



计算机网络

第 2 章 物理层（下）



回顾复习

1. 物理层协议的主要任务是哪两个？
2. 物理层的接口特性包括哪些？
3. 请绘制出数据通信系统的模型。
4. 奈氏准则指出，码元传输的速率提高可以解决码间串扰的问题。这个说法正确吗？
5. 假设信道的带宽为3 kHz，信道的极限信息传输速率为6 kbit/s，则这个信道的信噪比（S/N）为_____。
6. 适合远程通信的光纤是哪一种光纤？



（复习）物理层协议的主要任务

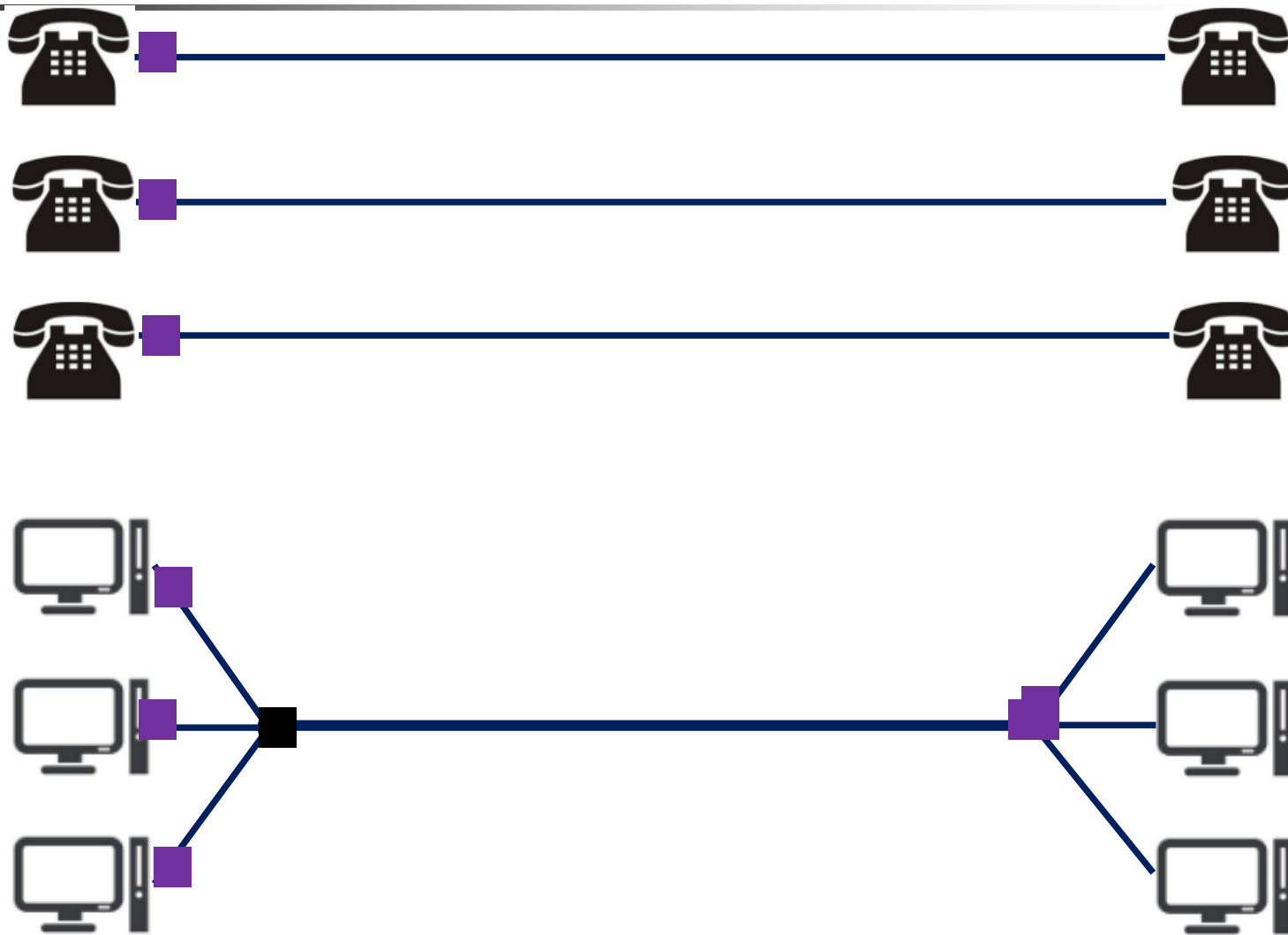
- 在连接各种计算机的传输媒体上传输数据比特流
- 尽可能地屏蔽各种媒体的差异-通信方式的不同



(复习)

- 数据通信的基础知识
 - 数据通信系统的模型
 - 有关信道的几个基本概念
 - 信道的极限容量
 - 信道的极限信息传输速率
- 物理层下面的传输媒体
 - 导向传输媒体
 - 非导向传输媒体

