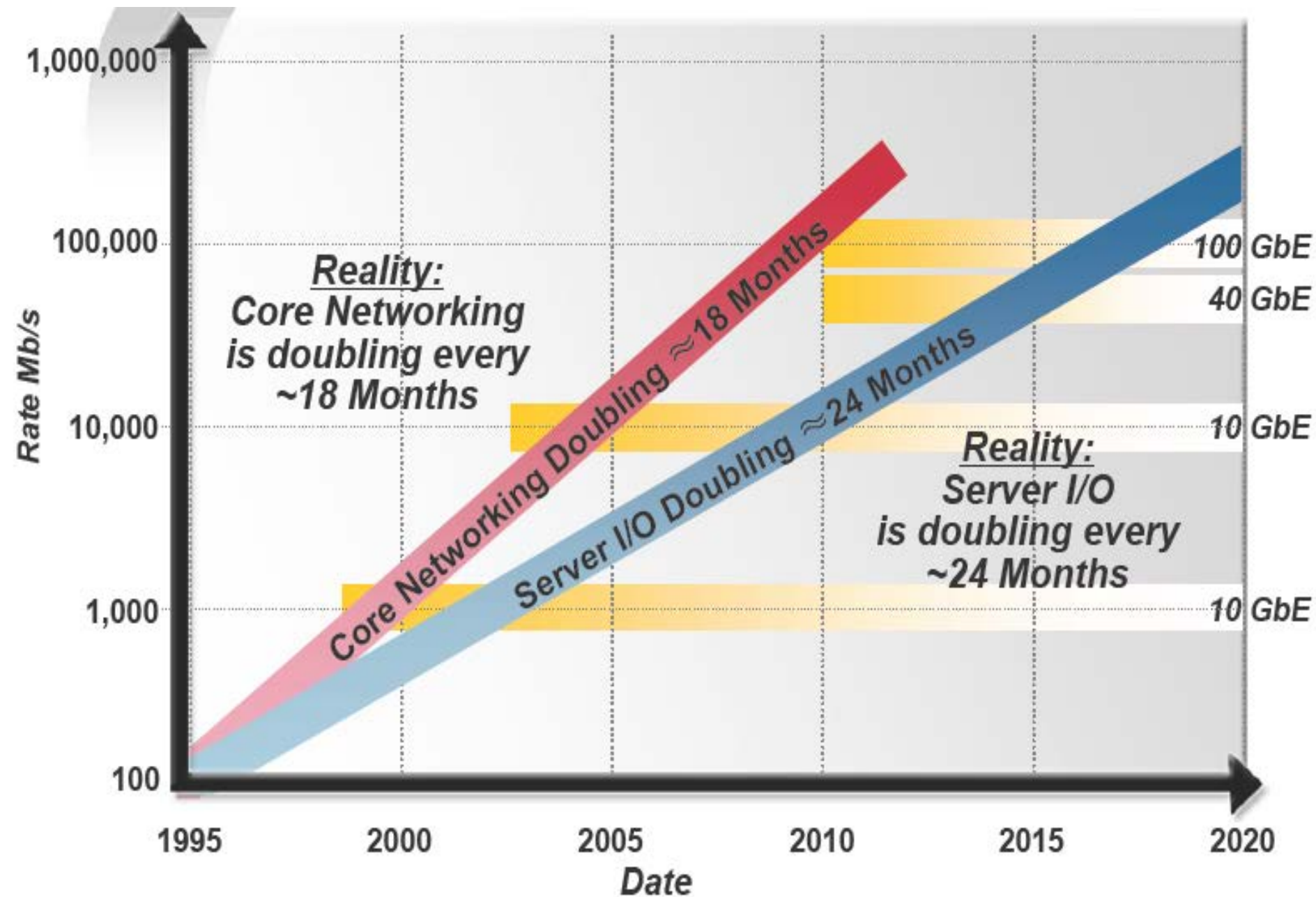
万兆以太网的发展情况

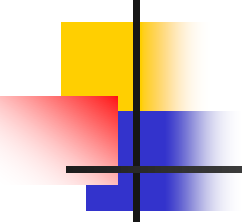
- 2002年推出标准
- 2004-2005年：市场大规模需求
- 2006年：技术进一步成熟
- 2008年：万兆以太网的应用规模和发展速度像以前百兆网和千兆网发展速度，链路捆绑技术越来越成熟，效果越来越好
- 2010年：可以实现千兆密度，万兆端口密度能达到千兆端口密度。



内容

- 以太网的发展历程
- 目前的主流技术及应用
- ➡ ■ 下一代以太网技术及发展



- 
- “由于不断增长的视频流量和更强大服务器架构的推动，计算机和网络应用程序对带宽的要求也随之增大，下一代以太网将会对40 Gbps和100 Gbps进行定义，以满足这些需求”
 - IEEE P802.3ba任务组主席兼Force10 Networks高级研究科学家John D'Ambrosia（安布罗希亚）说。



10万兆以太网

- 2006年7月，IEEE 802.3成立了高速链路研究组（Higher Speed Study Group，简称 HSSG）来定义标准的目标。
- 2007年12月，HSSG正式转变为IEEE 802.3ba任务组，其任务是制订在光纤和铜缆上实现100 Gbps和40 Gbps数据速率的标准。
- 2010年6月17日发布IEEE 802.3ba 40/100G以太网标准发布。



IEEE 802.3ba 目标

- 只支持全双工通信
- 仍维持802.3 /以太网MAC层的帧格式
- 保持目前802.3标准中的最低和最高帧长度
- 支持更好的不大于 10^{12} 的误码率
- 提供对光传输网络的适当支持
- 支持40 Gb / s的MAC数据传输速率
- 提供物理层的规格，支持40 Gb / s的操作
- 支持100 Gb / s的MAC数据传输率
- 提供物理层的规格来支持100 Gb / s的操作



40G和100G打擂台

- 2007年上半年，100G以太网标准面临危机.
- 40G和100G打擂台,支持40G以太网标准的成员声称，40Gbps的传输速度是简单而必要的，并且具有广阔的市场潜力；反对一方则表示，没有必要在100G以太网道路上停顿下来.
- HSSG小组也将面临解散的危机



40G和100G打擂台

- 2007年7月，IEEE确定开发一项包括40G和100G以太网的标准802.3ba，尘埃落定，下一代以太网标准包容40G。
- 2007年7月23日——以太网联盟宣布IEEE802.3高速网络工作组（HSSG）就下一代以太网速率标准提出了新建议。
- 新标准将支持40Gbps速率下10公里单模光纤传输、100米多模光纤传输、10米铜线传输和1米背板传输。
- 在100Gbps领域，新标准将支持10公里、40公里单模光纤传输、100米多模光纤传输、10米铜线传输。
- 40Gbps主要面向服务器，而100Gbps则面向网络汇聚和骨干。

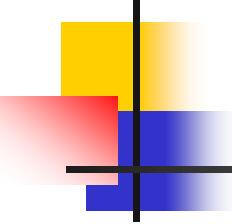
40G/100G以太网支持广域网吗？支持100m非屏蔽双绞线吗？

Name	Description
40GBASE-KR4	40 Gb/s PHY 1米背板 E-R encoding over four lanes of an electrical backplane, with reach up to at least 1 m (see Clause 84)
40GBASE-CR4	40 Gb/s PHY 10米铜线 E-R encoding over four lanes of shielded balanced copper, with reach up to at least 7 m (see Clause 85)
40GBASE-SR4	40 Gb/s PHY 100米多模光纤 E-R encoding over four lanes of multimode fiber, with reach up to at least 100 m (see Clause 86)
40GBASE-LR4	40 Gb/s PHY 10km单模光纤 E-R encoding over four WDM lanes on single-mode fiber, with reach up to at least 10 km (see Clause 87)
100GBASE-CR10	100 Gb/s PHY 10米铜线 E-R encoding over ten lanes of shielded balanced copper, with reach up to at least 7 m (see Clause 85)
100GBASE-SR10	100 Gb/s PHY 100米多模光纤 E-R encoding over ten lanes of multimode fiber, with reach up to at least 100 m (see Clause 86)
100GBASE-LR4	100 Gb/s PHY 10km单模光纤 E-R encoding over four WDM lanes on single-mode fiber, with reach up to at least 10 km (see Clause 88)
100GBASE-ER4	100 Gb/s PHY 40km单模光纤 E-R encoding over four WDM lanes on single-mode fiber, with reach up to at least 40 km (see Clause 88)



