



计算机网络（第 8 版）

谢希仁 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

第 2 章 物理层



计算机网络体系结构

OSI 的七层协议体系结构



(a)

TCP/IP 的四层协议体系结构



(b)

五层协议的体系结构



(c)

[RFC 1122, STD3]中, 最底层叫作链路层。
事实上: TCP/IP 只有上面三层, 链路层没有属于 TCP/IP 体系的具体协议; 链路层使用的局域网标准是由 IEEE 的 802 委员会下属的各工作组制定的。

综合 OSI 和 TCP/IP 的优点,
采用五层协议的体系结构



2.1

物理层的基本概念

2.2

数据通信的基础知识

2.3

物理层下面的传输媒体

2.4

信道复用技术

2.5

数字传输系统

2.6

宽带接入技术



2.1 物理层的基本概念

- 物理层考虑的是**怎样才能**在连接**各种**计算机的**传输媒体**上**传输数据比特流**，而**不是**指具体的传输媒体。
- **作用**：尽可能**屏蔽**掉不同传输媒体和通信手段的差异。
- 用于物理层的协议也常称为物理层**规程** (procedure)。



物理层的主要任务

- **主要任务：确定与传输媒体的接口的一些特性。4 个特性：**
 - ◆ **机械特性：**指明接口所用接线器的形状和尺寸、引线数目和排列、固定和锁定装置等。
 - ◆ **电气特性：**指明在接口电缆的各条线上出现的电压的范围。
 - ◆ **功能特性：**指明某条线上出现的某一电平的电压的意义。
 - ◆ **过程特性：**指明对于不同功能的各种可能事件的出现顺序。
- **重要任务：传输方式的转换**
 - ◆ 在计算机内部，采用**并行**传输方式。
 - ◆ 在通信线路，采用**串行**传输，即**逐个比特**按时间顺序传播。



2.2

数据通信的 基础知识

2.2.1

数据通信系统的模型

2.2.2

有关信道的几个基本概念

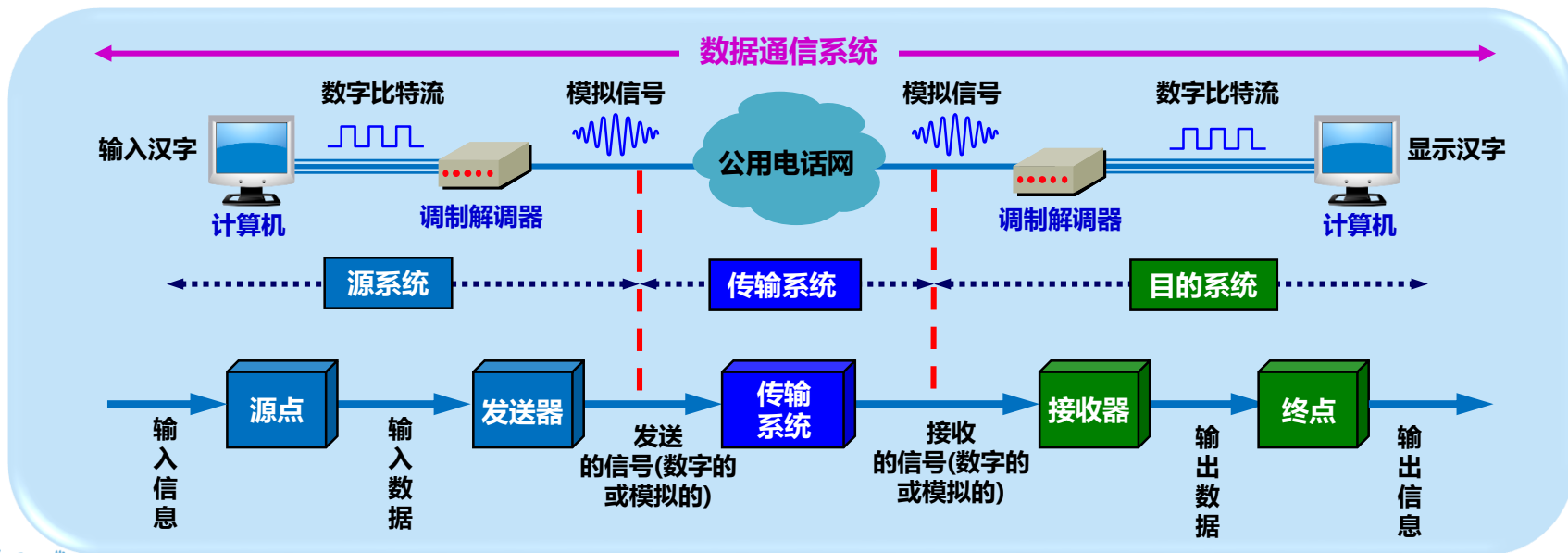
2.2.3

信道的极限容量



2.2.1 数据通信系统的模型

例：两台计算机经过普通电话机连线，再经过公用电话网通信。该数据通信系统包括**三大部分**：源系统（或发送端、发送方）、传输系统（或传输网络）和目的系统（或接收端、接收方）。



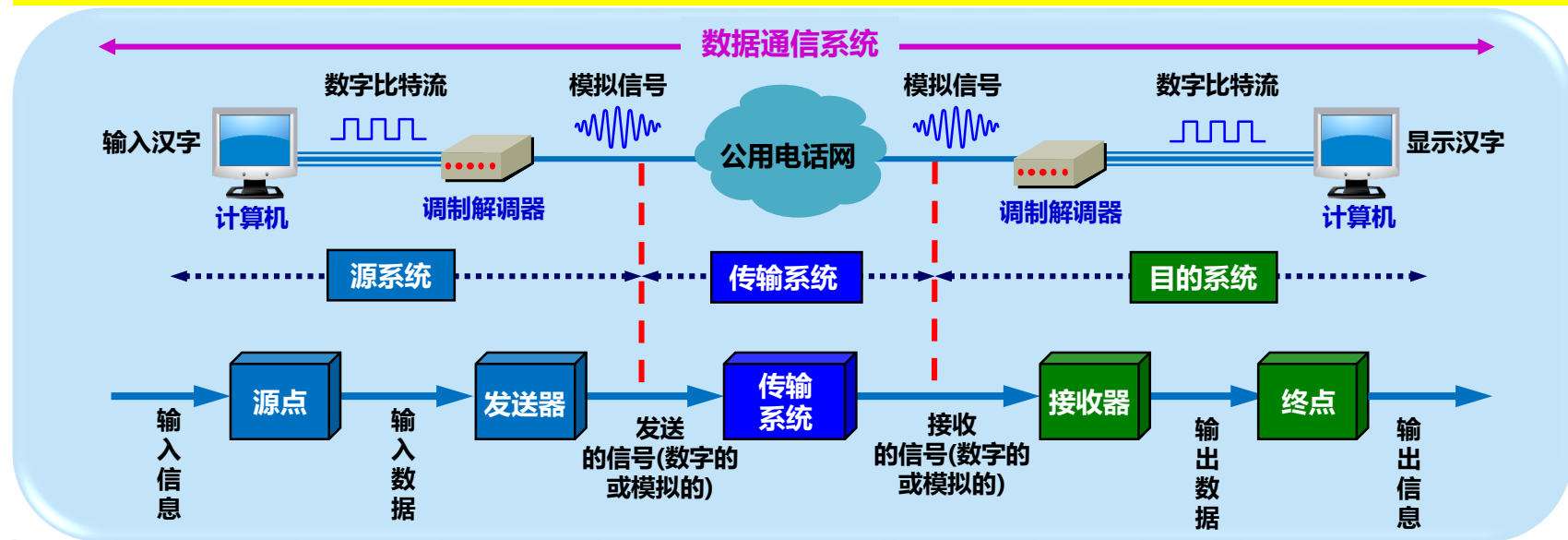


2.2.1 数据通信系统的模型

源系统：源点（source，又称源站、信源）、发送器

目的系统：接收器、终点（destination，又称目的站、信宿）

传输系统：可以是简单的传输线，也可以是复杂网络系统。





常用术语



11001001
00110011
11010110
11001110

.....

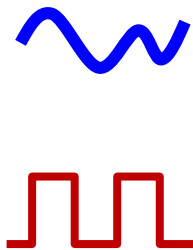
- **消息(message)**: 如话音、文字、图像、视频等。

- **数据 (data)**: 运送消息的实体。

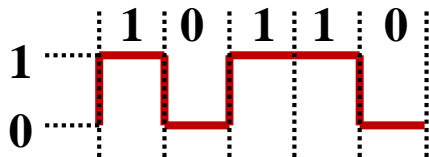
[RFC 4949] 使用特殊方式表示的信息, 通常是有意义的符号序列。这种信息的表示可用计算机或其他机器 (或人) 处理或产生。



常用术语



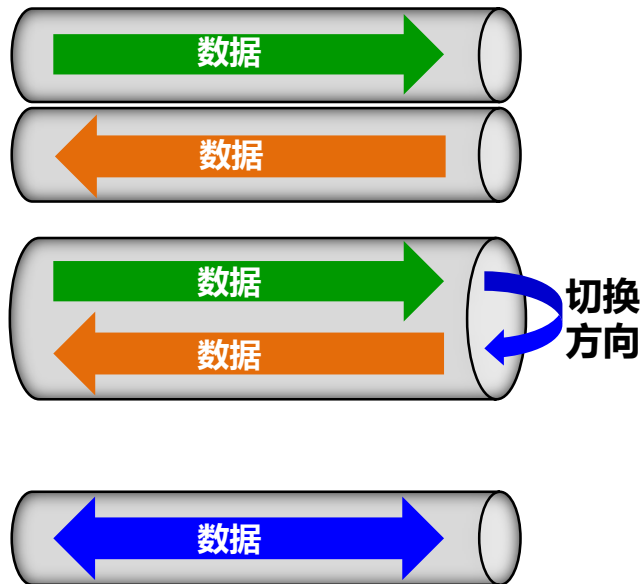
- **信号 (signal)**: 数据的电气的或电磁的表现。
 - ◆ **模拟信号 (analogous signal)**: 代表消息的参数取值是**连续**的。
 - ◆ **数字信号 (digital signal)**: 代表消息的参数取值是**离散**的。
- **码元**: 在使用时间域 (简称为**时域**) 的波形表示数字信号时, 代表不同离散数值的基本波形。
 - ◆ 使用二进制编码时, 只有两种不同的码元:
0 状态, 1 状态。
 - ◆ 一个码元所携带的信息量不是固定的, 是由调制方式和编码方式决定的。