信道复用

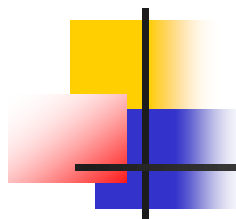




2.4 信道复用技术

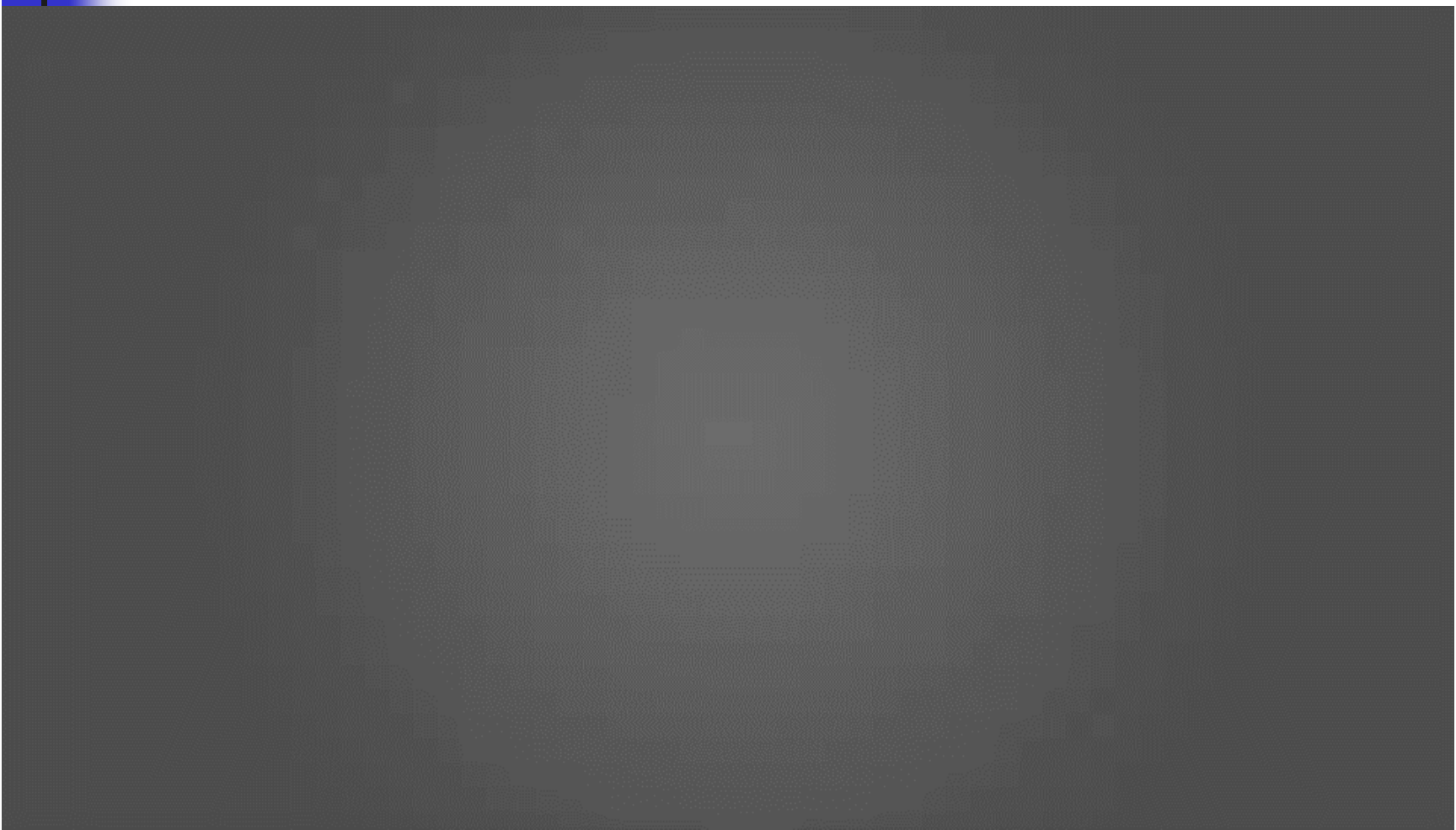
- 频分复用
- 时分复用
- 波分复用
- 码分复用

频分复用



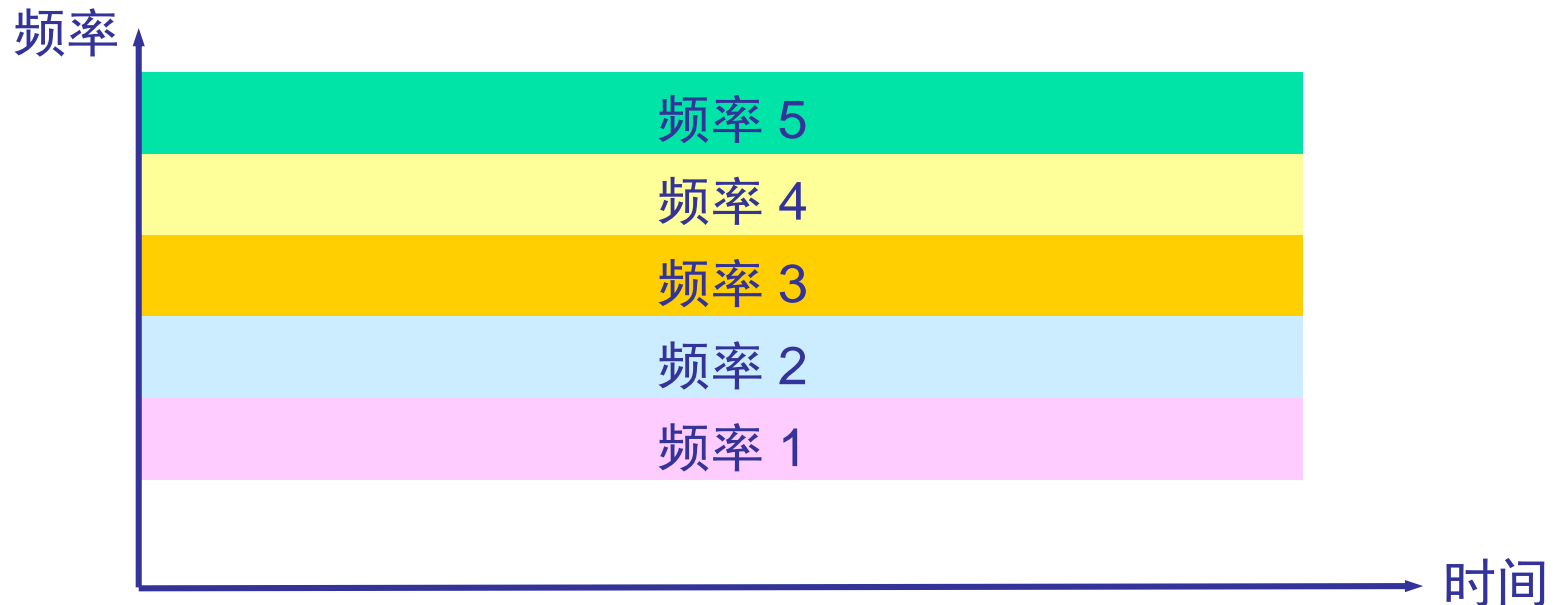


观看视频，理解频分复用



频分复用 FDM (Frequency Division Multiplexing)

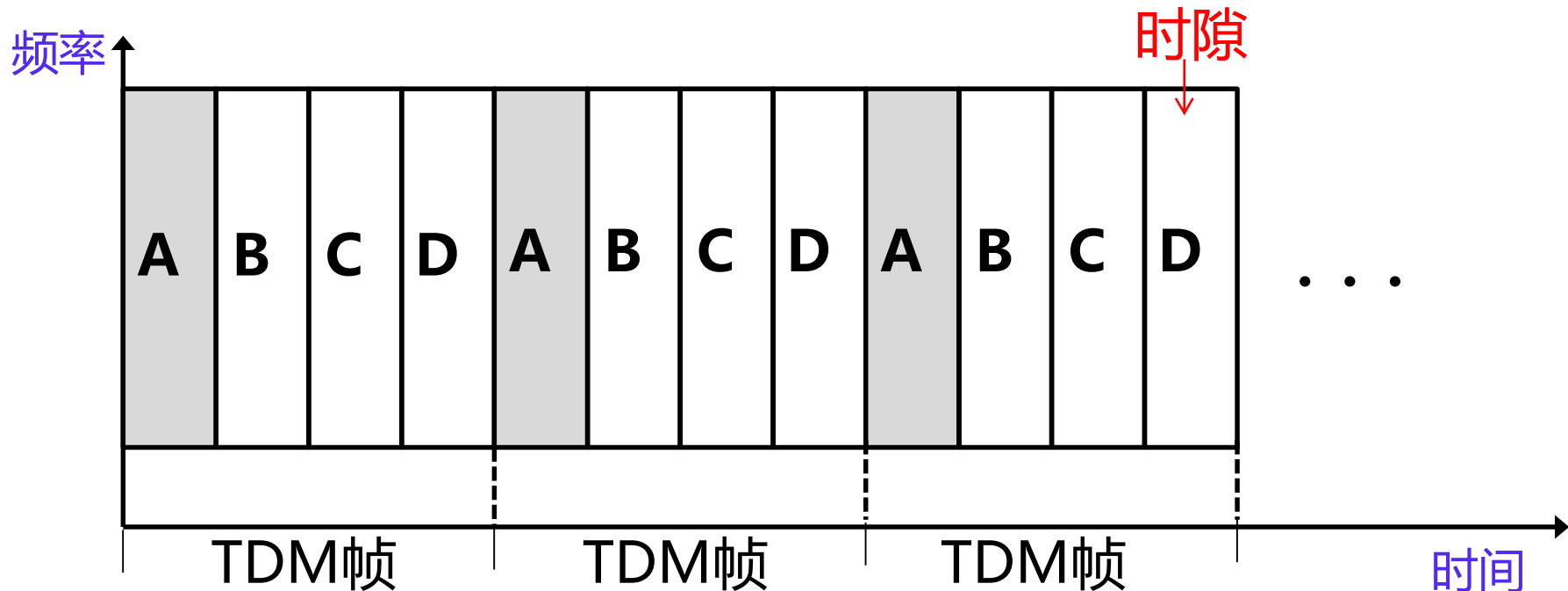
- 用户在分配到一定的频带后，在通信过程中自始至终都占用这个频带。
- **频分复用**的所有用户在同样的时间占用不同的带宽资源（请注意，这里的“带宽”是频率带宽而不是数据的发送速率）。
- 多用于模拟通信



时分复用TDM

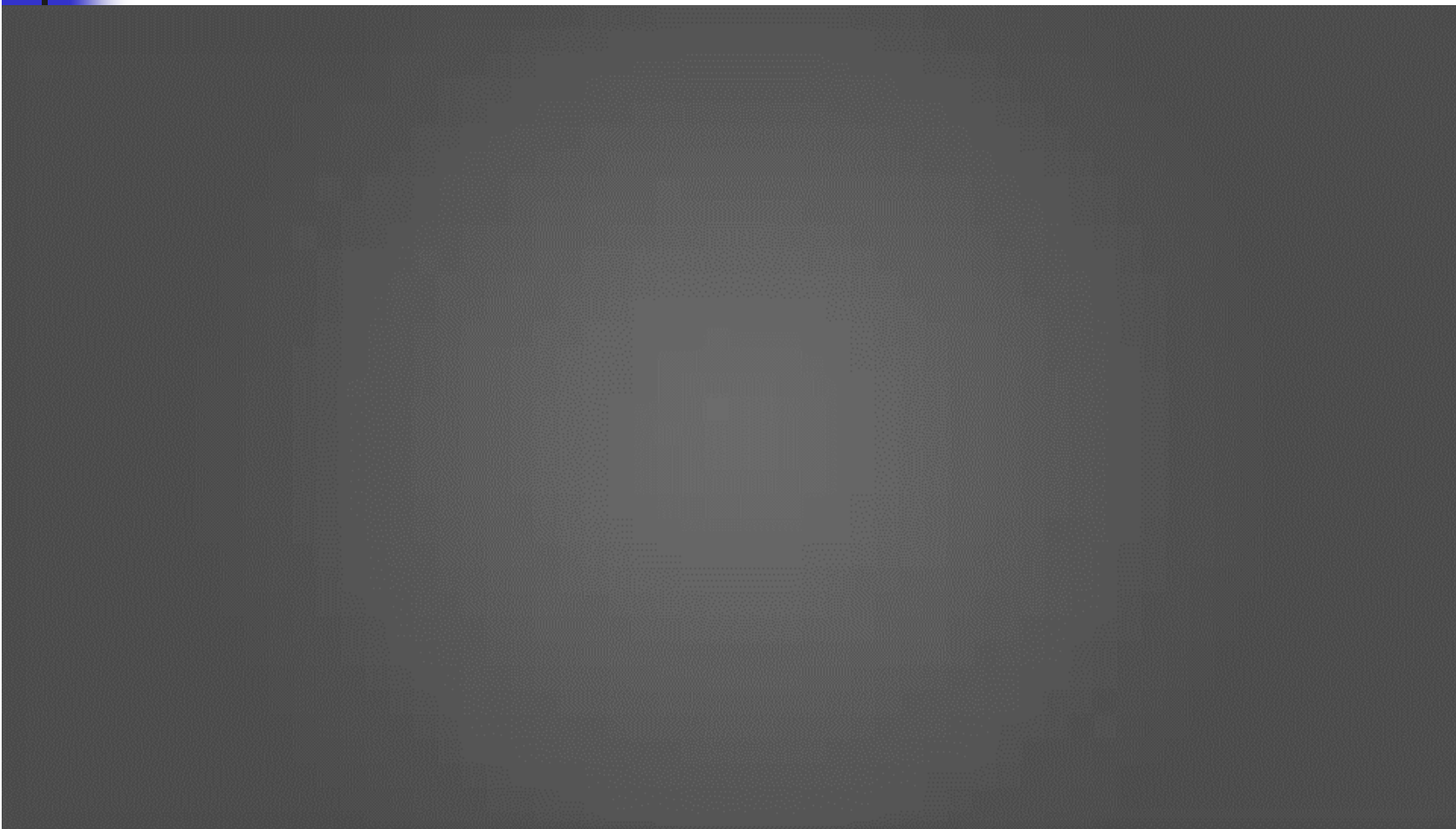
(Time Division Multiplexing)