设备

- 2009年年底，40G和100G以太网设备出货。
- 思科发布的Nexus 7000数据中心交换机；Extreme发布了BlackDiamond 20808城域以太网传输交换机；迈普推出MyPower S8900系列十万兆高端电信级以太网交换机；H3C的数据中心级核心交换机S12500

- 
- Cisco Nexus 7000系列(10插槽, 18插槽)
 - 32端口10Gb以太网模块, 80Gb交换矩阵



10Gb以太网模块的可插拔光模块

SFP+ 产品ID	收发器类型	波长	最长距离和电缆类型
SFP-10GB-SR	10GBASE-SR	850 nm 串行	<ul style="list-style-type: none">•26米, 62.5-micron FDDI级多模光纤•33米, 62.5-micron 200 MHz x公里多模光纤•66米, 50-micron 400 MHz x公里多模光纤•82米, 50-micron 500 MHz x公里多模光纤•300米, 50-micron 2000 MHz x公里多模光纤
SFP-10GB-LR	10GBASE-LR	1310 nm SMF	<ul style="list-style-type: none">•10,000米, 单模光纤



SFP和GBIC

- **GBIC**(Gigabit Interface Converter的缩写), 是将千兆位电信号转换为光信号的接口器件。
- GBIC设计上可以为热插拔使用。
- GBIC是一种符合国际标准的可互换产品。采用GBIC接口设计的千兆位交换机由于互换灵活, 在市场上占有较大的市场份额。
- **SFP** (Small Form-factor Pluggable) 可以简单的理解为GBIC的升级版本

SFP模块

SFP 850nm



<http://www.f-tone.com>

SFP_850NM

SFP 1310nm



<http://www.f-tone.com>

SFP_1310NM

SFP 1550nm



CWDM SFP



SFP模块（体积比GBIC模块减少一半，可以在相同面板上配置多出一倍以上的端口数量。由于SFP模块在功能上与GBIC基本一致，也被有些交换机厂商称为小型化GBIC（Mini-GBIC）

SFP

- SFP一头联接网络设备如交换机、路由器等设备的主板，一头连接光纤（LC或SC接头）或UTP线缆（RJ-45接头）。
- 以前是LC接头光纤跳线或RJ45接头的双绞线直接插入交换机端口，现在是经过一个SFP光模块再插入交换机端口。





SFP

- SFP支持
 - SONET（属于广域网）、
 - Gigabit Ethernet（属于局域网）、
 - 光纤通道（Fiber Channel）（属于存域网）
 - 以及一些其他通信标准。
- 此标准扩展到了SFP+，能支持10.0 Gbit/s传输速率，
 - 包括8 gigabit光纤通道（属于存域网）
 - 和10GbE（可以是局域网，也可以是广域网）

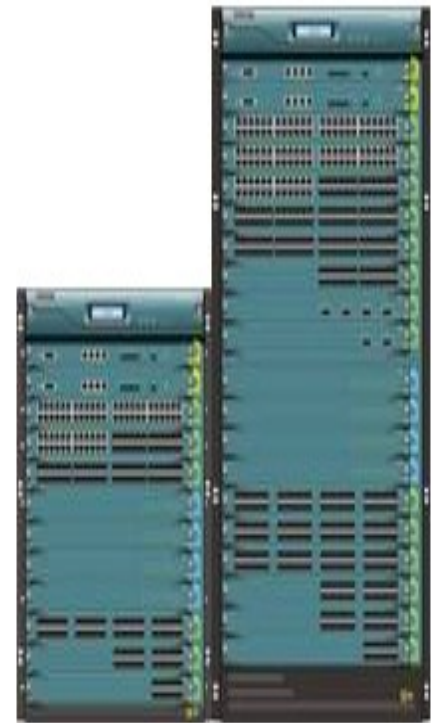
MyPower S8900

- 中国自主产权高性能电信级交换机
- 先进的100Gbps交换平台，
- 单槽位400Gbps设计
- 8槽、12槽、20槽三种机框



MyPower S11800系列数据中心级核心交换机

- 该交换机整机提供448个10G接口接入、或者112个40G，或28个100G接口的高密度高速端口的部署能力
- 提供6槽、14槽两款产品





未来

- 100G以太网到来之后的猜想：下一代以太网，具有惊人的可能性。10G、40G、100G长期共存，100G在2010年在骨干网络有所应用，其大规模应用在2013年以后，从而形成10G、40G、100G业务长期共存的局面



2.5Gb/s和5Gb/s以太网

- 根据国外媒体报道，IEEE和IEEE标准协会2016年已经公布了IEEE 802.3bz-2016“以太网修订标准：2.5Gb/s和5Gb/s操作的介质访问控制参数、物理层和管理参数。”
- 该规范支持Cat5e/Cat6双绞线铜缆上的以太网传输速率；但是通过光纤传输的规格不包括在该标准中。

25G、50G以太网

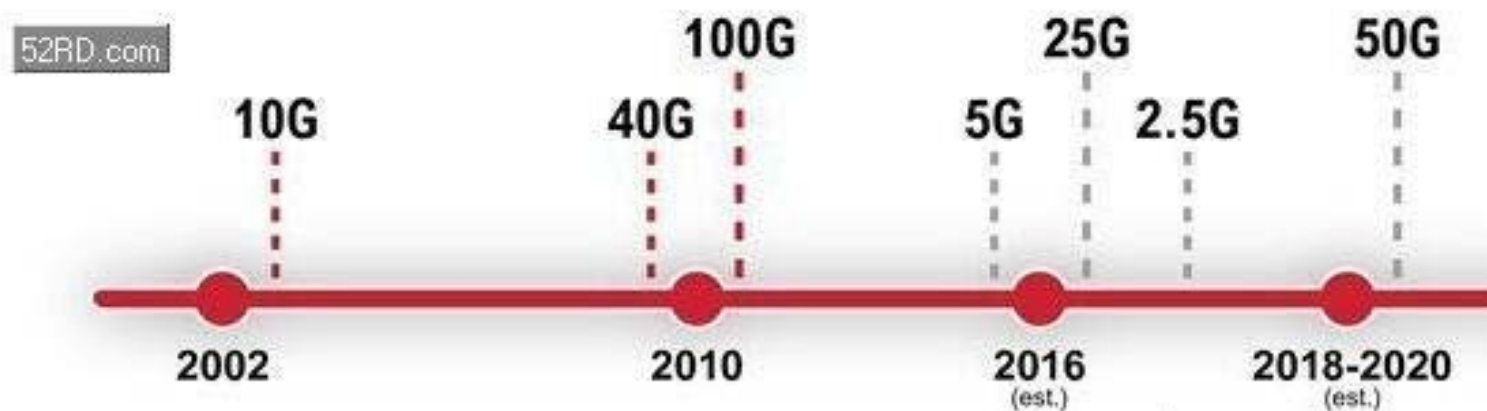


图1：以太网标准的发展规划



200G以太网

- IEEE批准25G/50G/200G以太网标准倡议
(2016年)



白盒级交换机

- 400GbE数据中心交换机几乎所有的早期出货量都是白盒级交换机推动的。
- Crehan说：“我们预计，与其他以太网速度相似，随着更广泛的客户群开始部署400GbE交换机，白盒级数据中心交换机出货量所占的份额会下降。”



郑敏先说：

Crehan 对未来的预期有逻辑问题。

400普及的时候，

Facebook, Amazon, Google 又先上800G白盒啦。

800G普及的时候，又先上1.6T白盒.....