2.2.2 有关信道的几个基本概念

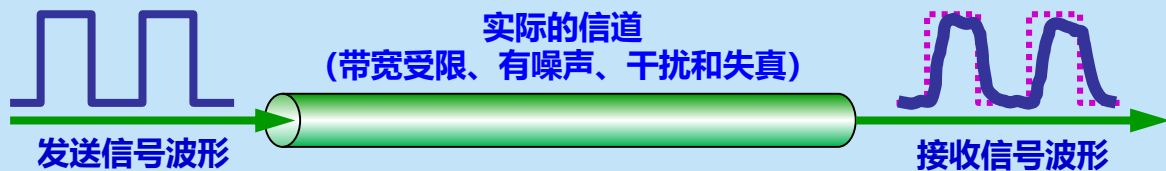
- **信道**：一般用来表示向某一个方向传送信息的媒体。
- **单向通信（单工通信）**：只能有一个方向的通信，没有反方向的交互。
- **双向交替通信（半双工通信）**：通信的双方都可以发送信息，但双方**不能同时**发送（当然也就不能同时接收）。
- **双向同时通信（全双工通信）**：通信的双方可以**同时发送和接收**信息。



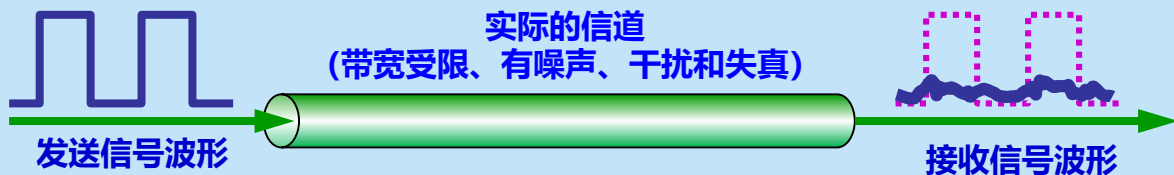


2.2.3 信道的极限容量

有失真，但**可识别**



失真大，**无法识别**



数字信号通过实际的信道



2.2.3 信道的极限容量

- 任何实际的信道都**不是理想的**，都**不可能**以任意高的速率进行传送。
- 码元传输的速率越高，或信号传输的距离越远，或噪声干扰越大，或传输媒体质量越差，在接收端的波形的**失真就越严重**。
- 限制码元在信道上的传输速率的**两个因素**：
 - ◆ 信道能够通过的频率范围。
 - ◆ 信噪比。



2.3

物理层下面 的传输媒体

2.3.1

导引型传输媒体

2.3.2

非导引型传输媒体



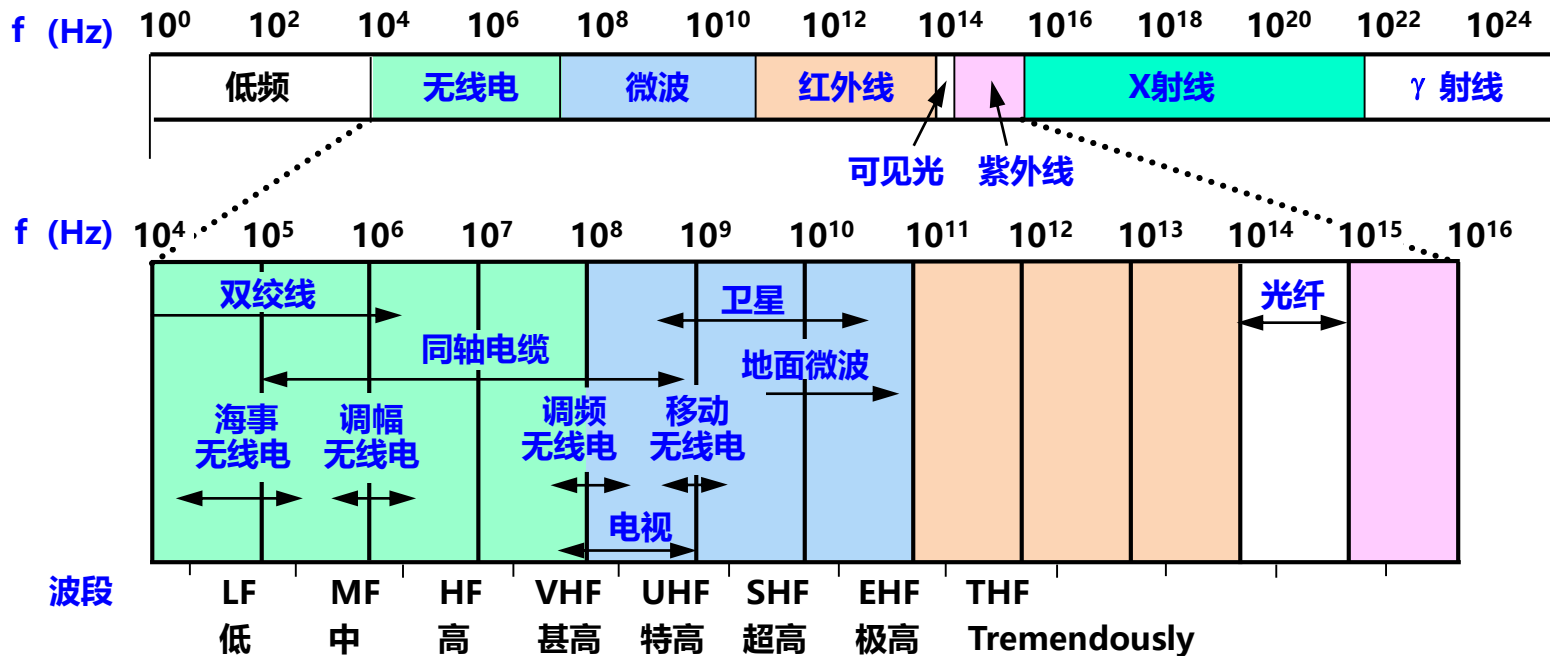
2.3 物理层下面的传输媒体

- 传输媒体是数据传输系统中在发送器和接收器之间的**物理通路**。
- 两大类：
 - ◆ **导引型传输媒体**：电磁波被导引沿着固体媒体（铜线或光纤）传播。
 - ◆ **非导引型传输媒体**：指自由空间。非导引型传输媒体中电磁波的传输常称为**无线传输**。



2.3 物理层下面的传输媒体

电信领域使用的电磁波的**频谱**:





2.3.1 导引型传输媒体

1. 双绞线

- 最古老但又最常用的传输媒体。
- 把两根互相绝缘的铜导线并排放在一起，然后用规则的方法**绞合** (twist) 起来就构成了双绞线。
- **绞合度越高，可用的数据传输率越高。**
- 2 大类：
 - ◆ 无屏蔽双绞线 UTP。
 - ◆ 屏蔽双绞线 STP。

3 类线



5 类线



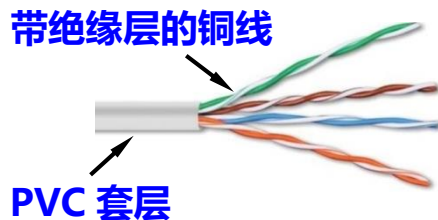
不同的绞合度的双绞线



1. 双绞线

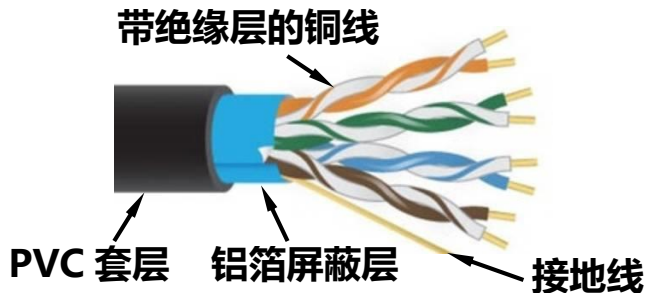
● 无屏蔽双绞线 UTP (Unshielded Twisted Pair) :

- ◆ 无屏蔽层。
- ◆ 价格较便宜。



● 屏蔽双绞线 STP (Shielded Twisted Pair):

- ◆ 带屏蔽层。
- ◆ 都必须有接地线。



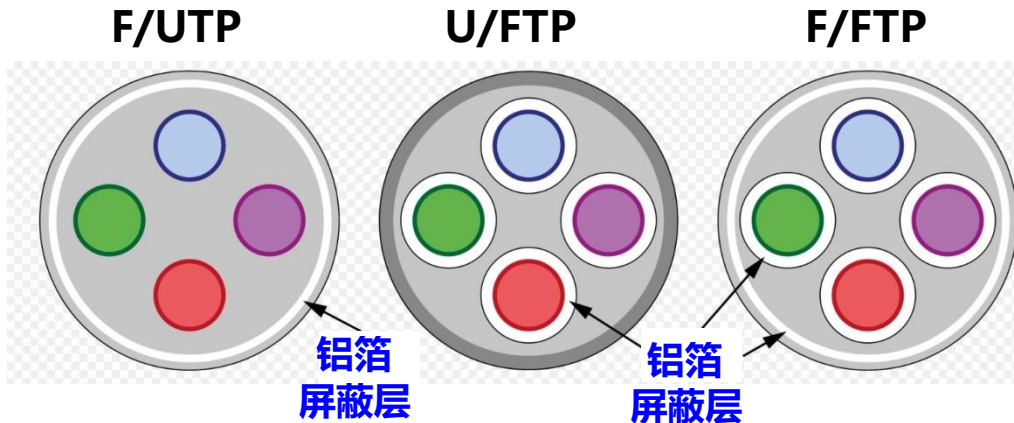
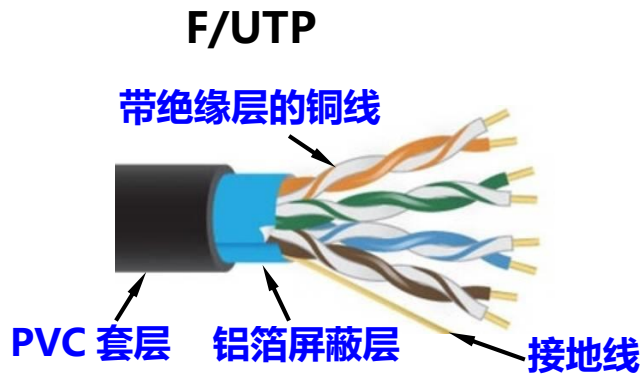