- 时分复用: Time Division Multiplexing, TDM
- 不同用户在不同时间占据整条信道
- 每个用户的时隙顺序是一定的





观看视频，理解时分复用

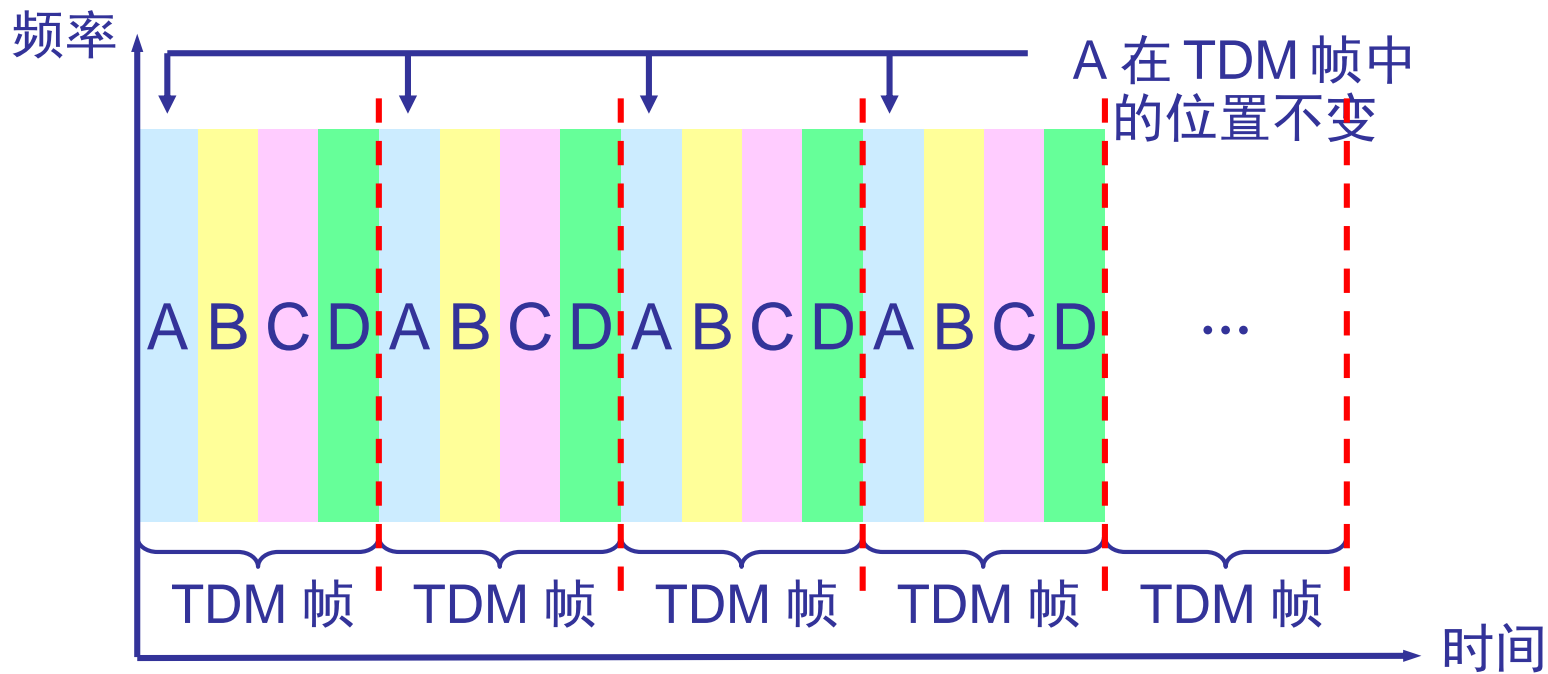


时分复用TDM

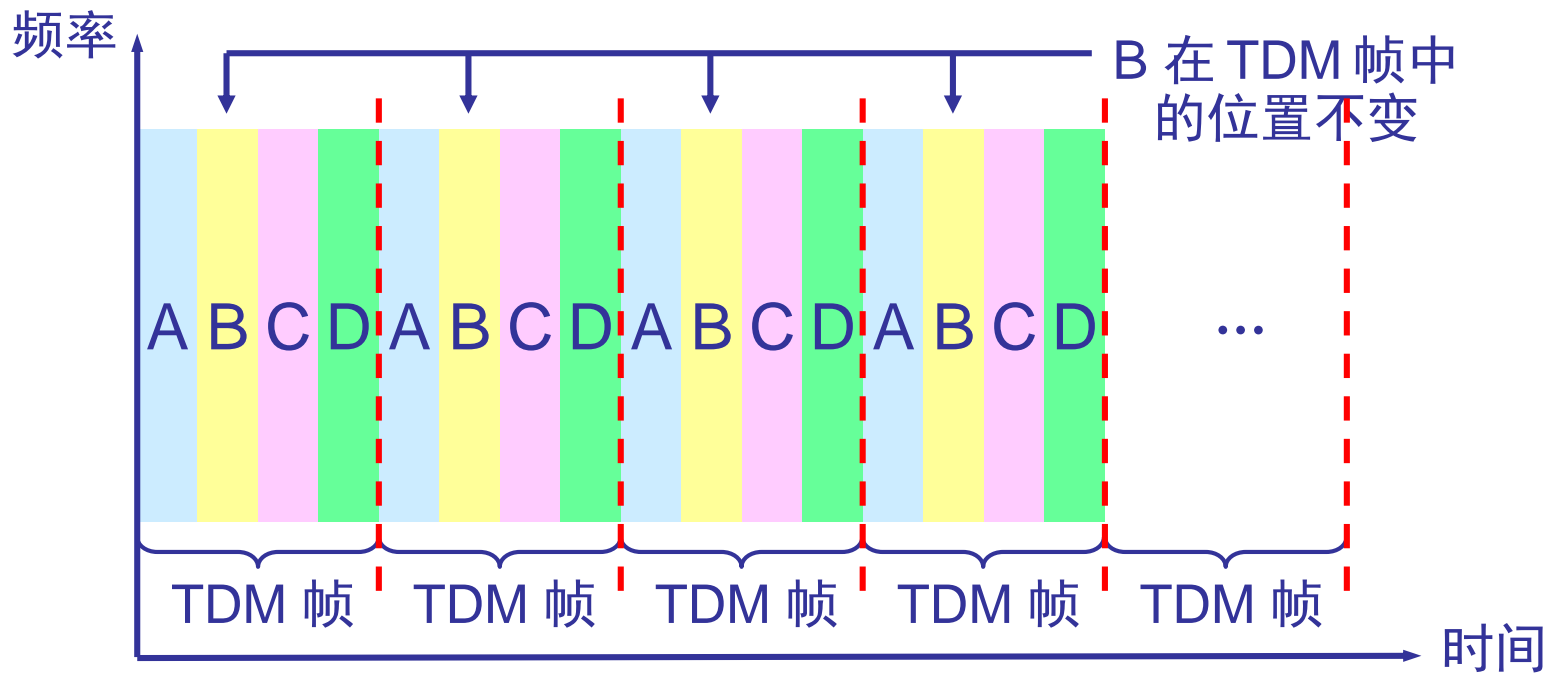
(Time Division Multiplexing)

- 时分复用则是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）。
- TDM 信号也称为等时(isochronous)信号。
- 时分复用的所有用户是在不同的时间占用同样的频带宽度。