整体来看，白盒不会降



未来以太网的发展

- 高密度，低能耗
- 节能
- 网络虚拟化
- 多领域的应用（通信、供电、照明）



有线网

- 以太网技术
- xDSL铜线通信技术
- 光通信技术



铜缆通信（破题）

- 铜缆在局域网的存在感较强
 - 即基于网线的以太网。
 - 即电口以太网，RJ-45以太网，双绞线以太网（三个术语基本指的一个东西）。
- 铜缆在广域骨干网领域存在感很弱。
 - 即PDH(准同步数字序列)
- 铜缆在广域接入网部分
 - 主要是ADSL（电话线接入，RJ11），存在感也在降低。



xDSL铜线通信技术

- xDSL是DSL(Digital Subscriber Line)的统称，即数字用户线路，是以铜电话线为传输介质的点对点传输技术。
- DSL技术在传统的电话网络(POTS)的用户环路上支持对称和非对称传输模式，在现有的铜质电话线路上采用较高的频率及相应调制技术来获得高传输速率(理论值可达到52Mbps)。



xDSL的分类

- 对称DSL:

- HDSL(High-bit-rate DSL, 高比特率DSL), 现有的铜双绞线以全双工T1或E1方式传输;
- SDSL(Single-line DSL), HDSL单线版;
- IDSL(ISDN Digital Subscriber Line), ISDN数字用户线。



非对称DSL

- **ADSL**(Asymmetric DSL, 非对称DSL), ADSL为网络提供速率从32Kbps到**8.192Mbps**的**下行**流量和从32Kbps到**2.088Mbps**的**上行**流量, 同时在同一根线上可以仿真提供语音电话服务;
- **RADSL**(Rate Adaptive DSL, 速率自适应DSL), 这种技术允许服务提供者调整xDSL连接的带宽以适应实际需要并且解决线长和质量问题;



非对称DSL

- **VDSL**(Very High Data Rate DSL,甚高速数字用户线) 在用户回路长度小于5000英尺(1524米)的情况下, 可以提供的速率高达13Mbps甚至还可能更高, 这种技术可作为光纤到路边网络结构的一部分。
- **VDSL**就是ADSL的快速版本。使用VDSL, 短距离内的最大下载速率可达55Mbps, 上传速率可达19.2Mbps, 甚至更高



ADSL

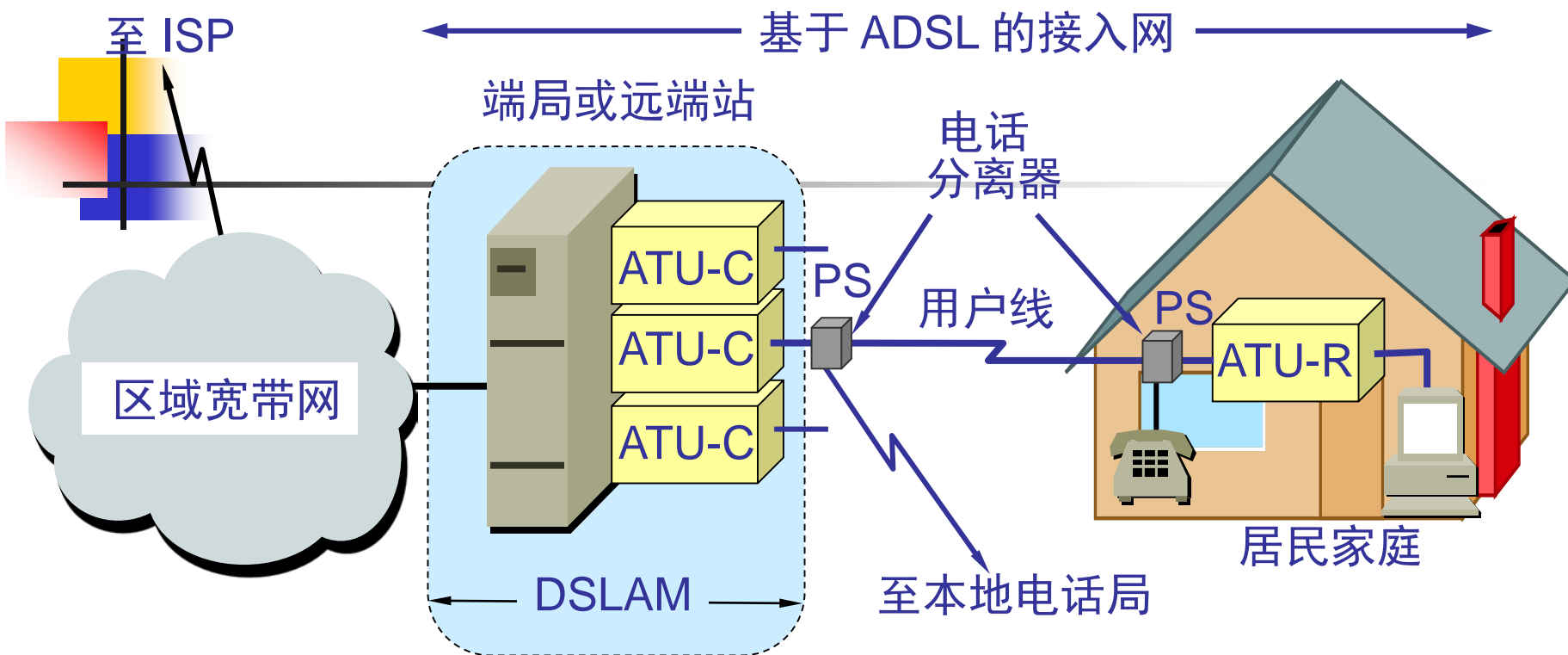
- ADSL是DSL（数字用户环路）家族中最常用，最成熟的技术，它是Asymmetrical Digital Subscriber Loop(非对称数字用户环路)的英文缩写。
- ADSL是运行在原有普通电话线上的一种新的高速宽带技术。所谓非对称主要体现在上行速率（最高2Mbps）和下行速率（最高8Mbps）的非对称性上。
- 目前各个电信局开通的ADSL速率有所不同。
 - 比如，北京电信能提供的ADSL速率是上行速率（从用户到电信局）最高640kbps，下行速率（从电信局到用户）最高4Mbps（4M以上介质改为光纤）。
 - 申请ADSL时的速率是指最高下行速率。



ADSL接入方式

- ADSL接入INTERNET有虚拟拨号和专线接入两种方式。
 - 虚拟拨号方式的用户采用类似MODEM和ISDN的拨号程序，在使用习惯上与原来的方式没什么不同。
 - 采用专线接入的用户只要开机即可接入INTERNET。

ADSL 的组成



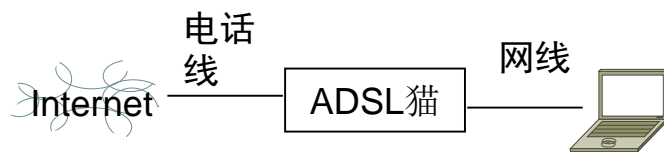
数字用户线接入复用器 DSLAM (DSL Access Multiplexer)
接入端接单元 ATU (Access Termination Unit)
ATU-C (C 代表端局 Central Office) 即ADSL modem pool
ATU-R (R 代表远端 Remote) 即ADSL modem
电话分离器 PS (POTS Splitter)



ADSL组网图

- 家里的ADSL如何接入Internet?

DSL接入



- 上图的重点接入设备是ADSL modem

有关上图（ADSL接入Internet），正确的是：

- ☒ A 其用户设备是电脑、电话等。
- ☒ B 其接入网络设备是ADSL猫（ADSL modem）
- ☒ C ADSL猫到电脑之间用RJ-45网线连接
- ☒ D ADSL猫到Internet(电信局) 之间用RJ-11电话线连接

提交

人：谢希仁



ADSL 2+

- 2002年7月，ITU公布了ADSL的两个新标准(G.992.3和G.992.4)，即ADSL2。
- 2003年3月，在第一代ADSL标准的基础上，ITU制定了G.992.5，也就是ADSL2plus(ADSL2+)。
- 在下行方面，ADSL2+在5000英尺(1524米)的距离上达到了24Mbps的速率，是ADSL下行8Mbps的3倍。
- 并且ADSL2+和ADSL2也保证了向下兼容。



ADSL 2+

- 在存在窄带干扰的情况下，ADSL2可以提高速率，在长距离上达到比ADSL更优的性能。
- ADSL2+解决方案传输距离可达**6KM**，完全能满足宽带智能化小区的需要，突破了以前ADSL技术接入距离只有**3.5KM**的缺陷，可覆盖**90%**以上现有的用户。
- 此外，ADSL2+系统采用频分复用技术，打电话、传真和上网同时进行，不会互相干扰。
ADSL2+可以用来减少串话（信号串扰）
- 用户不需要拨号上网，开机即在线，非常方便