屏蔽双绞线 STP

- **x/UTP**: 对整条双绞线电缆进行屏蔽。
 - ◆ **F/UTP** (F=**Foiled**): 表明采用**铝箔**屏蔽层。
 - ◆ **S/UTP** (**S=braid Screen**): 表明采用**金属编织层**进行屏蔽。
 - ◆ **SF/UTP**: 表明在**铝箔**屏蔽层外面再加上**金属编织层**的屏蔽。
 - ◆ **FTP 或 U/FTP**: 把电缆中的**每一对**双绞线都加上**铝箔**屏蔽层。U表明对**整条**电缆**不另**增加屏蔽层
 - ◆ **F/FTP**: 在 FTP 基础上对**整条**电缆再加上**铝箔**屏蔽层。
 - ◆ **S/FTP**: 在 FTP 基础上对**整条**电缆再加上**金属**编织层的屏蔽。



屏蔽双绞线 STP



在抗干扰能力上，U/FTP 比 F/UTP 好，而 F/FTP 则是最好的。



双绞线标准 EIA/TIA-568

常用绞合线的类别、带宽和典型应用

绞合线类别	带 宽	线 缆 特 点	典 型 应 用
3	16 MHz	2 对 4 芯双绞线	模拟电话; 传统以太网 (10 Mbit/s)
5	100 MHz	与 3 类相比增加了绞合度	传输速率 100 Mbit/s (距离 100 m)
5E(超5类)	125 MHz	与 5 类相比衰减更小	传输速率 1 Gbit/s (距离 100 m)
6	250 MHz	改善了串扰等性能, 可使用屏蔽双绞线	传输速率 10 Gbit/s (距离 35 ~ 55 m)
6A	500 MHz	改善了串扰等性能, 可使用屏蔽双绞线	传输速率 10 Gbit/s (距离 100 m)
7	600 MHz	必须使用屏蔽双绞线	传输速率超过 10 Gbit/s, 距离 100 m
8	2000 MHz	必须使用屏蔽双绞线	传输速率 25 Gbit/s 或 40 Gbit/s, 距离 30 m



双绞线标准 EIA/TIA-568

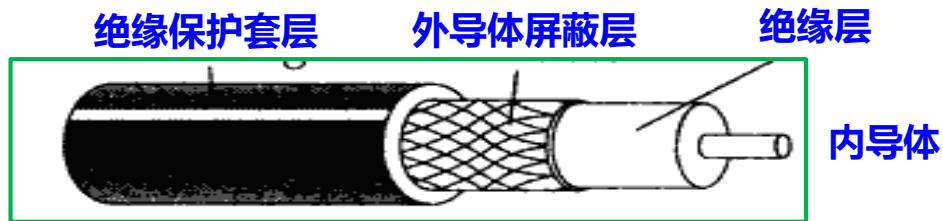
常用绞合线的类别、带宽和典型应用

绞合线类别	带 宽	线 缆 特 点	典 型 应 用
3	16 MHz	2 对 4 芯双绞线	模拟电话; 传统以太网 (10 Mbit/s)
5	<ul style="list-style-type: none"> 无论是哪种类别的双绞线, 衰减都随频率的升高而增大。 双绞线的最高速率还与数字信号的编码方法有很大的关系。 		
5E(超5类)			
6	250 MHz	改善了串扰等性能, 可使用屏蔽双绞线	传输速率 10 Gbit/s (距离 55 ~ 55 m)
6A	500 MHz	改善了串扰等性能, 可使用屏蔽双绞线	传输速率 10 Gbit/s (距离 100 m)
7	600 MHz	必须使用屏蔽双绞线	传输速率超过 10 Gbit/s, 距离 100 m
8	2000 MHz	必须使用屏蔽双绞线	传输速率 25 Gbit/s 或 40 Gbit/s, 距离 30 m



2. 同轴电缆

- 由**内导体铜质芯线**（单股实心线或多股绞合线）、**绝缘层**、网状编织的**外导体屏蔽层**（也可以是单股的）以及**保护塑料外层**所组成。

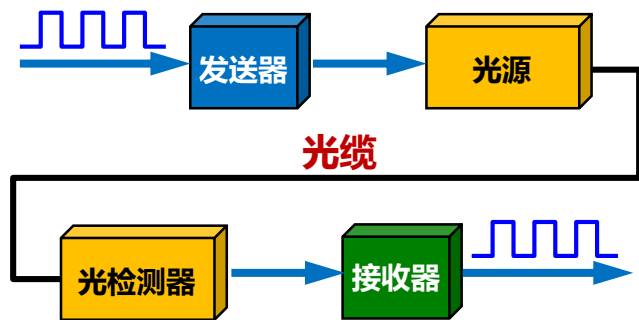
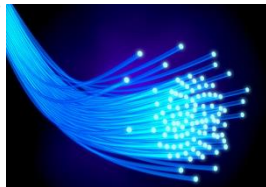


- 具有很好的抗干扰特性，被广泛用于传输较高速率的数据。



3. 光缆

- 光纤是光纤通信的传输媒体。通过传递光脉冲来进行通信。
- 其传输带宽远远大于目前其他各种传输媒体的带宽。
- **发送端**：要有**光源**，在电脉冲的作用下能产生出光脉冲。
 - ◆ 光源：发光二极管，半导体激光器等。
- **接收端**：要有**光检测器**，利用光电二极管做成，在检测到光脉冲时还原出电脉冲。

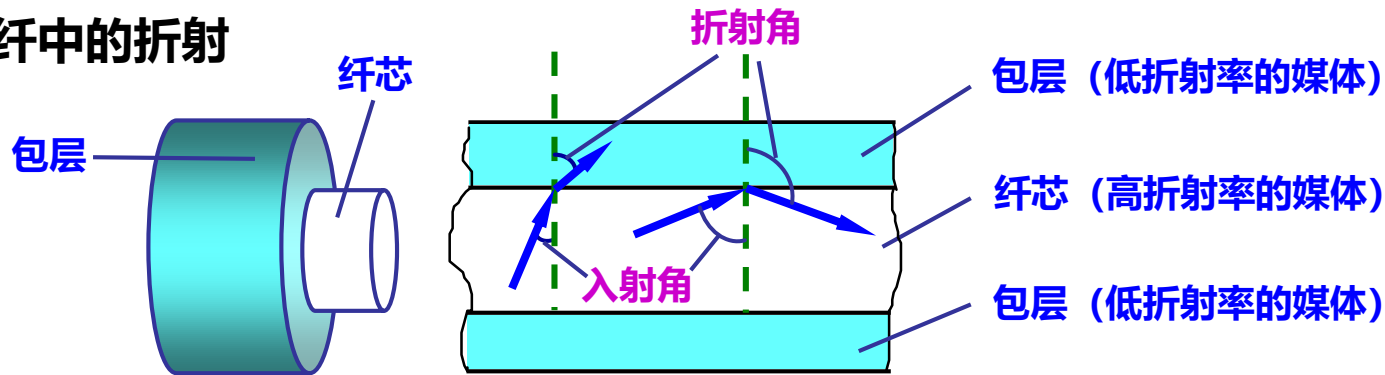


基本的光纤通信系统



光波在纤芯中的传播

光线在光纤中的折射



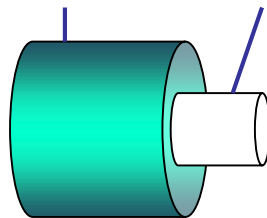
光纤通常由非常透明的石英玻璃拉成细丝，主要由**纤芯**和**包层**构成双层通信圆柱体。当光线从高折射率的媒体射向低折射率的媒体时，其折射角将大于入射角。如果**入射角足够大**，就会出现**全反射**，光也就沿着光纤传输下去。



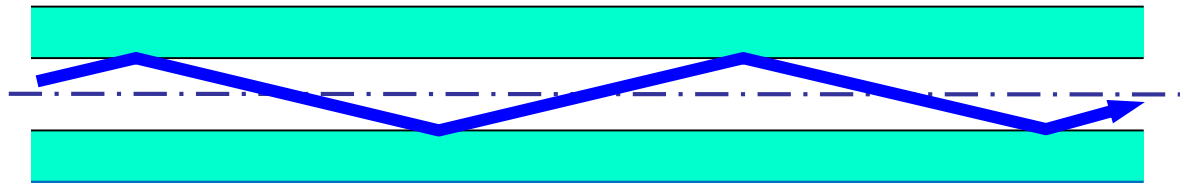
光波在纤芯中的传播

低折射率
(包层)

高折射率
(纤芯)