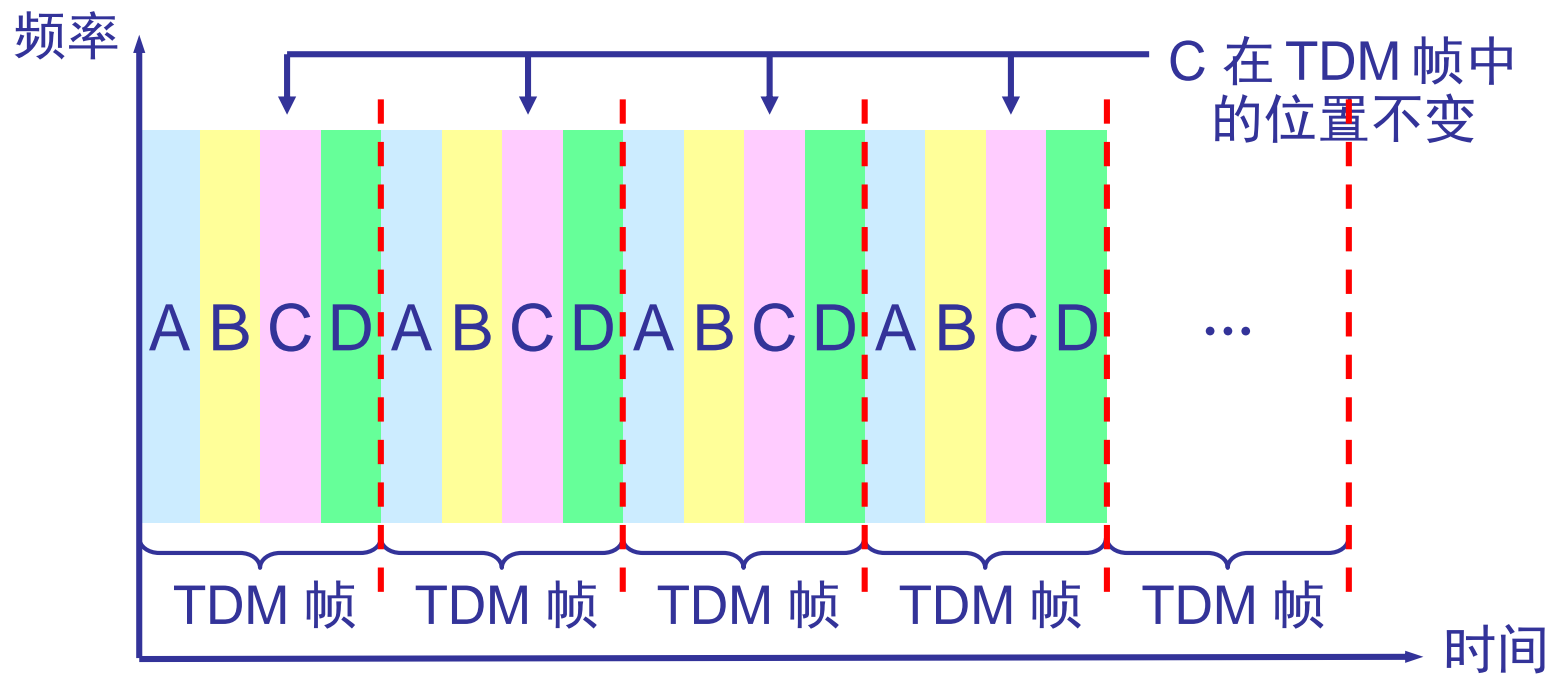
时分复用



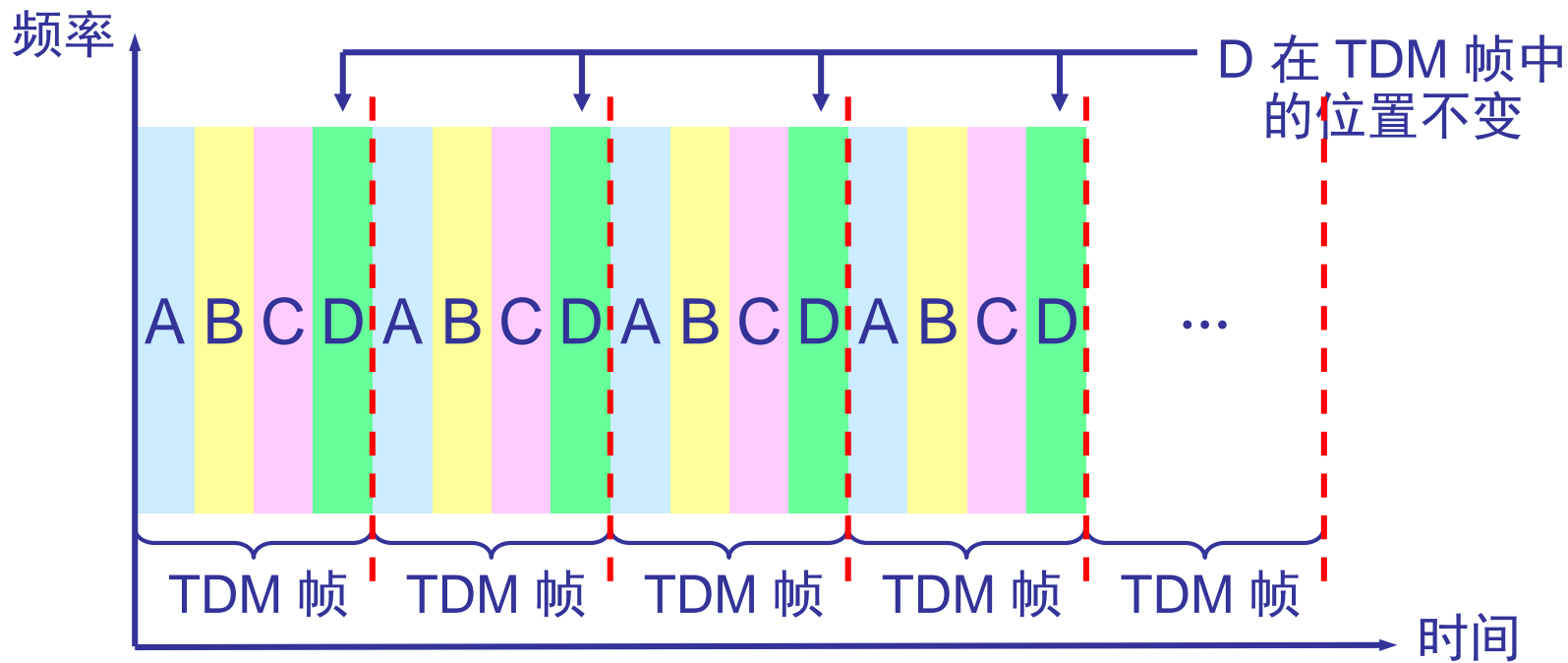
时分复用



时分复用



时分复用





时分多路复用技术

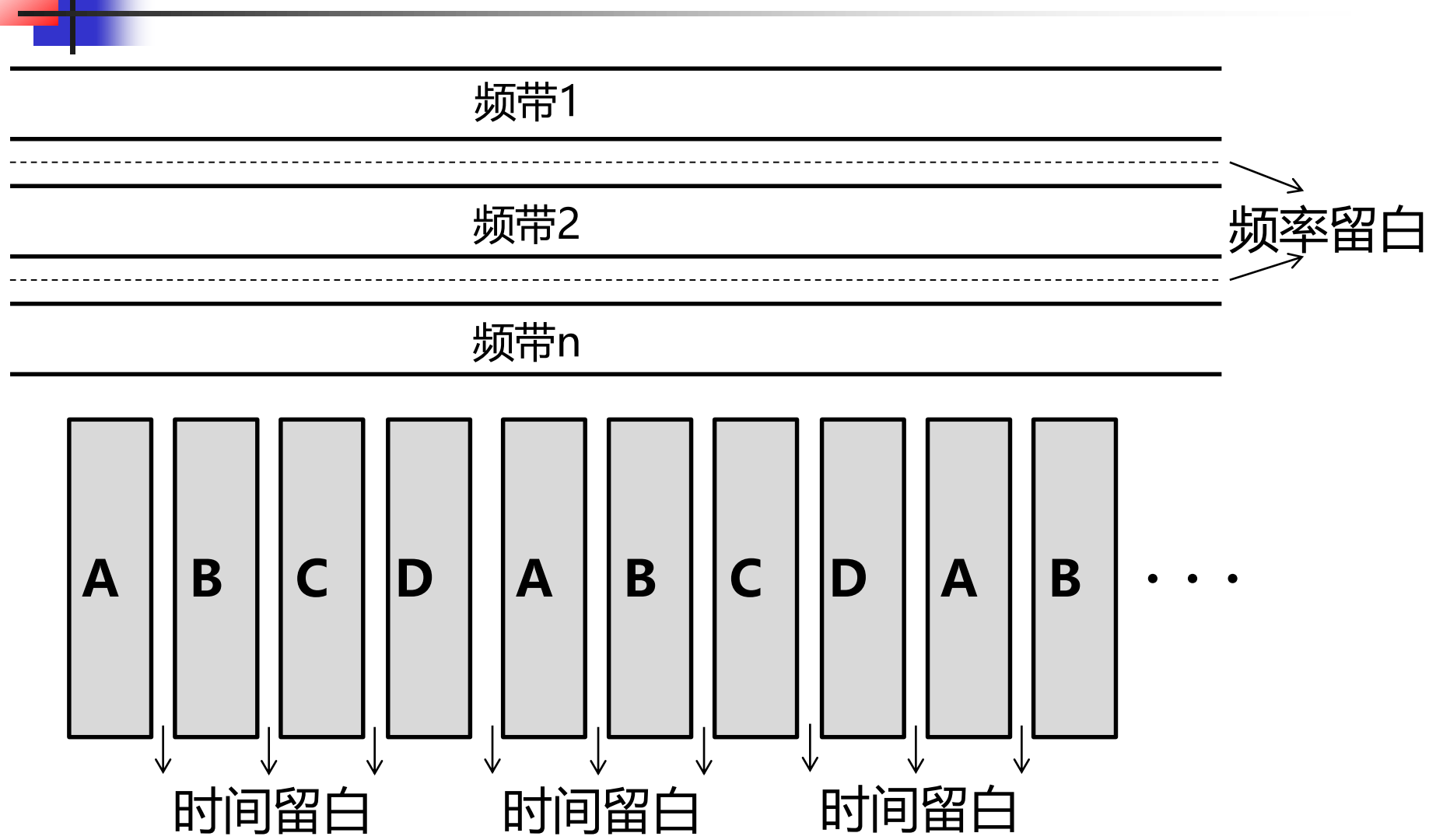
- 利用时间上离散的脉冲组成相互不重叠的多路信号
- 广泛应用于数字通信

时分复用-复用器与分用器

- 复用在硬件上借助复用器(multiplexer)和分用器 (demultiplexer)
- 复用器可以将不同发送端的频带信号合成为整条带宽信号，或者将时隙信号合成为TDM帧
- 分用器将整条带宽信号拆分为不同的频带信号，发送给不同接收端，或者将TDM帧拆分为时隙，发送给对应的接收端