有线网

- 以太网技术
- xDSL铜线通信技术
- 光通信技术



光通信技术

- 光缆
- 光通信的优点
- SONET/SDH
- WDM
- PON



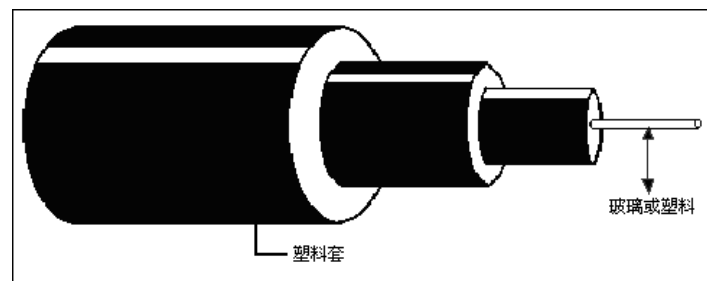
光纤通信（破题）

- 对光纤在局域网的应用，
 - 我们已经说了，那就是基于光纤的以太网，比如千兆，或万兆以太网。
 - 存在感很强
- 但对于光纤在广域网，骨干网的应用不太清楚。
 - 主要是SDH,WDM等
 - 存在感很强
- 即使是广域网，我们也是介绍广域网的接入网，
 - 即PON技术。
 - 存在感很强

光缆

■ 光缆：

- 通信领域的重大进展是光缆的广泛应用
- 结构主要有以下三层：
- 内层是光纤，主要由非常透明的石英玻璃或塑料拉成的双层细丝组成，光纤非常细，纤芯和包层加在一起的直径也不到0.2mm
- 中间层有加强芯和填充物，必要时还加上远程供电线
- 光缆的外部加上包带层和外护套





光纤的优点和缺点

- 光纤的优点很多，主要有以下几个方面：
 - 传输距离远，通信容量大；
 - 采用光传输，抗雷电和电磁干扰能力强，所以传输的准确率较高；
 - 不受空气中腐蚀性化学物质的侵蚀，能适应恶劣的工作环境；
 - 无串音干扰，保密性好，数据不易被窃听；
 - 与铜线制造的电缆相比，光纤重量轻而且很细，在电缆管道直径固定的情况下，光缆比普通电缆占据的空间小而且无须昂贵的机械支撑系统。
- 光缆的缺点是难于拼接，光电接口性能有待加强而且价格昂贵。



光纤通信原理和分类

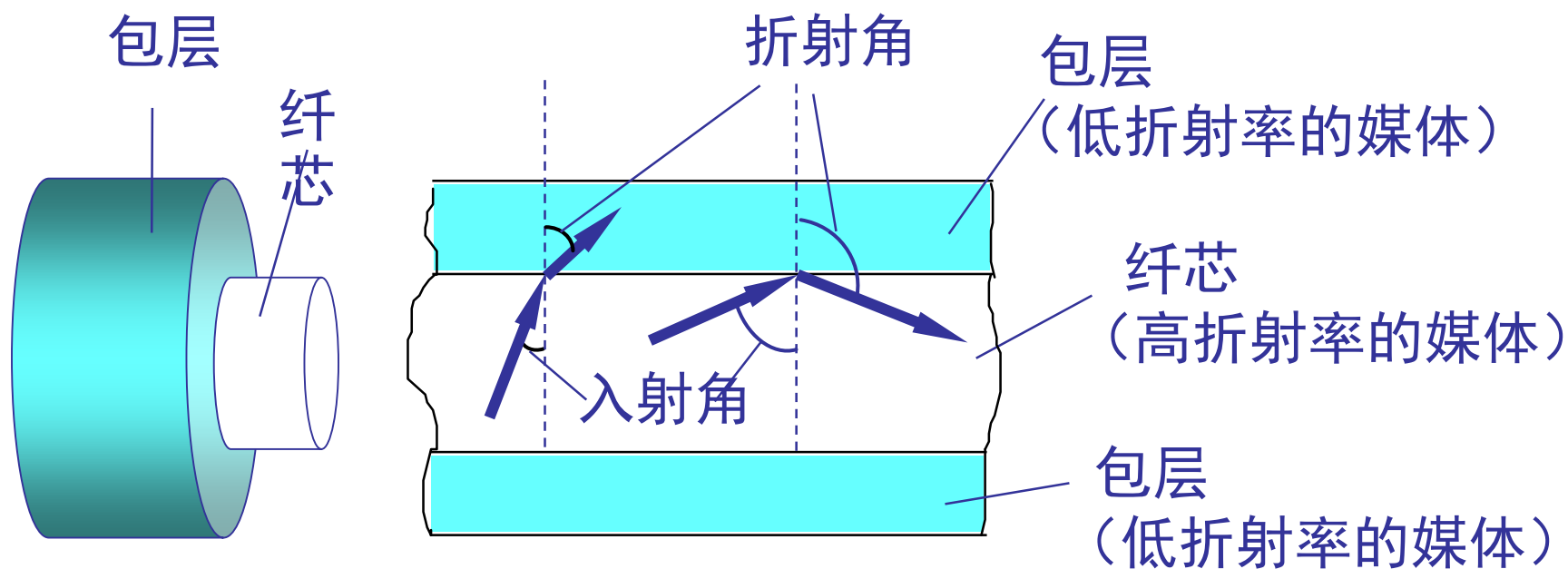
- 光纤通信原理

- 光的**全反射**（入射角小于折射角时光的传输无折射，无损耗）
- 当光纤的纤芯直径较大时，会使更多的具有不同入射角的光束进入光纤。这种由入射角决定的光束的传输方式被称为模式

- 随着纤芯直径的增大，传播模式的数量也随之增加，这种光纤被称为多模光纤

- 在多模光纤中，很多光束传播到终点时由于相位的不同会引起相互间的严重干扰。
- 而单模光纤由于只有一种模式，传输光束时就不会受到来自其它模式的干扰。

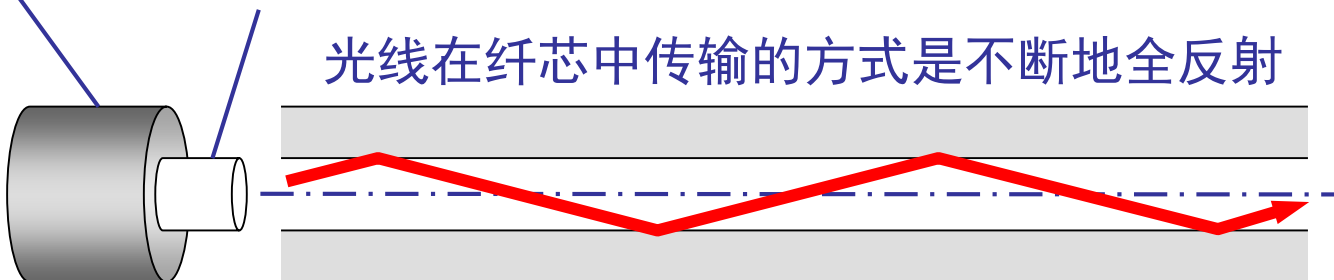
光线在光纤中的折射



光纤的工作原理

低折射率
(包层)

高折射率
(纤芯)

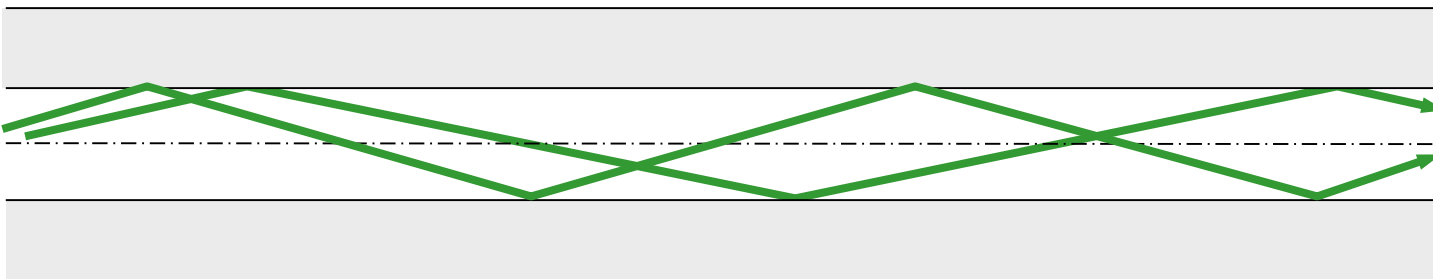
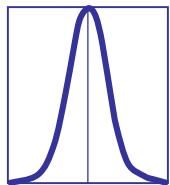