光波在纤芯中的传播



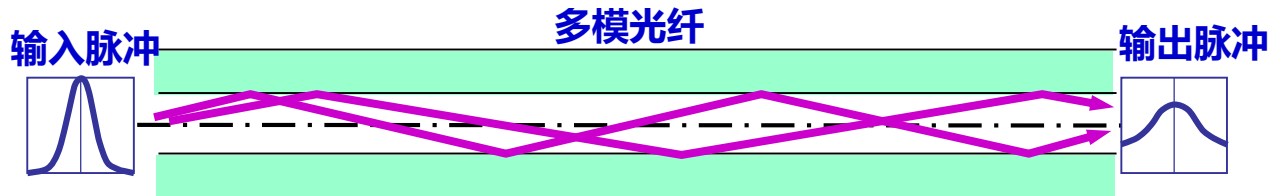
光线在纤芯中传输的方式是不断地**全反射**



多模光纤与单模光纤

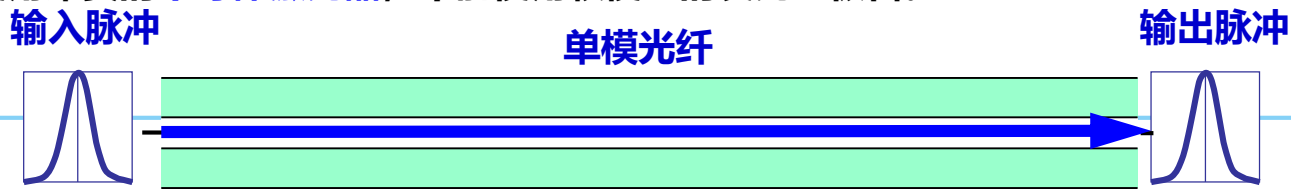
● 多模光纤

- ◆ 可以存在**多条**不同角度入射的**光线**在**一条光纤**中传输。
- ◆ 光脉冲在多模光纤中传输时会逐渐展宽，造成失真，只适合于**近距离**传输。



● 单模光纤

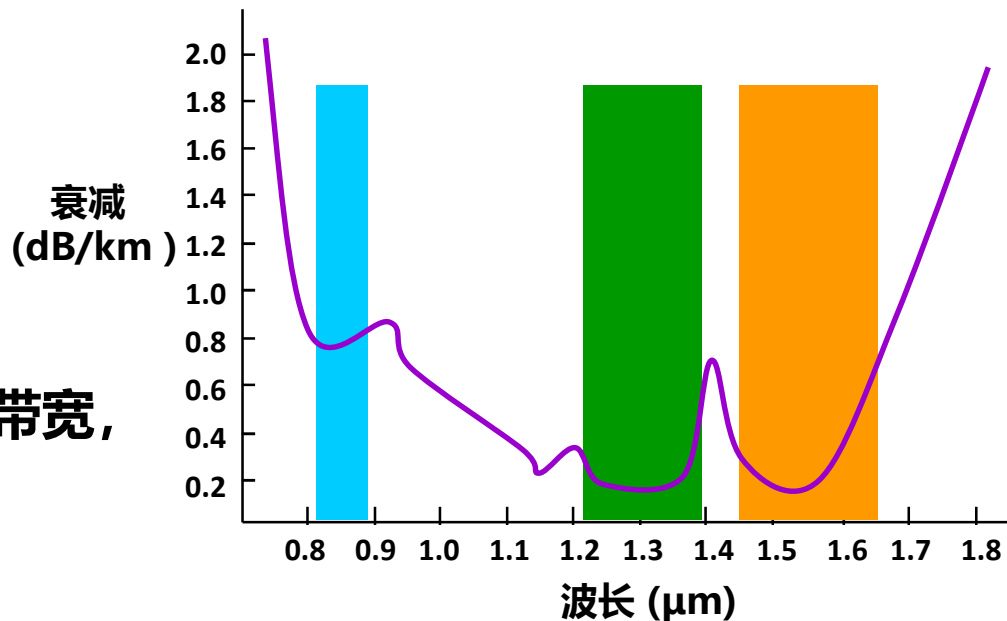
- ◆ 其直径减小到**只有一个光的波长**（几个微米），可使光线一直向前传播，而**不会产生多次反射**。
- ◆ 制造成本较高，但**衰耗较小**。
- ◆ 光源要使用昂贵的**半导体激光器**，不能使用较便宜的发光二极管。





光纤通信中使用的光波的波段

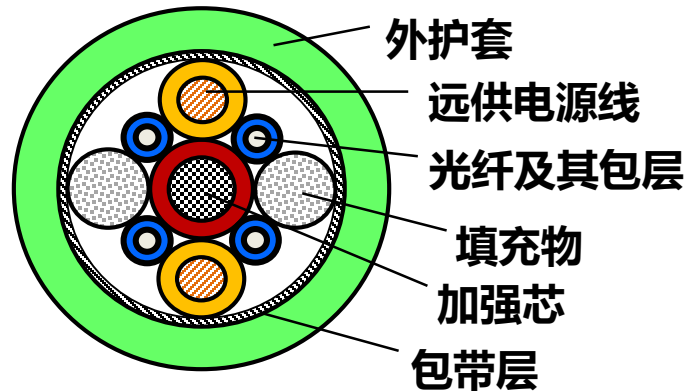
- 常用的三个波段的中心：
 - ◆ 850 nm,
 - ◆ 1300 nm,
 - ◆ 1550 nm。
- 所有这三个波段都具有
25000~30000 GHz 的带宽，
通信容量非常大。





光缆

- 必须将光纤做成很结实的光缆。
 - ◆ 数十至数百根光纤,
 - ◆ 加强芯和填充物,
 - ◆ 必要时还可放入远供电源线,
 - ◆ 最后加上包带层和外护套。
- 使抗拉强度达到几公斤, 完全可以满足工程施工的强度要求。





光纤优点

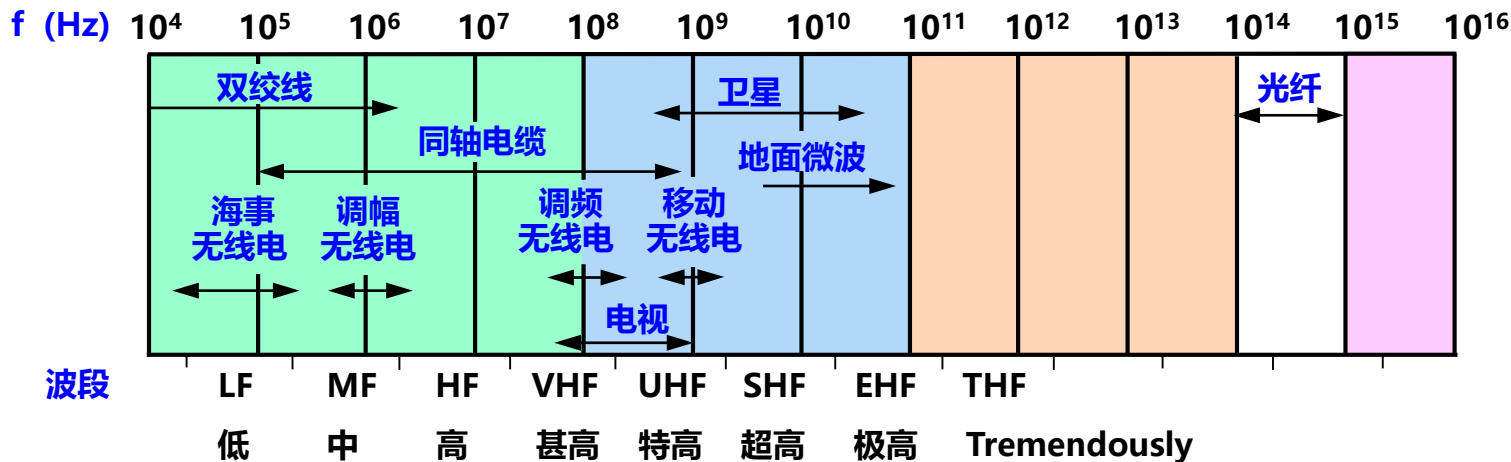
- (1) 通信容量非常大
- (2) 传输损耗小，中继距离长，对远距离传输特别经济。
- (3) 抗雷电和电磁干扰性能好。
- (4) 无串音干扰，保密性好，不易被窃听或截取数据。
- (5) 体积小，重量轻。

现在已经非常广泛地应用在计算机网络、电信网络和有线电视网络的主干网络中。



2.3.2 非导引型传输媒体

- 利用无线电波在自由空间的传播可较快地实现多种通信，因此将自由空间称为“非导引型传输媒体”。
- 无线传输所使用的频段很广：LF ~ THF (30 kHz ~ 3000 GHz)





无线电微波通信

- 占有特殊重要的地位。
- 微波频率范围：
 - ◆ 300 MHz~300 GHz (波长1 m ~ 1 mm) 。
 - ◆ 主要使用：2 ~ 40 GHz。
- 在空间主要是**直线**传播。
 - ◆ 地球表面：传播距离受到限制，一般只有 **50 km**左右。
 - ◆ 100 m 高的天线塔：传播距离可增大到 100 km。