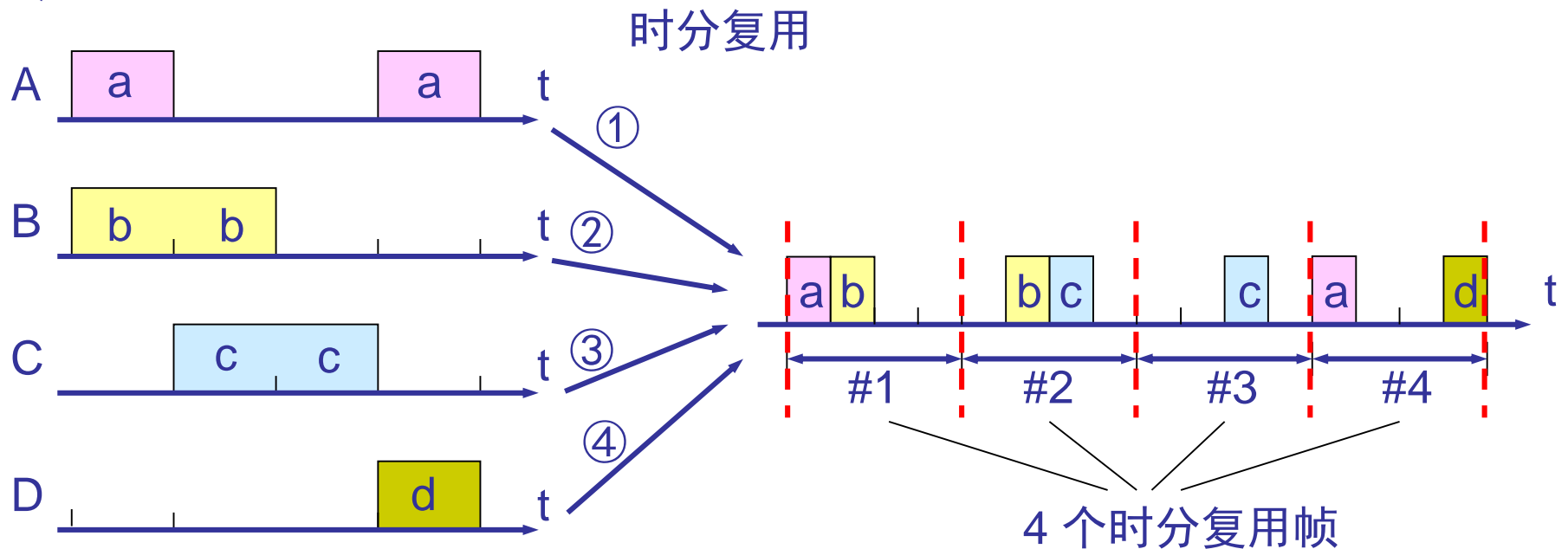
时分复用-信号间留白



时分复用可能会造成 线路资源的浪费

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质，用户对
分配到的子信道的利用率一般是不高的。

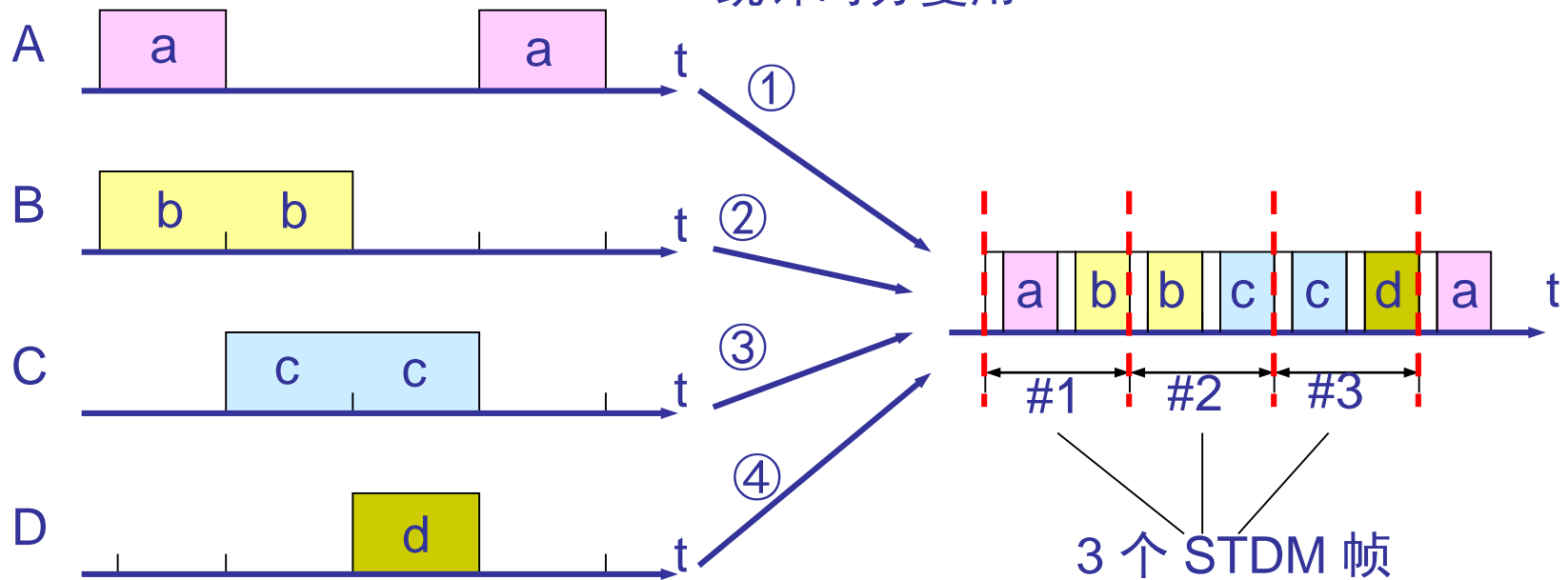
用户



统计时分复用 STDM (Statistic TDM)