光线在纤芯中传输的方式是不断地全反射

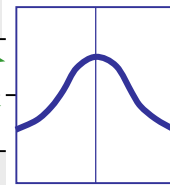
多模光纤与单模光纤

多模光纤

输入脉冲

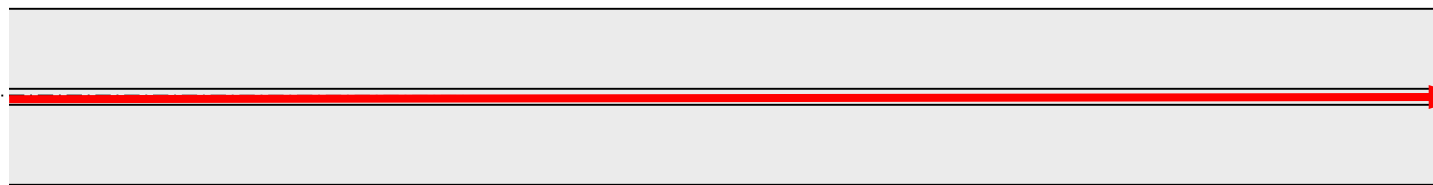
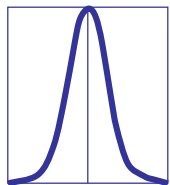


输出脉冲

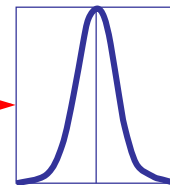


单模光纤

输入脉冲



输出脉冲





单模光纤vs多模光纤

- 单模光纤

- 纤芯直径: 9um
- 包层直径: 125um
- 传输带宽: 50GHZ
- 光波长: 1550nm (1.55um)

- 多模光纤

- 纤芯直径: 62.5um/50um
- 包层直径: 125um
- 传输带宽: 10GHZ
- 光波长: 850nm/1300nm



有关光纤，正确的是：

- ☒ A 单模光纤的直径减小到大约只有一个光的波长
- ☒ B 多模光纤可以存在多条不同角度入射的光线在一条光纤中传输
- ☒ C 单模光纤比多模光纤带宽高，所以数据速率也高。
- ☐ D 多模光纤比单模光纤带宽高，所以数据速率也高。



同步光网络SONET

- 1985年，贝尔通信研究中心提出**SONET**（Synchronous Optical NETwork），并成为美国国家标准。
 - SONET是使用电路交换同步多路复用技术传输高速信号的多层协议
 - 它是WAN能使用的唯一一个高速光纤系统标准
 - 它能承载IP、ATM等各种业务
 - ITU-T采纳它为国际标准，并称之为同步数字系列**SDH**（Synchronous Digital Hierarchy）



SDH (Synchronous Digital Hierarchy)

- 1989年,国际电报电话咨询委员会CCITT接受SONET概念制定了SDH(Synchronous Digital Hierarchy,同步数字系列)标准,
- 使之成为不仅适于光纤也适于微波和卫星传输的通用技术体制,与SONET有细微差别,
- SONET多用于北美和日本,SDH多用于中国和欧洲
- SDH/SONET定义了一组在光纤上传输光信号的速率和格式,通常统称为光同步数字传输网,是宽带综合数字网B-ISDN的基础之一.



SONET速率标准

光载波表示	同步传输信号	与SDH对应	线路速率(Mbps)
OC-1	STS-1	-	51.84
OC-3	STS-3	STM-1	155.52
OC-12	STS-12	STM-4	622.08
OC-48	STS-48	STM-16	2488.32
OC-192	STS-192	STM-64	9953.28



SONET/SDH 名称和带宽

光载波级别	帧格式	SDH 级别	帧格式	线路速率
OC-1	STS-1	-	-	51.840 Mbit/s
OC-3	STS-3	SDH-1	STM-1	155.520 Mbit/s
OC-9	STS-9	-	-	466.560 Mbit/s
OC-12	STS-12	SDH-4	STM-4	622.080 Mbit/s
OC-18	STS-18	-	-	933.120 Mbit/s
OC-24	STS-24	SDH-8	STM-8	1.244 160 Gbit/s
OC-36	STS-36	SDH-12	STM-12	1.866 240 Gbit/s
OC-48	STS-48	SDH-16	STM-16	2.488 320 Gbit/s
OC-96	STS-96	SDH-32	STM-32	4.976 640 Gbit/s
OC-192	STS-192	SDH-64	STM-64	9.953 280 Gbit/s
OC-256	STS-256	-	-	13.271 040 Gbit/s
OC-384	STS-384	-	STM-128	19.906 560 Gbit/s
OC-768	STS-768	-	STM-256	39.813 120 Gbit/s
OC-1536	STS-1536	-	STM-512	79.626 240 Gbit/s
OC-3072	STS-3072	-	STM-1024	159.252 480 Gbit/s



SDH/SONET与PDH的比较?

- SDH/SONET采用TDM技术,是同步系统,由主时钟控制,精度 10^{-9} .两者都用于骨干网传输.是对沿袭应用的准同步数字系列PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)的一次革命.
- PDH速率小于565Mbps,具体速率等级如下:
PDH复接等级(中国\欧洲):
基 群: 2.048Mb/s 含30路数字电话
二次群: 8.448Mb/s 含4个基群
三次群: 32.368Mb/s 含4个二次群
四次群: 139.264Mb/s 含4个三次群
- PDH基群是同步的.其它速率等级是异步的.



WDM

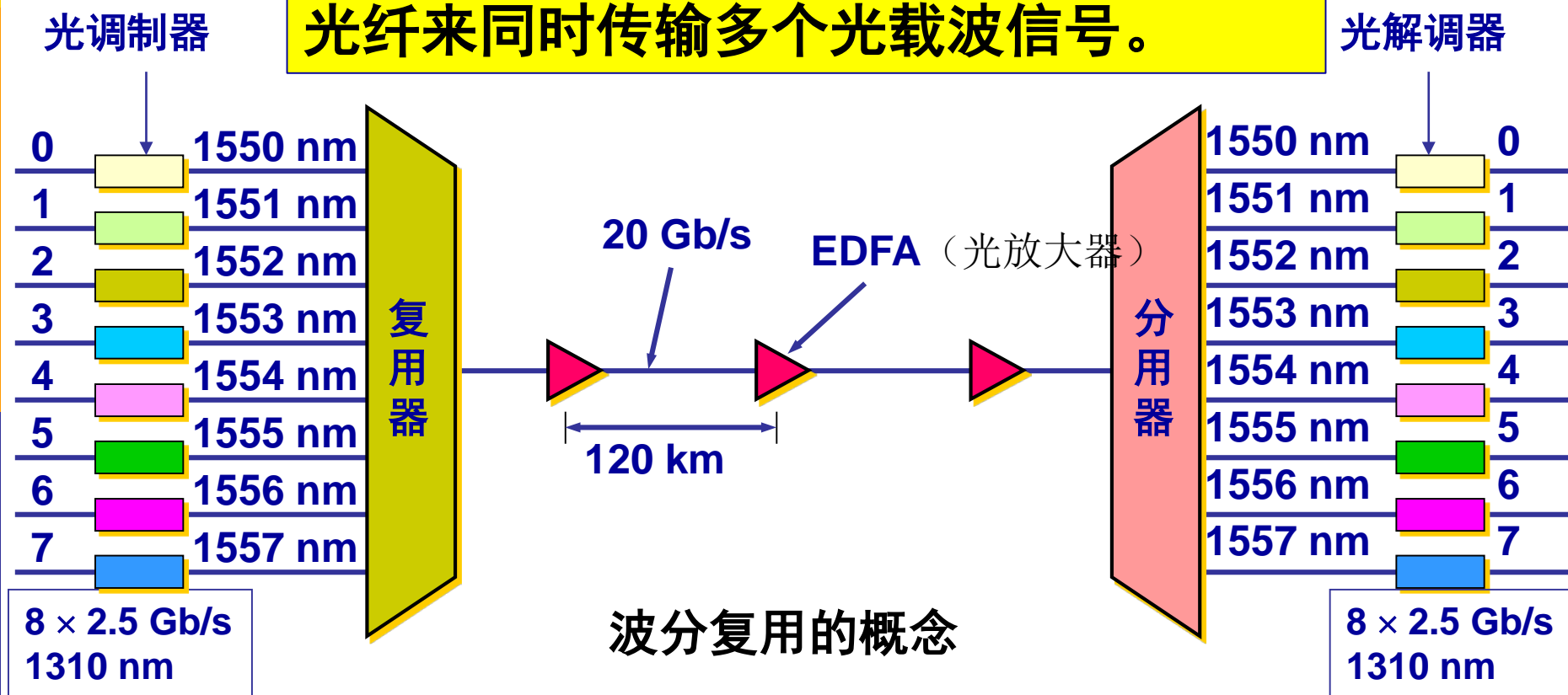
- 波分复用(WDM)是将两种或多种不同波长的光载波信号(携带各种信息)在发送端经复用器(亦称合波器, Multiplexer)汇合在一起, 并耦合到光线路的同一根光纤中进行传输的技术;
- 在接收端, 经解复用器(亦称分波器或称去复用器, Demultiplexer)将各种波长的光载波分离, 然后由光接收机作进一步处理以恢复原信号。
- 这种在同一根光纤中同时传输两个或众多不同波长光信号的技术,称为波分复用。