2.4 信道复用 技术

2.4.1

频分复用、时分复用和统计时分复用

2.4.2

波分复用

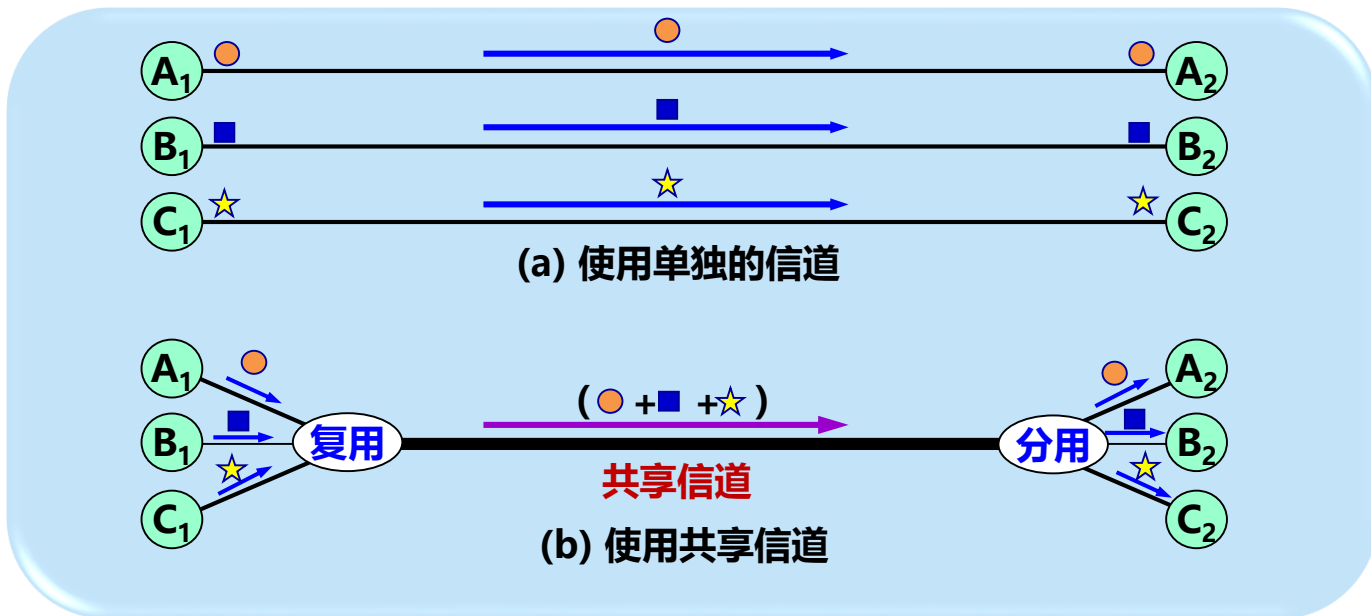
2.4.3

码分复用



2.4.1 频分复用、时分复用和统计时分复用

- **复用 (multiplexing)** : 允许用户使用一个共享信道进行通信。





频分复用 FDM (Frequency Division Multiplexing)

- 最基本。
- 将整个带宽分为多份，用户在分配到一定的频带后，在通信过程中**自始至终**都占用这个频带。
- 所有用户在同样的时间占用**不同**的**带宽**（即频带）资源。

（请注意：这里的“带宽”是**频率带宽**而不是数据的**发送速率**）



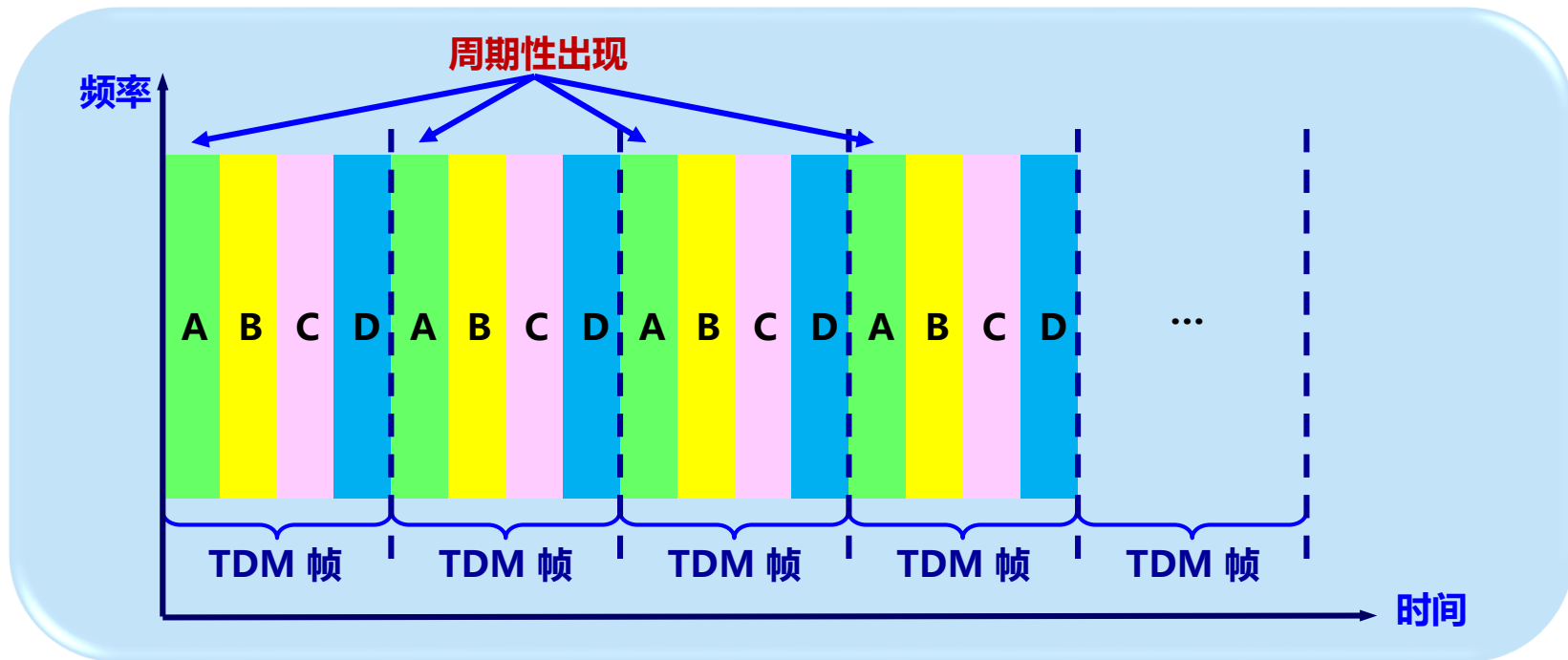


时分复用 TDM (Time Division Multiplexing)

- 将时间划分为一段段**等长的**时分复用帧 (TDM帧) 。
- 每一个时分复用的用户在**每一个 TDM 帧中占用固定序号的时隙**。
- 每一个用户所占用的时隙是**周期性**地出现 (其周期就是TDM帧的长度) 的。
- TDM 信号也称为**等时** (isochronous) 信号。
- 所有用户在不同的时间占用**同样的**频带宽度。



时分复用 TDM (Time Division Multiplexing)





频分复用和时分复用

- 在使用**频分复用**时，若每个用户占用的带宽不变，则当复用的用户数增加时，复用后的信道总带宽跟着变宽。
 - ◆ 例如：传统的电话通信中每个标准话路的带宽是4kHz（即通信用的3.1kHz加上两边的保护频带）。若有1000个用户进行频分复用，则复用后的总宽带就是4MHz。
- 在使用**时分复用**时，每个时分复用帧的长度是不变的，始终是125 μs 。
 - ◆ 若有1000个用户进行时分复用，则每一个用户分配到的时隙宽度就是125 μs 的千分之一，即0.125 μs ，时隙宽度变得非常窄。
- 时隙宽度非常窄的脉冲信号所占的频谱范围非常宽。



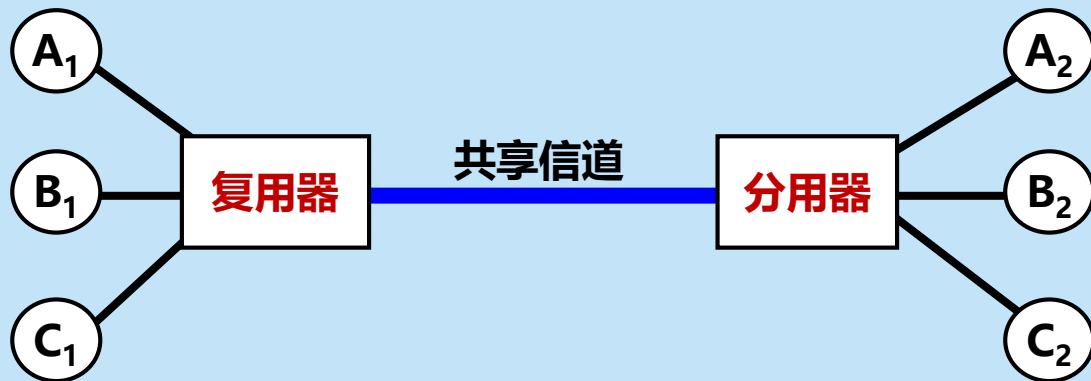
频分多址与时分多址

- 可让 N 个用户**各使用**一个频带，或让更多的用户**轮流**使用这 N 个频带。这种方式称为**频分多址接入 FDMA** (Frequency Division Multiple Access)，简称为**频分多址**。
- 可让 N 个用户各使用一个时隙，或让更多的用户轮流使用这 N 个时隙。这种方式称为**时分多址接入 TDMA** (Time Division Multiple Access)，简称为**时分多址**。



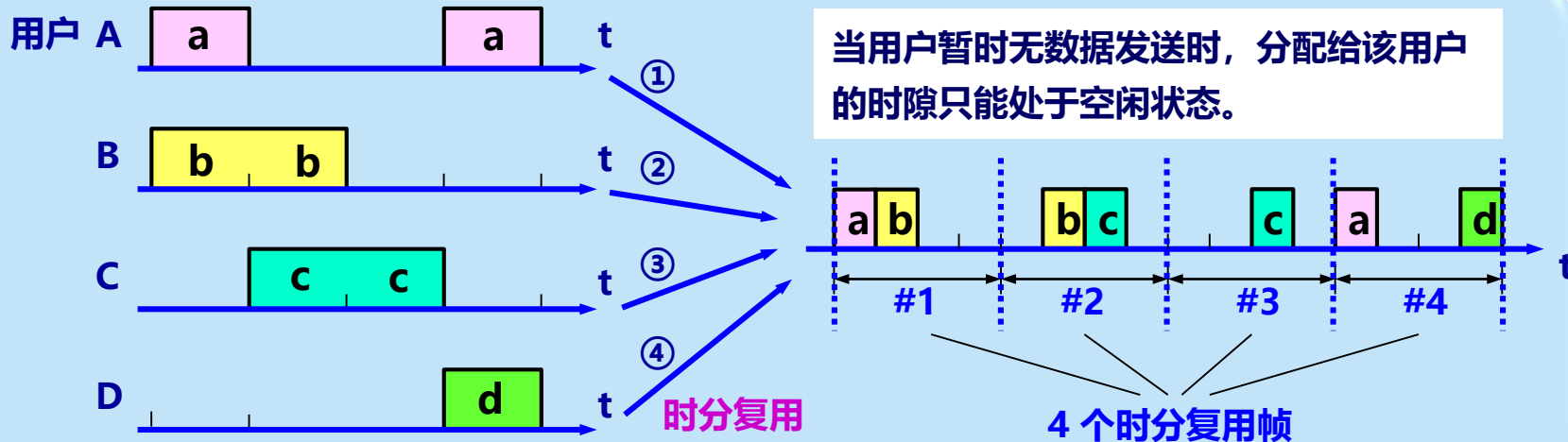
复用器 (multiplexer) 和分用器 (demultiplexer)