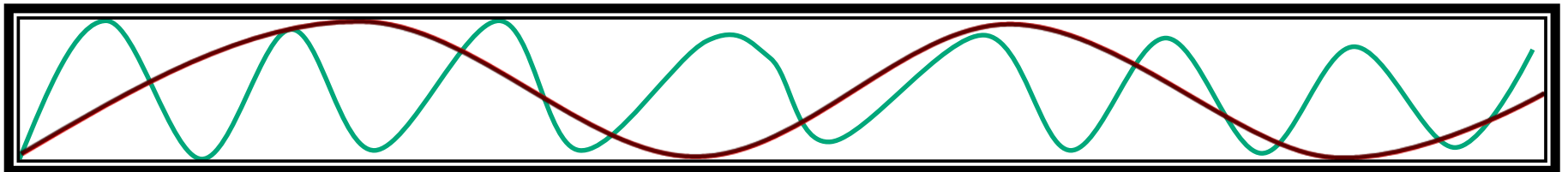
用户

统计时分复用



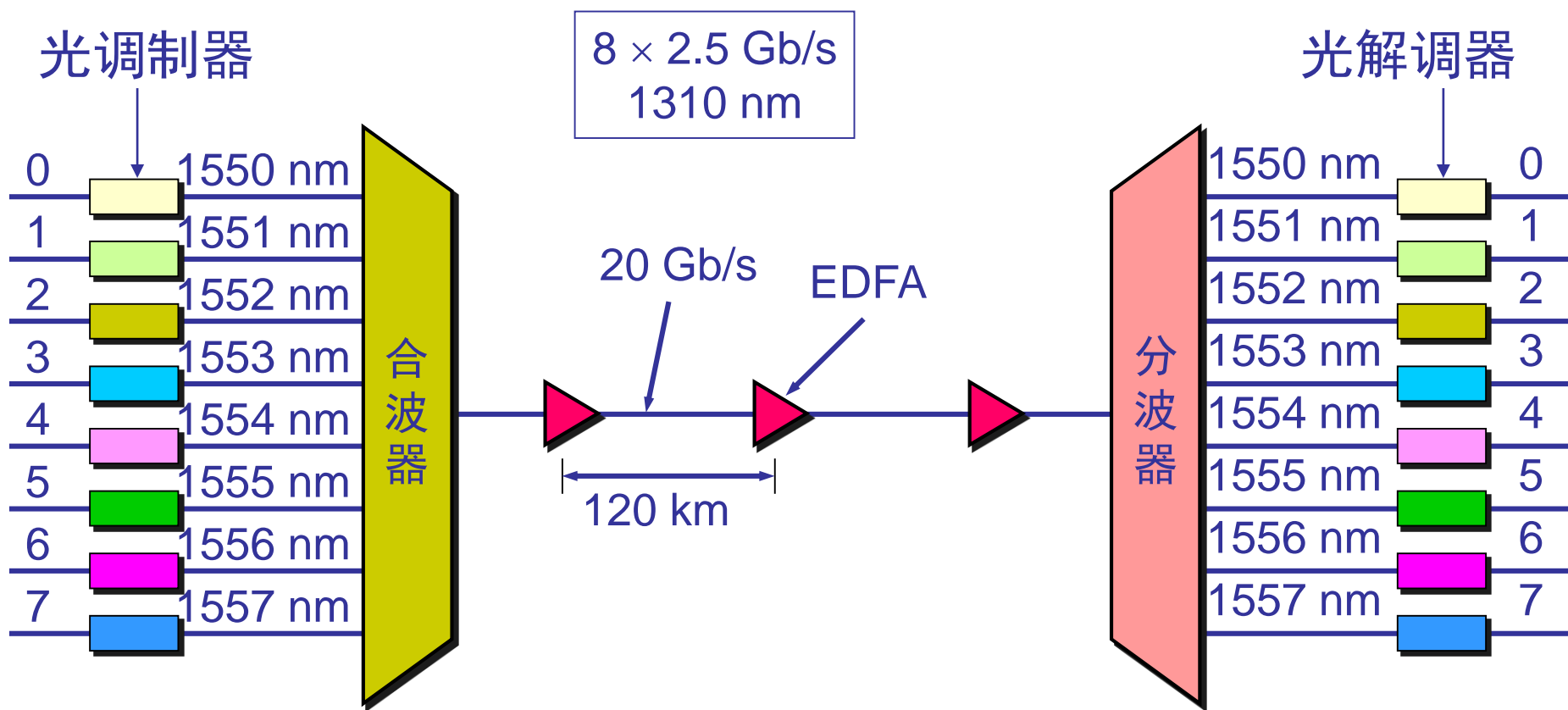
2.4.2 波分复用 WDM (Wavelength Division Multiplexing)

- 波分复用: Wavelength Division Multiplexing, WDM
光信号的频分复用
- 密集波分复用: Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM
- 在波分复用中, 复用器和分用器分别称为光复用器和光分用器 (分波器)
- 借助掺铒光纤放大器, 可以使一对分用器和复用器之间的无源传输达到600km



2.4.2 波分复用 WDM (Wavelength Division Multiplexing)

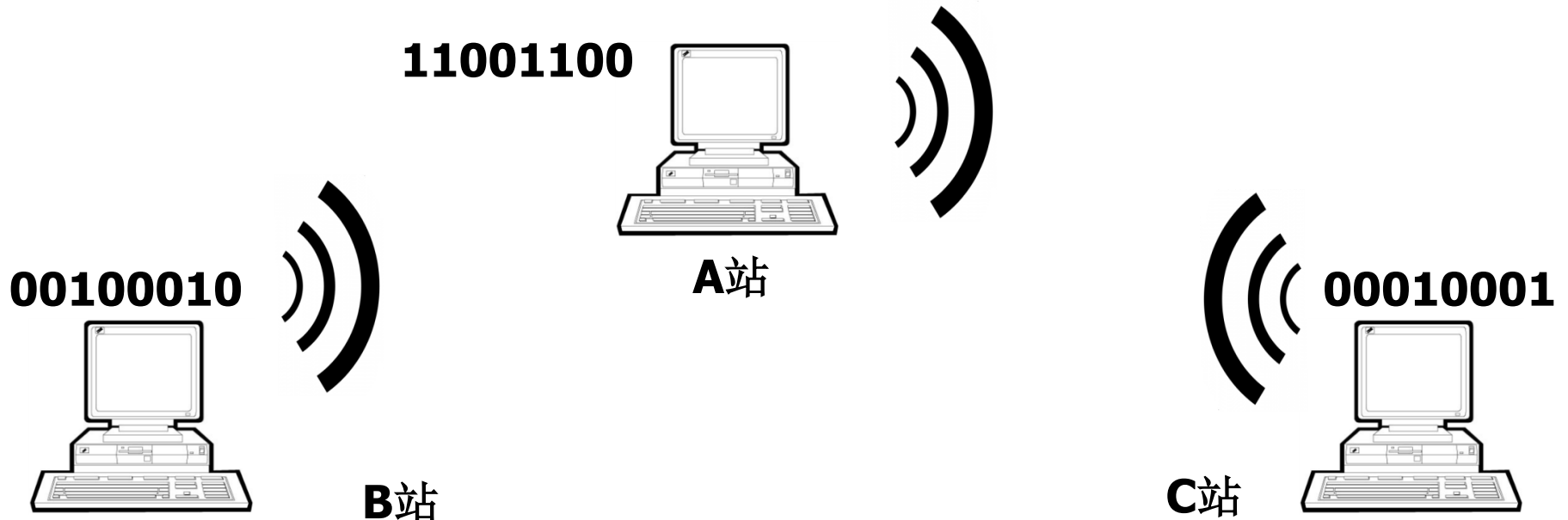
- 波分复用是光的频分复用。





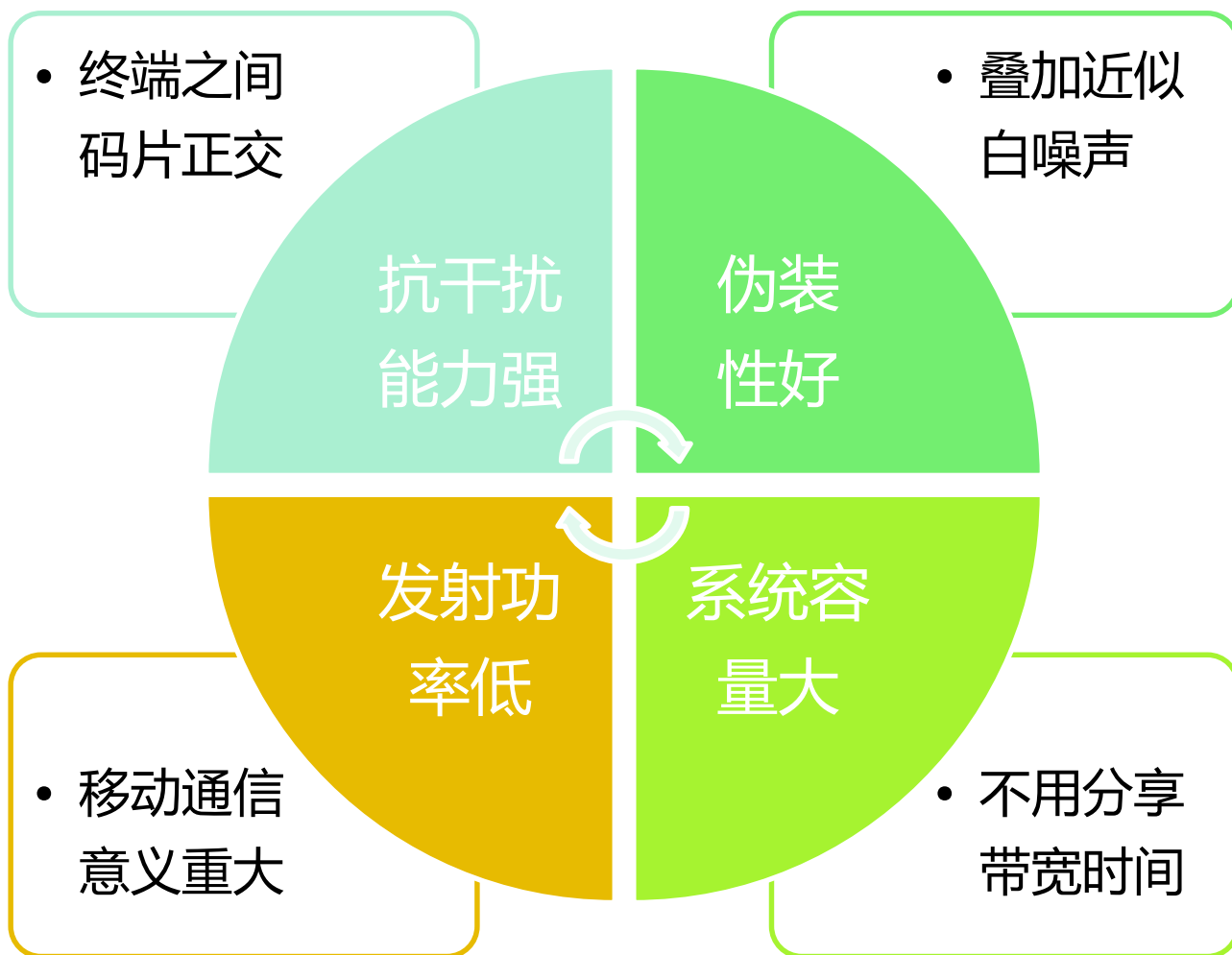
码分复用

- 码分复用：Code Division Multiplexing, CDM
- 码分多址接入：Code Division Multiple Access, CDMA
- 码片序列：通过m个二进制位表示二进制的1或0
- 各用户通过挑选不同的码型，避免相互之间的干扰



2.4.3 码分复用 CDM

(Code Division Multiplexing)



观看视频，理解码分复用场景

Original video:



LearnEngineering

翻译制作(已授权):



MecMon

关注我们:



搜索

Mec_Mon



weibo



bilibili



码片序列(chip sequence)

- 每个站被指派一个唯一的 m bit 码片序列。
 - 如发送比特 1, 则发送自己的 m bit 码片序列。
 - 如发送比特 0, 则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。
 - 发送比特 1 时, 就发送序列 00011011,
 - 发送比特 0 时, 就发送序列 11100100。
- S 站的码片序列: $(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)$



码片序列的正交关系

- 令向量 **S** 表示站 S 的码片向量，令 **T** 表示其他任何站的码片向量。
- 两个不同站的码片序列正交，就是向量 **S** 和 **T** 的规格化内积(inner product)都是 0：

$$\mathbf{S} \bullet \mathbf{T} \equiv \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i = 0 \quad (2-3)$$



码片序列的正交关系举例

- 令向量 **S** 为(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)，向量 **T** 为(-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1)。
- $$\sum_{i=1}^m S_i T_i$$
- 把向量 **S** 和 **T** 的各分量值代入(2-3)式就可看出这两个码片序列是正交的。



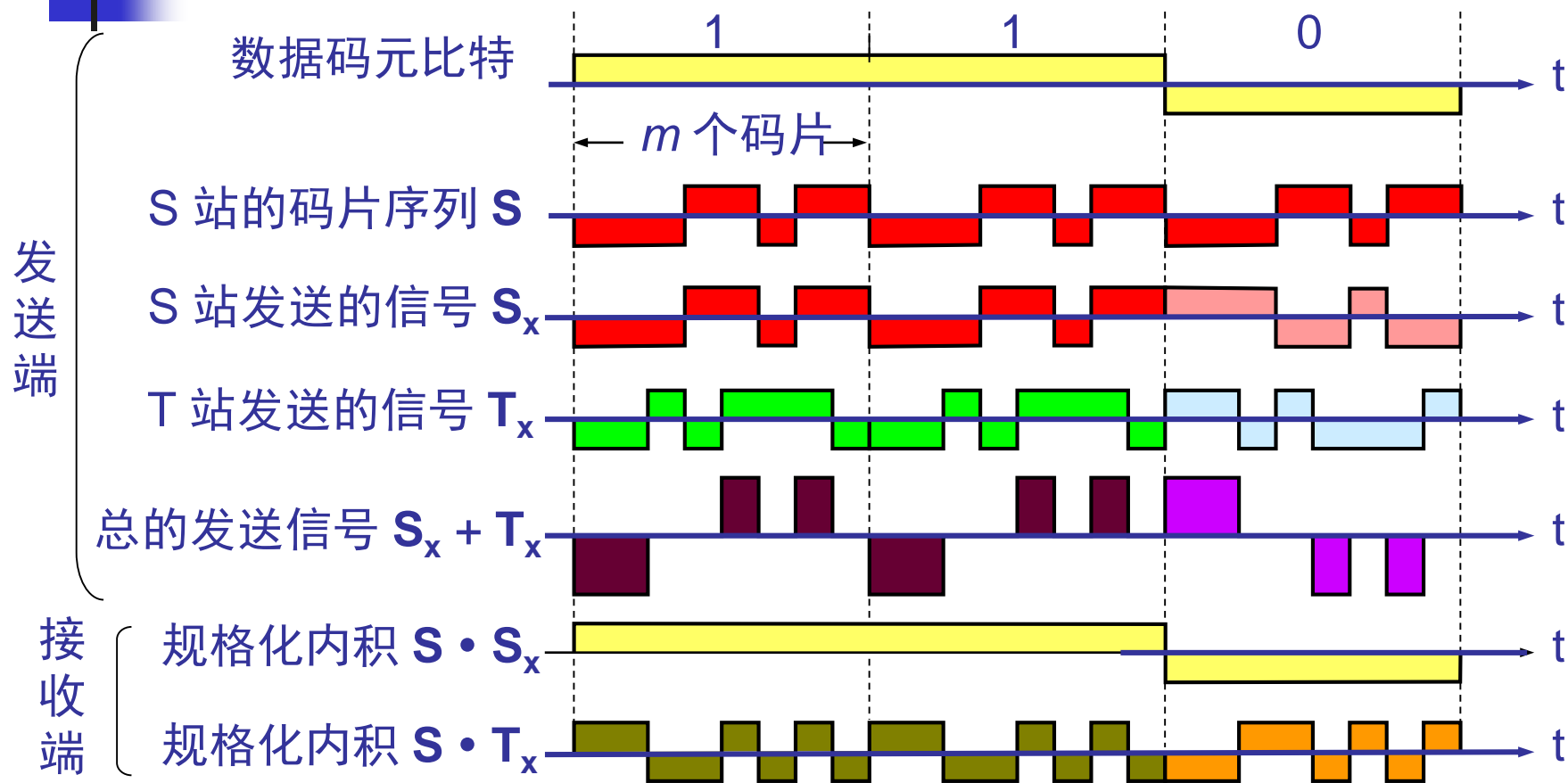
正交关系的另一个重要特性

- 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。

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

- 一个码片向量和该码片反码的向量的规格化内积值是 -1。

CDMA 的工作原理





练习题

1. 在信道复用技术中，所有用户在不同的时间使用同样的频带宽度，这指的信道复用技术是【单选】

A. 频分复用 B. 时分复用 C. 波分复用 D. 码分复用

2. 每一个用户可以在同样的时间使用同样的频带进行通信。由于各用户使用经过特殊挑选的不同码型，各用户之间并不会造成干扰，因此这种系统发送的信号有很强的抗干扰能力。请问这指的是哪一种复用？【单选】

A. FDM B. TDM C. STDM D. DWDM E. CDMA F. WDM

3. 简单题：为什么要使用信道复用技术？常用的信道复用技术有哪些？



练习题

4. 共有4个站进行码分多址通信。4个站的码片序列为

A: $(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)$

B: $(-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1)$

C: $(-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)$

D: $(-1 +1 -1 -1 -1 -1 +1 -1)$

现收到这样的码片序列S: $(-1 +1 -3 +1 -1 -3 +1 +1)$ 。问哪个站发送数据了？发送数据的站发送的是0还是1？

2.5 数字传输系统

1. 脉码调制 PCM 体制

- 脉码调制 PCM 体制最初是为了在电话局之间的中继线上传送多路的电话。
- PCM 两个国际标准，北美的 24 路 PCM（简称为 T1）和欧洲的 30 路 PCM（简称为 E1）。我国采用的是欧洲的 E1 标准。
- E1 速率: 2.048 Mb/s, T1 速率: 1.544 Mb/s。
- 当需要有更高的数据率时，可采用复用的方法。



2. 同步光纤网 SONET 和 同步数字系列 SDH

- 旧的数字传输系统存在着许多缺点。其中最主要的是以下两个方面：
- 速率标准不统一。
 - 如果不对高次群的数字传输速率进行标准化，国际范围的高速数据传输就很难实现。
- 不是同步传输。
 - 在过去相当长的时间，为了节约经费，各国的数字网主要是采用准同步方式。



同步光纤网 SONET

- **同步光纤网** SONET (Synchronous Optical Network) 的各级时钟都来自一个非常精确的主时钟。
- 第 1 级**同步传送信号** STS-1 (Synchronous Transport Signal)的传输速率: 51.84 Mb/s。
- 光信号则称为第 1 级**光载波** OC-1, OC 表示 Optical Carrier。



同步数字系列 SDH

- ITU-T 以美国标准 SONET 为基础，制订出国际标准**同步数字系列** SDH (Synchronous Digital Hierarchy)。
- 一般可认为 SDH 与 SONET 是同义词。
- SDH 的基本速率为 155.52 Mb/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 级/STS 级与 SDH 的 STM 级的对应关系

线路速率 (Mb/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 Mb/s
466.560	OC-9/STS-9	STM-3	
622.080	OC-12/STS-12	STM-4	622 Mb/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 Gb/s
4976.640	OC-96/STS-96	STM-32	
9953.280	OC-192/STS-192	STM-64	10 Gb/s
39813.120	OC-768/STS-768	STM-256	40 Gb/s

2.6 宽带接入技术

2.6.1 xDSL技术

- xDSL 技术就是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。
- 虽然标准模拟电话信号的频带被限制在 300~3400 Hz 的范围内，但用户线本身实际可通过的信号频率仍然超过 1 MHz。
- xDSL 技术就把 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。
- DSL 就是数字用户线(Digital Subscriber Line)的缩写。而 DSL 的前缀 x 则表示在数字用户线上实现的不同宽带方案。



观看视频，理解宽带接入过程



xDSL 的几种类型

- ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line): 非对称数字用户线
- HDSL (High speed DSL): 高速数字用户线
- SDSL (Symmetric DSL): 对称数字用户线
- VDSL (Very high speed DSL): 甚高速数字用户线
- RADSL (Rate-Adaptive DSL): 速率自适应 DSL, 是 ADSL 的一个子集, 可自动调节线路速率)。



ADSL 的极限传输距离

- ADSL 的极限传输距离与数据率以及用户线的线径都有很大的关系（**用户线越细，信号传输时的衰减就越大**），而所能得到的最高数据传输速率与实际的用户线上的信噪比密切相关。
- 例如，0.5 毫米线径的用户线，传输速率为 1.5 ~ 2.0 Mb/s 时可传送 5.5 公里，但当传输速率提高到 6.1 Mb/s 时，传输距离就缩短为 3.7 公里。
- 如果把用户线的线径减小到 0.4 毫米，那么在 6.1 Mb/s 的传输速率下就只能传送 2.7 公里