波分复用 WDM

(Wavelength Division Multiplexing)

波分复用就是光的频分复用。使用一根光纤来同时传输多个光载波信号。





WDM

- WDM本质上是光域上的频分复用FDM技术。每个波长通路通过频域的分割实现，每个波长通路占用一段光纤的带宽。
- WDM系统采用的波长都是不同的，也就是特定标准波长，为了区别于SDH系统普通波长，有时又称WDM为彩色光接口，而称普通光系统的SDH光接口为"白色光口"或"白光口"。



SDH、WDM复用的比较

- SDH是时分复用， WDM是波分复用。
- SDH是一根光纤上的一种波长， WDM是一根光纤上的多种不同的波长。



SDH、WDM复用的比较

- SDH的复用、解复用是电信号（不同分插速率的电信号复用到一个波长的光波上）的。WDM的复用与解复用是光信号。
- 也有这样的情况：多个不同波长的光波，每路光波承载各自的SDH信号，然后再通过WDM技术复用到同一根光纤中传输。
- 也就是先时分复用，然后再波分复用



WDM

- 通信系统的设计不同，每个波长之间的间隔宽度也有不同。按照通道间隔的不同，WDM可以细分为CWDM(稀疏波分复用)和DWDM(密集波分复用)。
 - CWDM的信道间隔为20nm(16个波长)，
 - 而DWDM的信道间隔从0.2nm 到1.2nm（80波到176波）
- 所以相对于DWDM，CWDM称为稀疏波分复用技术。



WDM

- WDM系统使用不同的波长(在1550nm附近)，可以承载多个通路的信息，每条通路速率可以高达2.5Gbps或10Gbps。
 - 第一代WDM系统支持4到16个波长，每个波长通路的速率为2.5Gbps；
 - 第二代WDM系统现在能支持32到40个波长，预计能达到100个波长；
 - 2006年已有能支持1Tbps容量(100个10Gbps通路)的WDM实验系统在进行演示



WDM

- 2006年DWDM实验室水平为:
 - $100 \times 10\text{Gb/s}$ (100波,每波10Gb/s),中继距离400km;
 - $30 \times 40\text{Gb/s}$ (30波,每波40Gb/s),中继距离85km;
 - $64 \times 5\text{Gb/s}$ (64波,每波5Gb/s),中继距离720km。
- 商用水平为320Gb/s, 即一对光纤可传送400万话路, 相当于0.05秒内能传完30卷大英百科全书
- 商用系统的传输能力仅是单根光纤可能传输容量(数十Tb/s)的1/100



WDM

- 2013年DWDM水平：
 - 80波*100Gb/s, 即8Tb/s
 - 176波*100Gb/s, 即17.6Tb/s
 - 100Gb/s的单板400万RMB一块
- 2014-09-25从武汉邮科院获悉, 其牵头实施的国家科研项目通过验收, 宣告我国单根光纤的光传输容量成功突破100Tb大关, 该项目在实验室内, 顺利实现在超长距离、超高速的基础上, 将单根光纤的传输容量提高到100.23Tb/s, 跨入全球顶尖水平行列。



互联网8年后将崩溃？

- 2015年05月，科学家警告到，互联网面临“容量紧张”，无法满足人们对速度的需求。
- 科学达到了极限，光纤无法传输更多数据。
- 伯明翰阿斯顿大学的安德鲁·埃利斯（Andrew Ellis）教授在5月11日共同组织皇家学会的会议。
- 他表示，速度达到极限的结果是，电信公司将提高网费或限制网速，“我们在实验室开始达到一个极限，单根光纤无法传输更多数据。密度如同你面对太阳所接受的光一样。”



光纤容量达到极限？

- 他称：“技术应用到市场上一般在实验室开发成功后的6-8年，因此8年内（2023年）会达到极限，我们无法传输更多数据。但需求日益增长，满足网速需求越来越困难。多年来我们在提高网速上做得很好，但我们将达到一个极限。除非我们能提出颠覆性的理论，否则我们将看到成本大幅增长。”



增加网费或不再提高网速？

- 他预计，按照这个速度发展，到2035年互联网将耗费英国所有电力供应——无法满足需求。
- 埃利斯教授认为，8年内我们将达到网速的极限。互联网公司可能会一直铺设更多光缆，但这意味着费用会提高。他表示：“如果你铺设第二条线，成本就提高了一倍。业务模式将完全不同，我认为需要与英国公众对话，看他们是否愿意接受这种业务模式换取更多容量。我们准备付更高费用？还是不再提高网速？”



耗费英国所有电力供应？

- 该教授警告到，传输数据需要耗费大量电力，互联网每次提高速度，消耗的电力也会上升。埃利斯教授称：“这是很大的问题，如果我们维护很多条光纤，我们将在15年里耗光能源（15+8）（2038年）。”



反方意见

- 然而，并非每个人都认为局势真有这么严重。英国电信的光纤研究主管、埃塞克斯大学客座教授安德鲁·罗德（Andrew Lord）表示，在大型服务器场存储信息而不是传输信息，会减轻网络流量的压力。他称：“互联网不会崩溃，还有很多带宽提高余地。”英国电信称，将与主要高校合作进行新的研究，确保满足未来的互联网需求。
- 英国电信的女发言人称：“当前一代的技术可以满足很多年的带宽需求，当然也需要开发新技术应对未来需求的持续增长。我们现在与主要高校和全球其他运营商合作，开启新阶段研究，确保超越当前技术的限制，满足未来数十年客户的需求。”



OTN

- OTN（光传送网，Optical Transport Network），是以波分复用技术为基础、在光层组织网络的传送网，是下一代的骨干传送网。
- 是DWDM的升级版



PTN

- PTN（分组传送网，Packet Transport Network）是指一种光传送网络架构和具体技术,在IP业务和底层光传输媒质之间设置了一个层面.
- PTN支持多种基于分组交换业务的双向点对点连接通道，提供了更加适合于IP业务特性的“柔性”传输管道.
- 可以用来实现SONET/SDH向分组交换的转变，
- 在保护已有的传输资源方面将是SDH的替代品和升级版