- 复用器和分用器成对使用，之间是用户共享的高速信道。





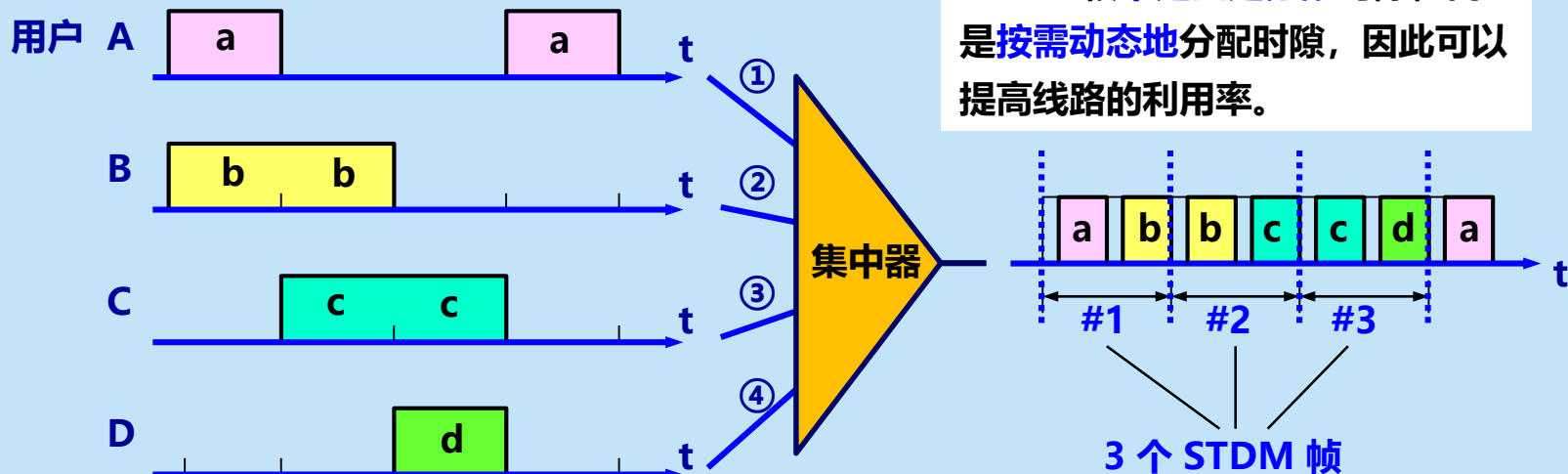
时分复用会导致信道利用率不高



使用时分复用系统传送计算机数据时，由于计算机数据的突发性，用户对分配到的子信道的利用率一般都不高。



统计时分复用 STDM (Statistic TDM)



- 统计时分复用使用**STDM帧**传送复用数据。每一个STDM帧中的**时隙数**小于连接在集中器上的**用户数**。
- **集中器** (Concentrator) 常使用统计时分复用。各用户有了数据就随时发往**集中器的输入缓存**，然后集中器**按顺序依次扫描**输入缓存，把缓存中的输入数据**放入STDM帧**中。当一个**帧的数据满了**，就发送出去。
- 由于STDM帧中的时隙**不是固定地分配**给某个用户的，因此在每个时隙中还必须有**用户的地址**信息，这是增加的开销。每个时隙前的**短时隙**用于**放地址**信息。



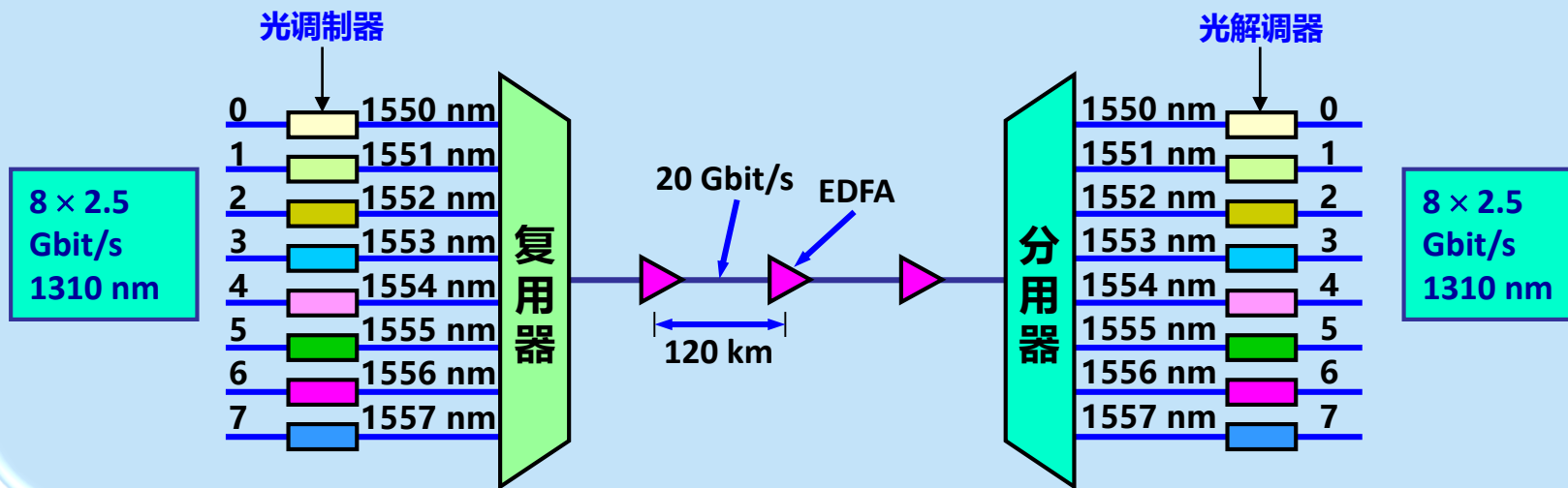
统计时分复用 STDM (Statistic TDM)

- 统计时分复用STDM是一种改进的时分复用。
- 统计时分复用STDM不是固定分配时隙，而是**按需分配时隙**。因此，统计时分复用可以提**高**线路的利用率。
- 在输出线路上，某一个用户所占用的时隙并**不是周期性**地出现的。因此，STDM又称为**异步时分复用**。（普通的时分复用又称为**同步时分复用**）
- STDM的集中器也叫作**智能复用器**，能提供整个报文的**存储转发**能力，通过**排队**使各用户更合理地**共享信道**。
- 有些集中器还有**路由选择**、**数据压缩**、**前向纠错**等功能。
- TDM帧和STDM帧都是**物理层**传送的比特流中所划分的**帧**。（与数据链路层的帧概念不同）



2.4.2 波分复用

波分复用 WDM (Wavelength Division Multiplexing) : 光的频分复用。使用一根光纤来**同时传输**多个光载波信号。





2.4.3 码分复用

- 每一个用户可以在**同样的时间**使用**同样的频带**进行通信。
- 各用户使用经过特殊挑选的不同码型，因此不会造成干扰。
- 当**码分复用 CDM** (Code Division Multiplexing) 信道为多个不同地址的用户所共享时，就称为**码分多址 CDMA** (Code Division Multiple Access)。



CDMA 工作原理

- 将每一个比特时间划分为 m 个短的间隔, 称为**码片** (chip)。
- 为每个站指派一个**唯一的** m bit 码片序列。
 - ◆ **发送比特 1**: 发送自己的 m bit 码片序列。
 - ◆ **发送比特 0**: 发送该码片序列的二进制**反码**。

例如: S 站的 8 bit 码片序列是 00011011。

1 → 00011011

0 → 11100100

惯例: 将码片中的0记为-1, 将1记为+1

码片序列: (-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)



码片序列实现了扩频

- 要发送信息的数据率 = $b \text{ bit/s}$ ，实际发送的数据率 = $mb \text{ bit/s}$ ，同时，所占用频带宽度也提高到原来的 m 倍。
 - ◆ 假定S站要发送信息的数据率为 $b \text{ bit/s}$ 。由于每一个比特要转换成 m 个比特的码片，因此 S 站实际上发送的数据率提高到 $mb \text{ bit/s}$ ，同时 S 站所占用的频带宽度也提高到原来数值的 m 倍。
 - ◆ 这种通信方式是**扩频**(spread spectrum)通信中的一种。
- 扩频通常有 2 大类：
 - ◆ **直接序列扩频 DSSS** (Direct Sequence Spread Spectrum)。
 - ◆ **跳频扩频 FHSS** (Frequency Hopping Spread Spectrum)。



CDMA 的重要特点

- 每个站分配的码片序列：**各不相同**，且必须互相**正交** (orthogonal)。

- **正交：**

内积（点积，数量积）：将两个向量对应位置上的元素相乘，然后将乘积相加得到一个标量。

- ◆ 向量 S 和 T 的**规格化内积** (inner product) 等于 0。

$$S \bullet T \equiv \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i = 0$$

- ◆ 任何一个码片向量和该码片向量自己的规格化内积都是 1。

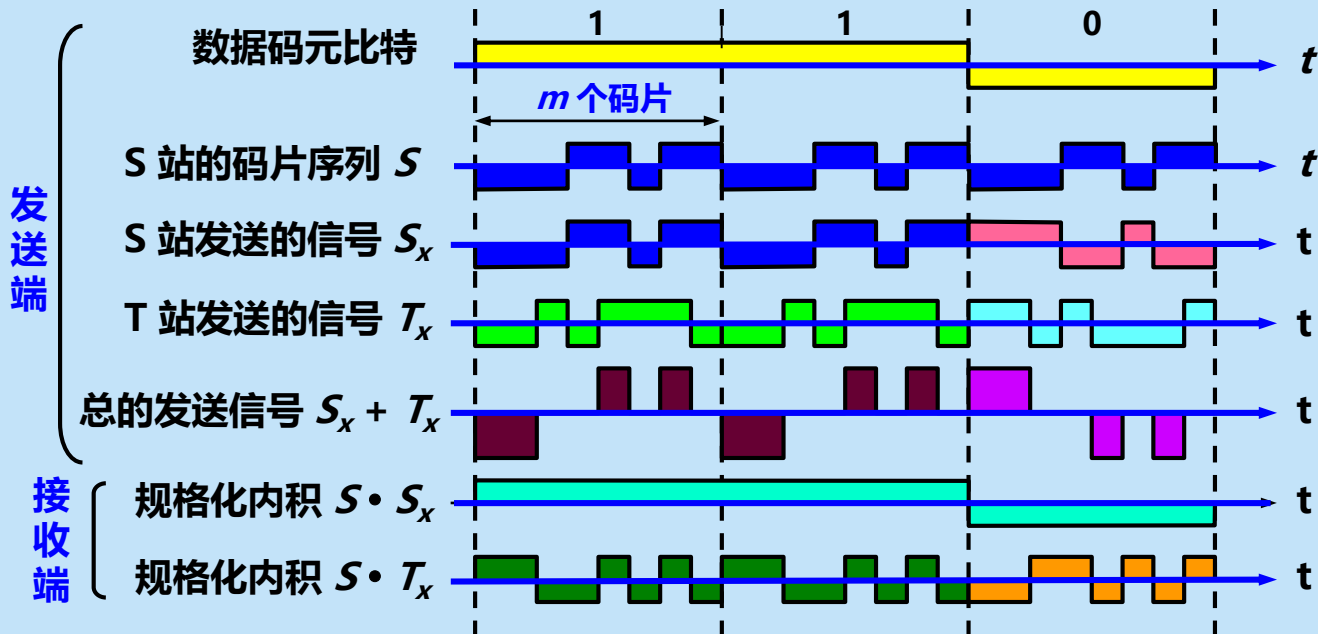
$$S \bullet S = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i S_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\pm 1)^2 = 1$$

- ◆ 一个码片向量和该码片反码的向量的规格化内积值是 -1。

$$S \bullet \bar{S} = -1$$



CDMA 工作原理



例：Ch2.4.3 CDMA图2-20.xlsx



2.5 数字传输系统

- 早期，电话网长途干线采用**频分复用 FDM** 的模拟传输方式。
- 目前，大都采用**时分复用 PCM** 的**数字传输方式**。
- 现代电信网业务括话音、视频、图像和各种数据业务。因此需要一种能承载来自其他**各种业务网络数据**的传输网络。
- 在数字化的同时，**光纤**开始成为长途干线最主要的传输媒体。



早期数字传输系统的缺点

- **速率标准不统一。** 两个互不兼容的国际标准：
 - ◆ 北美和日本的 T1 速率 (1.544 Mbit/s)
 - ◆ 欧洲的 E1 速率 (2.048 Mbit/s) 。
- **不是同步传输。** 主要采用准同步方式。
 - ◆ 各支路信号的时钟频率有一定的偏差，给时分复用和分用带来许多麻烦。



同步光纤网 SONET (Synchronous Optical Network)

- 1988年，美国推出第一个数字传输标准。
- 各级时钟都来自一个非常精确的主时钟。
- 为光纤传输系统定义了**同步传输**的线路速率等级结构：
 - ◆ 传输速率以 **51.84 Mbit/s** 为基础。对电信信号称为第 1 级同步传送信号 STS-1 (Synchronous Transport Signal)，对光信号则称为第 1 级光载波 OC-1 (Optical Carrier)。
 - ◆ 现已定义了从 51.84 Mbit/s (即 OC-1) 到 9953.280 Mbit/s (即 OC-192/STS-192) 的标准。



同步数字系列 SDH (Synchronous Digital Hierarchy)

- ITU-T 以美国标准 SONET 为基础制订的国际标准同步数字系列SDN。
- 与 SONET 的主要不同: SDH 的基本速率为 155.52 Mbit/s, 称为第 1 级同步传递模块 (Synchronous Transfer Module), 即 STM-1, 相当于 SONET 体系中的 OC-3 速率。



SONET 的 OC/STS 级与 SDH 的 STM 级的对应关系

线路速率(Mbit/s)	SONET符号	ITU-T符号	表示线路速率的常用近似值
51.840	OC-1/STS-1	—	
155.520	OC-3/STS-3	STM-1	155 Mbit/s
466.560	OC-9/STS-9	STM-3	
622.080	OC-12/STS-12	STM-4	622 Mbit/s
933.120	OC-18/STS-18	STM-6	
1244.160	OC-24/STS-24	STM-8	
2488.320	OC-48/STS-48	STM-16	2.5 Gbit/s
4976.640	OC-96/STS-96	STM-32	
9953.280	OC-192/STS-192	STM-64	10 Gbit/s
39813.120	OC-768/STS-768	STM-256	40 Gbit/s



SONET / SDH 标准的意义

- 定义了标准光信号，规定了波长为 1310 nm 和 1550 nm 的激光源。
- 在物理层定义了帧结构。
- 使北美、日本和欧洲这三个地区三种不同的数字传输体制在 STM-1 等级上获得了统一。
- 已成为公认的新一代理想的传输网体制。
- SDH 标准也适合于微波和卫星传输的技术体制。



2.6

宽带接入 技术

2.6.1

ADSL 技术

2.6.2

光纤同轴混合网 (HFC网)

2.6.3

FTTx 技术



2.6 宽带接入技术

- **宽带：**标准在不断提高。
- 美国联邦通信委员会 FCC 定义：

宽带下行速率达 25 Mbit/s, 宽带上行速率达 3 Mbit/s。

- 从宽带接入的媒体来看, 划分为 2 大类:
 - ◆ 有线宽带接入。
 - ◆ 无线宽带接入。



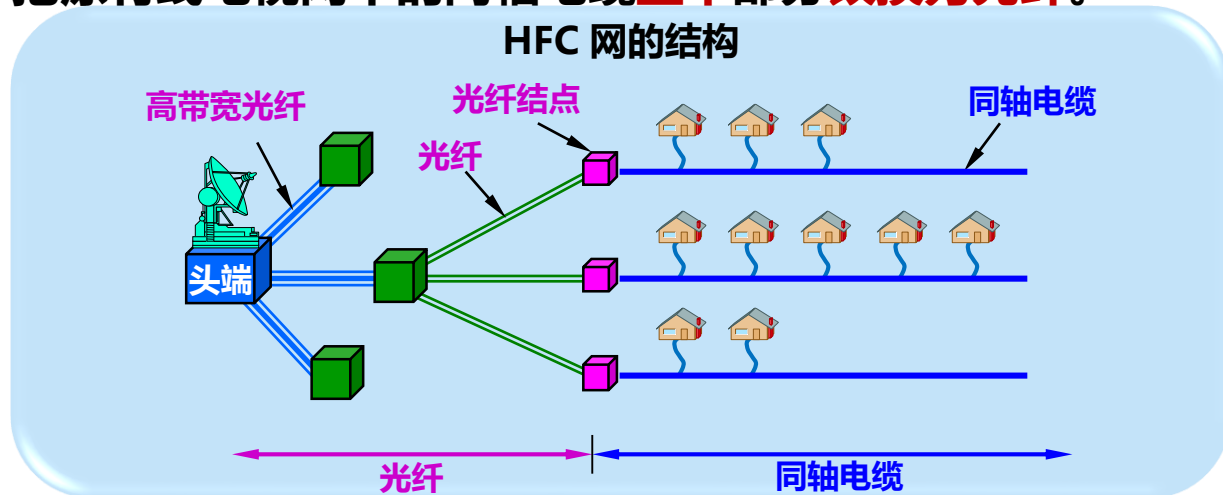
2.6.1 ADSL 技术

- **非对称数字用户线 ADSL** (Asymmetric Digital Subscriber Line) 技术：用**数字技术**对现有的**模拟电话用户线**进行改造，使它能够承载宽带业务。
- ADSL 技术把 0~4 kHz **低端频谱**留给传统**电话**使用，而把原来没有被利用的**高端频谱**留给用户**上网**使用。
- **ADSL 的 ITU 的标准**：G.992.1 (或称 G.dmt) 。
- **非对称**：下行 (从 ISP 到用户) 带宽**远大于**上行 (从用户到 ISP) 带宽。



2.6.2 光纤同轴混合网 (HFC 网)

- HFC (Hybrid Fiber Coax) 网基于有线电视网 CATV 网。
- **改造：**把原有线电视网中的同轴电缆**主干部分**改换为**光纤**。