PON

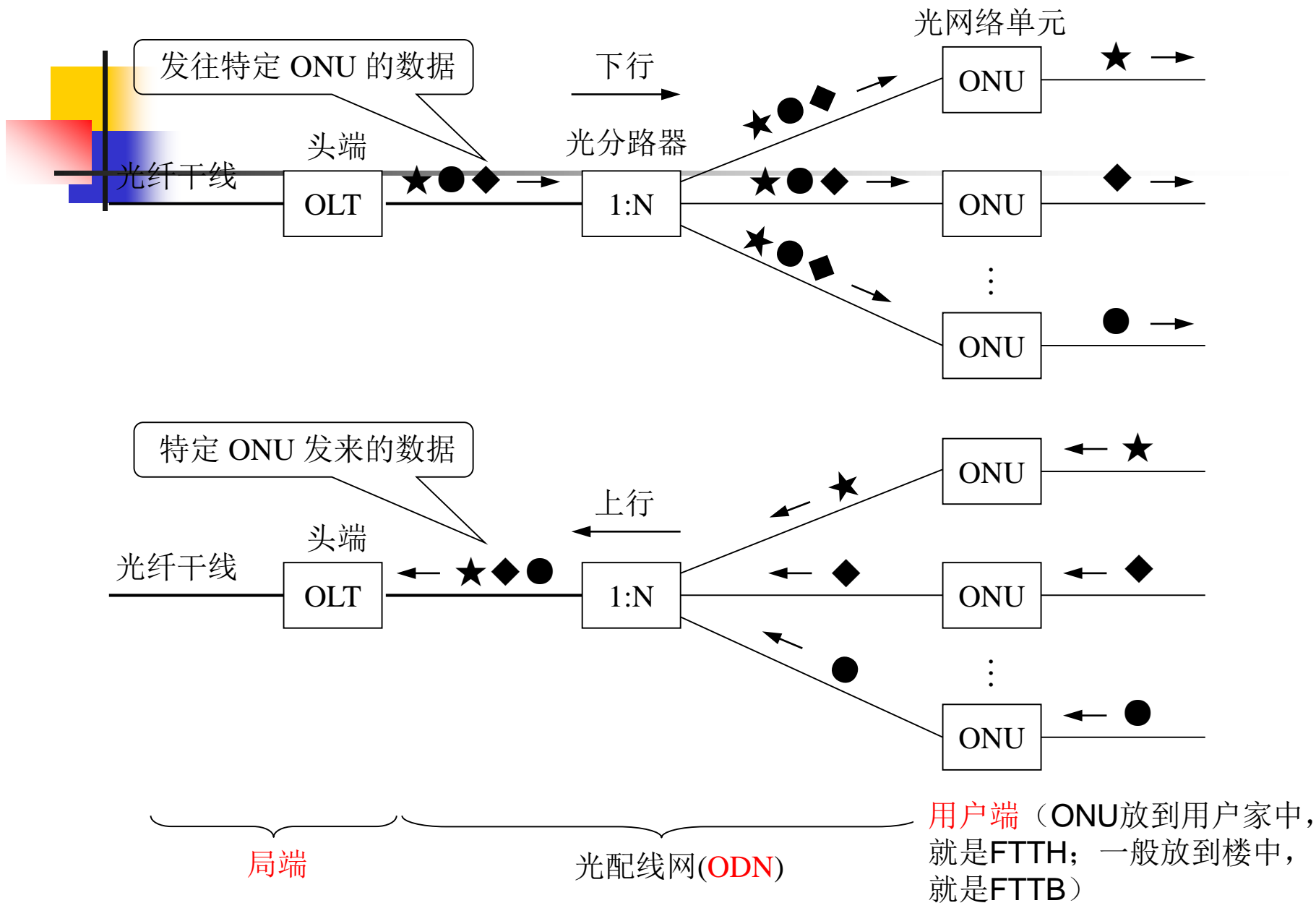
- PON (Passive Optical Network: 无源光纤网络)
- 一个无源光网络包括:
 - **局端**: 一个安装于中心控制站的光线路终端 (OLT)
 - **用户端**: 一批配套的安装在用户场所的光网络单元 (ONUs)
 - **配线网**: 在OLT与ONU之间的光配线网 (ODN) 包含了光纤以及无源分光器或者耦合器。



用户端

- 根据用户端**ONU**在光接入网中所处位置的不同，可以将光接入网划分为4种类型：
 - 光纤到路边（FTTC，Fiber-To-The-Curb）、
 - 光纤到大楼（FTTB，Fiber-To-The-Building）、
 - 光纤到办公室（FTTO，Fiber-To-The-Office）、
 - 光纤到家（FTTH，Fiber-To-The-Home）

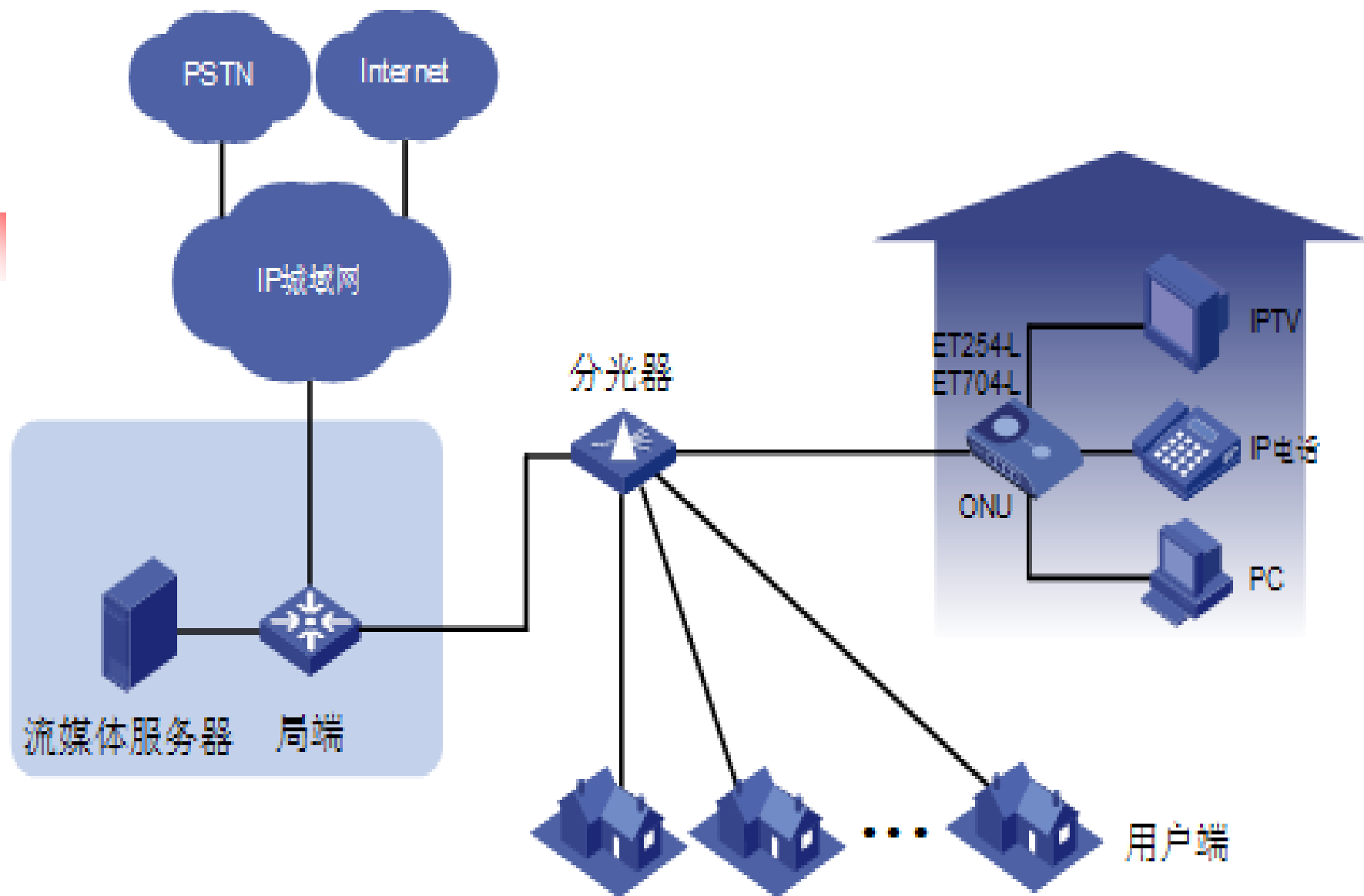
无源光网络（PON）的组成





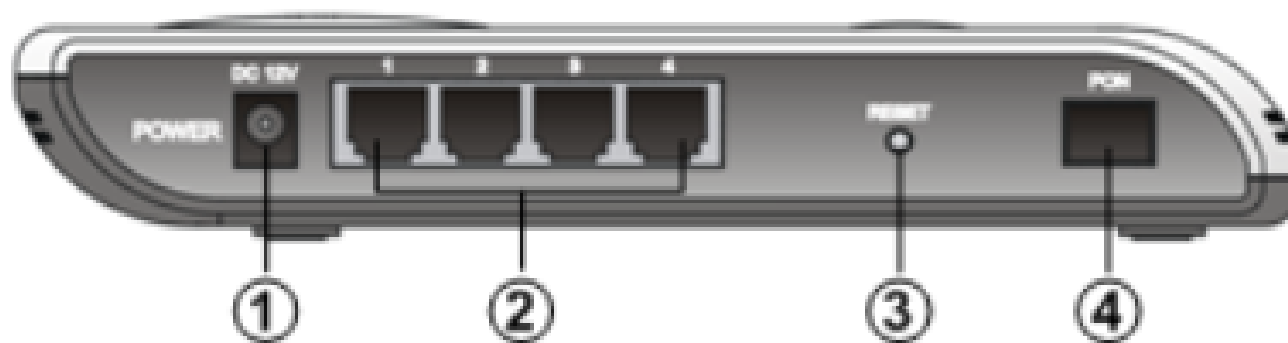
用户端

- PON是三网融合的重要途径
 - 有线电视网（终端是TV）
 - 电话网(终端是电话)
 - 计算机网络(终端是PC)



■ PON的组成

H3C ET704-L 面板图



1: 电源接口

2: 以太网接口

3: RESET按钮

4: PON接口

ET704-L 连线图

连接线缆



根据端面研磨形态来分,有PC(Physical Contact, 端面为球面) 连接器及APC(Angled Physical Contact, 端面为倾斜的球面) 连接器



FC是Ferrule Connector, 表示金属箍连接器; SC是Square Connector, 表示方型连接器; ST有人把它叫作Stab & Twist, 表示插入后捻一下

简单说: FC是圆头螺旋 SC是方头插拔 ST是圆头卡口



ET704-L技术规范

工作湿度		10%~90%非冷凝
接口类型	上行PON接口	SC/PC类型，单纤双向
	下行用户接口	RJ45
接口标准	上行PON接口	1000Base-PX20-U
	下行用户接口	10/100Base-T
光路特性	上下行波长	上行1310nm，下行1490nm
	接收饱和光功率	-3dBm
	接收灵敏度	-26.5dBm
	发射光功率	+4dBm~-1dBm



1000Base-PX20

- 1000Base-PX20,PX20+,PX10的区别:
 - 可传输的距离不一样，因此光功率也就不一样，10是10KM，20，20+是20km,后两者在一定分光比情况下可传距离不一样

	10km	20km
1000base-px10	1:16	N/A
1000base-px20	1:32	1:16
1000base-px20+	1:64	1:32



PON vs AON

- AON (Active Optical Network)有源光网络
- PON（无源光网络）是指（光配线网）中不含有任何电子器件及电子电源，ODN全部由光分路器（Splitter）等无源器件组成，不需要贵重的有源电子设备
- PON
 - 缺点：OLT和ONU之间距离和容量受到限制，理论距离是20km，实际为5~15km.
 - 优点：易于维护管理，便于升级扩容,应用更广泛
- AON
 - 优点：传输距离和容量大大增加，
 - 缺点：有源设备需要供电、机房等，维护难度大



PON vs xDSL

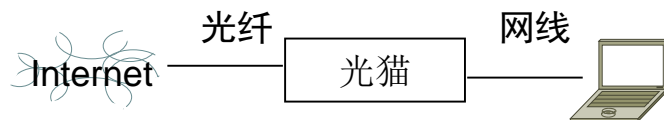
■ PON:

- 优点：速率高，上行最小理论速率1Gbps；支持三网融合，一般无流量限制，7*24在线
- 缺点：停电后固话打不通，维护难度大（相对xDSL而言）

■ xDSL

- 缺点：速率低，ADSL2+最高下行理论速率25Mbps，不支持三网融合（不支持电视）。一般有流量限制，每月限制上网总时间。
- 优点：维护难度小，成本小，停电后固话打得通

PON接入



- 上图的重点接入设备是ONU(光网络单元)，即光猫。

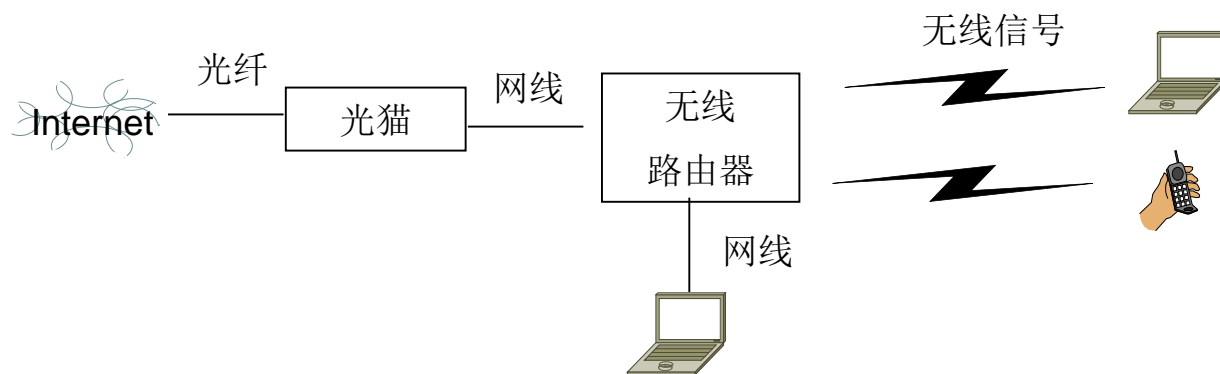
有关上图（PON接入Internet），正确的是：

- ☒ A 其用户设备是电脑、IP电话等。
- ☒ B 其接入网络设备是ONU(光网络单元)，即光猫
- ☒ C 光猫到电脑之间用RJ-45网线连接
- ☒ D 光猫到Internet(电信局) 之间用光纤连接

提交

人：谢希仁

家庭主流接入方式

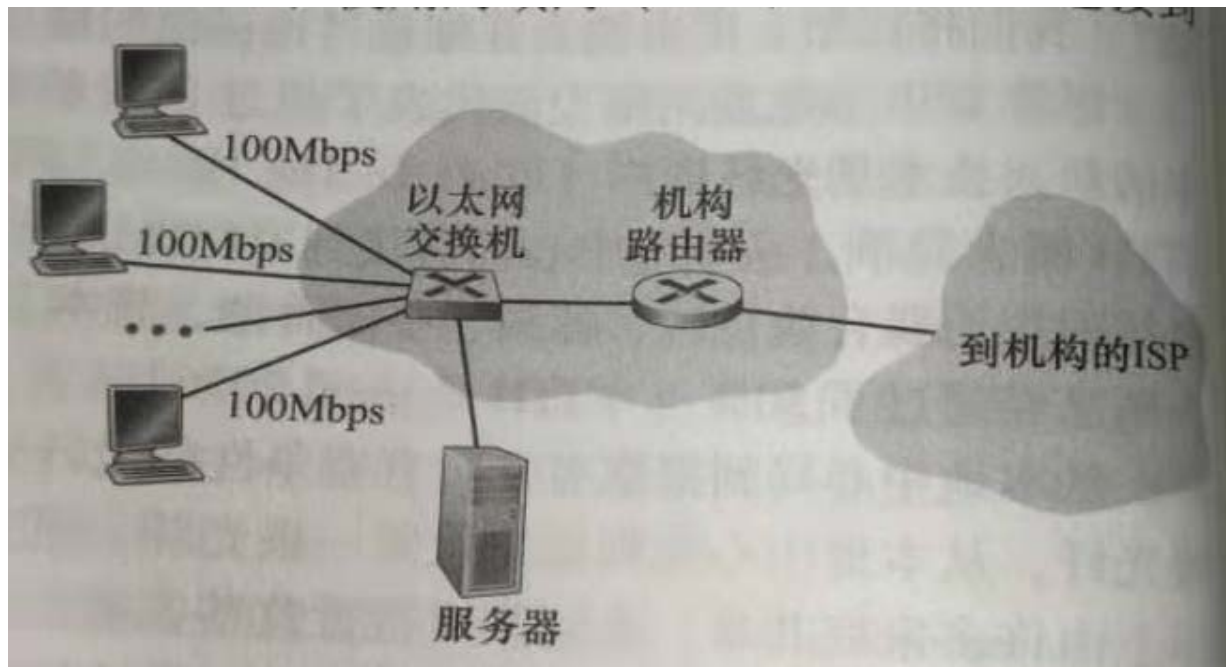


- 无线路由器+光猫的接入方式。
- 从用户端而言，固定线路用户（电脑）用网线接入无线路由器，无线用户（含手机和电脑）直接通过无线电波接入无线路由器。
- 从广域网接入部分而言，无线路由器通过PON modem(光猫)接入Internet。

有关上图（PON+WiFi接入Internet），正确的是：

- ☒ A 其用户设备是电脑、手机等。
- ☒ B PON接入网络设备是ONU(光网络单元)，即光猫；WiFi接入网络设备是无线路由器
- ☐ C 光猫到无线路由器之间用RJ-45网线连接，无线路由器到用户设备之间只能是无线连接。
- ☒ D 光猫到Internet(电信局)之间用光纤连接

以太网接入（企业主流接入方式）



图片摘自一本外国教材



以太网接入

■ 上图的重点接入设备是：

- 对普通用户而言是交换机（从用户端而言，是通过交换机+以太网接入），
- 对整个机构而言是路由器（从广域网接入部分而言，是通过路由器+企业专线接入）
- 两者结合，构成完整的接入Internet的方式。

■ 接入方式

- 路由器到ISP(Internet服务提供商)之间的接入方式一般是企业专线，速率可达数Gbps，
- 而pon的接入一般只分配给家庭用户，速率为200Mbps左右。