光纤从头端连接到光纤节点。在光纤节点光信号被转换为电信号，然后通过同轴电缆传送到每个用户。

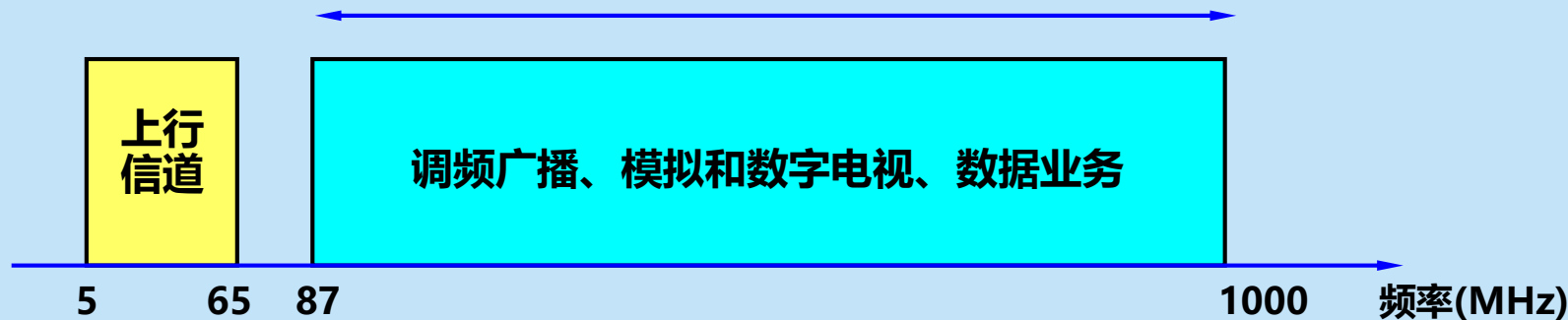
- 从头端到用户家庭所需的放大器数目减少到4~5个。
- 连接到一个光纤节点的典型用户数是500左右，不超过2000。
- 光纤节点头端的典型距离为25km，而从光纤节点到用户的距离不超过2~3km。



HFC 网具有双向传输功能，扩展了传输频带

我国的 HFC 网的频带划分

下行信道



原有有线电视网的最高传输频率是450MHz，且仅用于电视信号的下行传输。
改造后的HFC网具有双向传输功能，且扩展了传输频带。



2.6.3 FTTx 技术

- 用户上网速率升级。最高上网速率：光纤进入用户家门后，才把光信号转换为电信号。
- FTTx 代表多种宽带光纤接入方式。
- **FTTx** 表示 Fiber To The... (光纤到...)，例如：
 - ◆ 光纤到户 FTTH (Fiber To The Home)：在光纤进入用户的家门后，才把光信号转换为电信号
 - ◆ 光纤到大楼 FTTB (Fiber To The Building)
 - ◆ 光纤到路边 FTTC (Fiber To The Curb)
 - ◆ 光纤到小区 FTTZ (Fiber To The Zone)
 - ◆ 光纤到办公室 FTTO (Fiber To The Office)
 - ◆ 光纤到桌面 FTTD (Fiber To The Desk) 等
- 光配线网**ODN** (Optical Distribution Network)
 - ◆ 一个家庭用户远远用不了一根光纤的通信容量。
 - ◆ 为有效利用光纤资源，使数十个家庭用户能够共享一根光纤，在光纤干线和广大用户之间，需要铺设一段中间的转换装置即光配线网。

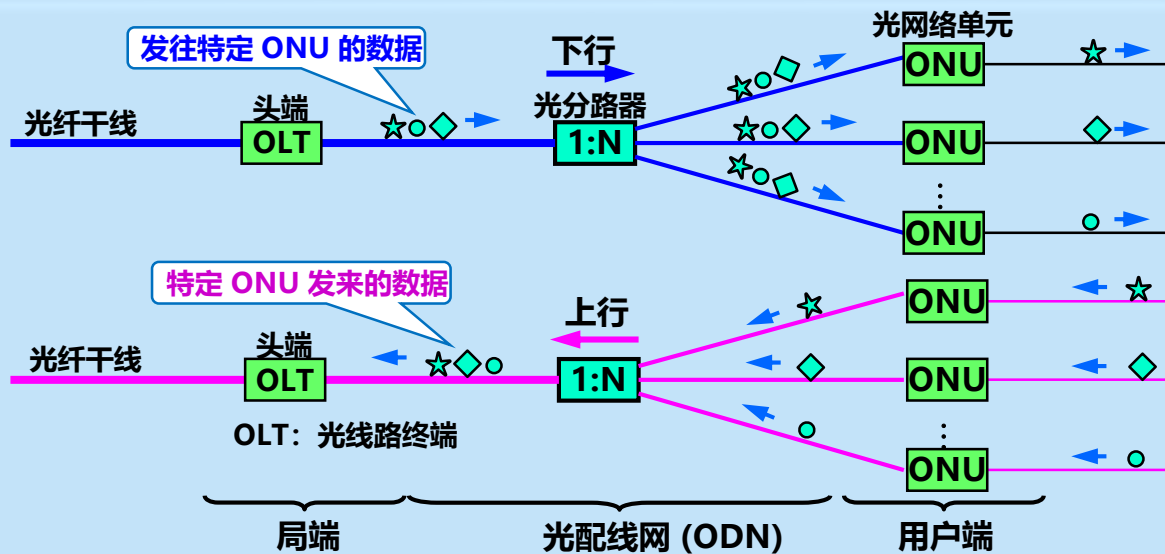


光配线网 ODN (Optical Distribution Network)

- 无源光网络PON (Passive Optical Network)
 - ◆ 在光配网中无须配备电源。因此, 基本不用维护, 长期运营成本和管理成本都很低。
- 2 种最流行的**无源光网络 PON (Passive Optical Network)**:
 - ◆ **以太网无源光网络 EPON (Ethernet PON)**
 - 在链路层使用以太网协议, 利用 PON 的拓扑结构实现以太网的接入。
 - 与现有以太网的兼容性好, 并且成本低, 扩展性强, 管理方便。
 - ◆ **吉比特无源光网络 GPON (Gigabit PON)**
 - 采用通用封装方法 GEM (Generic Encapsulation Method), 可承载多业务, 且对各种业务类型都能够提供服务质量保证, 总体性能比EPON好。
 - 成本稍高。
- **光线路终端OLT (Optical Line Terminal)** 是连接到光纤干线的终端设备。
- 采用**波分复用 WDM**, **上行和下行**分别使用**不同的波长**。



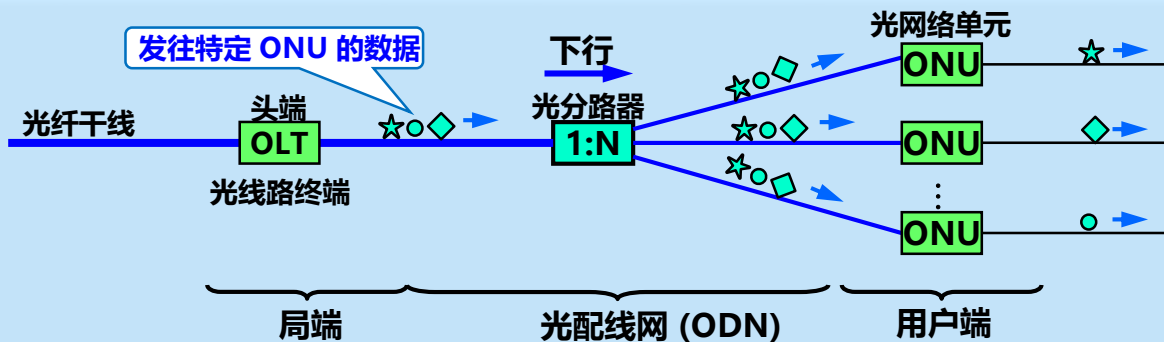
无源光网络 PON (Passive Optical Network) 的组成



光配线网 ODN (Optical Distribution Network): 位于光纤干线和广大用户之间。
无源的光配线网常称为无源光网络 PON (Passive Optical Network)。



无源光网络 PON (Passive Optical Network) 的组成



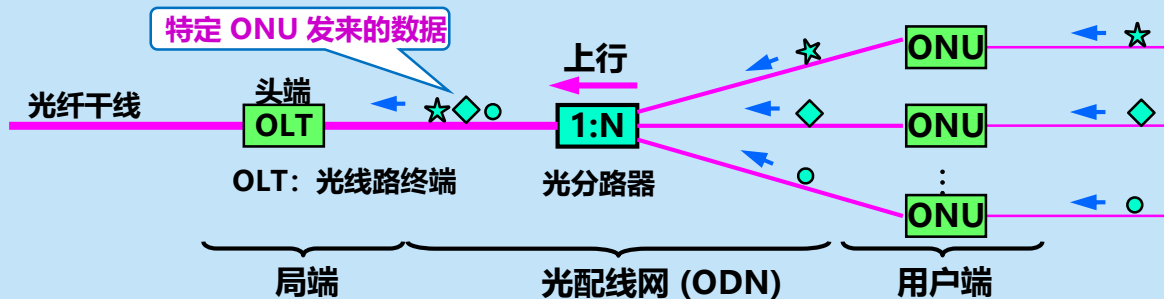
当OLT收到下行数据时

- ◆ OLT把收到的下行数据发往**无源的1:N光分路器** (Splitter),再用**广播方式**向所有用户端的**光网络单元ONU** (Optical Network Unit) 发送。
- ◆ 每个光网络单元ONU**只接收**发送给**自己的数据**,再**转换为电信号**发往用户家中。
- ◆ 每个光网络单元ONU到用户家中的距离依据具体情况而定,而OLT给各ONU分配适当的光功率。如ONU在家中,为光纤到户FTTH。

光线路终端OLT (Optical Line Terminal)



无源光网络 PON (Passive Optical Network) 的组成



当光网络单元ONU发送**上行数据**时

- ◆ 先把**电信号**转换为**光信号**
- ◆ **光分路器**把各光网络单元ONU发来的**上行数据****汇总**
- ◆ 以TDMA方式发往OLT，发送时间和长度都由OLT集中控制

TDMA: Time Division Multiple Access, 时分多址接入



本章作业

课后习题

2-01、2-03、2-07、2-08、2-09、2-11、2-12、2-13、2-14、2-15、2-16