ADSL 的特点

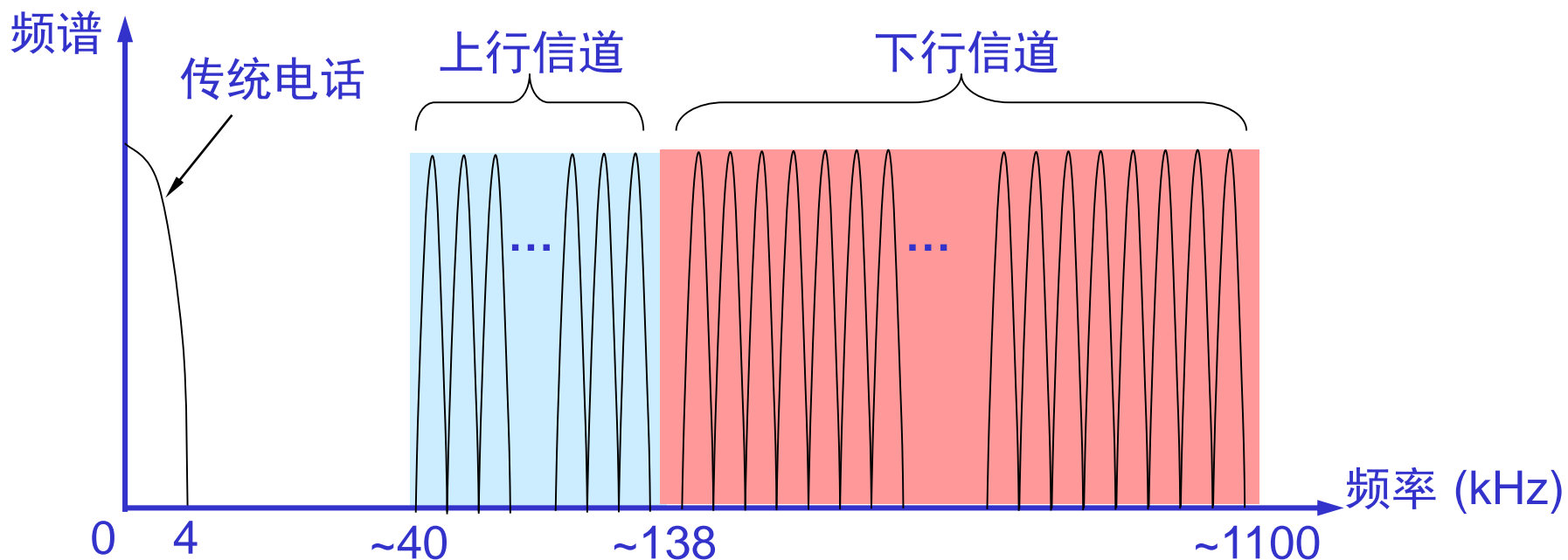
- 上行和下行带宽做成不对称的。
- 上行指从用户到 ISP，而下行指从 ISP 到用户。
- ADSL 在用户线（铜线）的两端各安装一个 ADSL 调制解调器。
- 我国目前采用的方案是**离散多音调 DMT** (Discrete Multi-Tone)调制技术。这里的“多音调”就是“**多载波**”或“**多子信道**”的意思。
- 可以使用现有电话线



DMT 技术

- DMT 调制技术采用频分复用的方法，把 40 kHz 以上一直到 1.1 MHz 的高端频谱划分为许多的子信道，其中 25 个子信道用于上行信道，而 249 个子信道用于下行信道。
- 每个子信道占据 4 kHz 带宽（严格讲是 4.3125 kHz），并使用不同的载波（即不同的音调）进行数字调制。这种做法相当于在一对用户线上使用许多小的调制解调器**并行地**传送数据。

DMT 技术的频谱分布

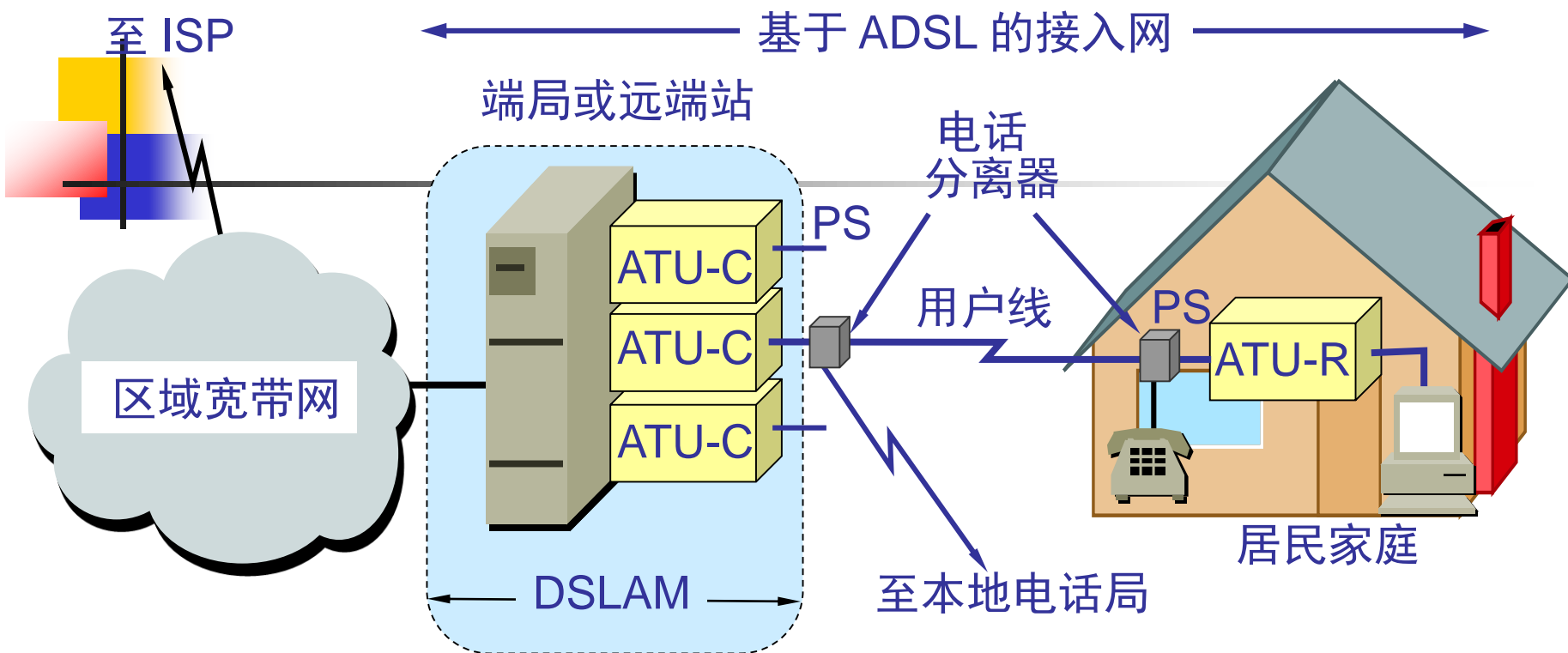




ADSL 的数据率

- 由于用户线的**具体条件往往相差很大**（距离、线径、受到相邻用户线的干扰程度等都不同），因此 ADSL 采用**自适应调制技术**使用户线能够传送尽可能高的数据率。
- 当 ADSL 启动时，用户线两端的 ADSL 调制解调器就**测试可用的频率**、各子信道受到的干扰情况，以及在每一个频率上测试信号的传输质量。
- ADSL 不能保证固定的数据率。对于质量很差的用户线甚至无法开通 ADSL。
- 通常下行数据率在 32 kb/s 到 6.4 Mb/s 之间，而上行数据率在 32 kb/s 到 640 kb/s 之间。

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)
ATU-R (R 代表远端 Remote)
电话分离器 PS (POTS Splitter)

第二代 ADSL

ADSL2 (G.992.3 和 G.992.4)

ADSL2+ (G.992.5)

- 通过提高调制效率得到了**更高的数据率**。例如，ADSL2 要求至少应支持下行 8 Mb/s、上行 800 kb/s 的速率。而 ADSL2+ 则将频谱范围从 1.1 MHz 扩展至 2.2 MHz，下行速率可达 16 Mb/s（最大传输速率可达 25 Mb/s），而上行速率可达 800 kb/s。
- 采用了**无缝速率自适应技术** SRA (Seamless Rate Adaptation)，可在运营中不中断通信和不产生误码的情况下，**自适应**地调整数据率。
- 改善了线路质量评测和故障定位功能，这对提高网络的**运行维护水平**具有非常重要的意义。



2.6.2 光纤同轴混合网

HFC (Hybrid Fiber Coax)

- HFC 网是在目前覆盖面很广的**有线电视网** CATV 的基础上开发的一种居民宽带接入网。
- HFC 网除可传送 CATV 外，还提供电话、数据和其他宽带交互型业务。
- 现有的 CATV 网是树形拓扑结构的同轴电缆网络，它采用**模拟技术的频分复用**对电视节目进行单向传输。
- HFC 网需要对 CATV 网进行改造。

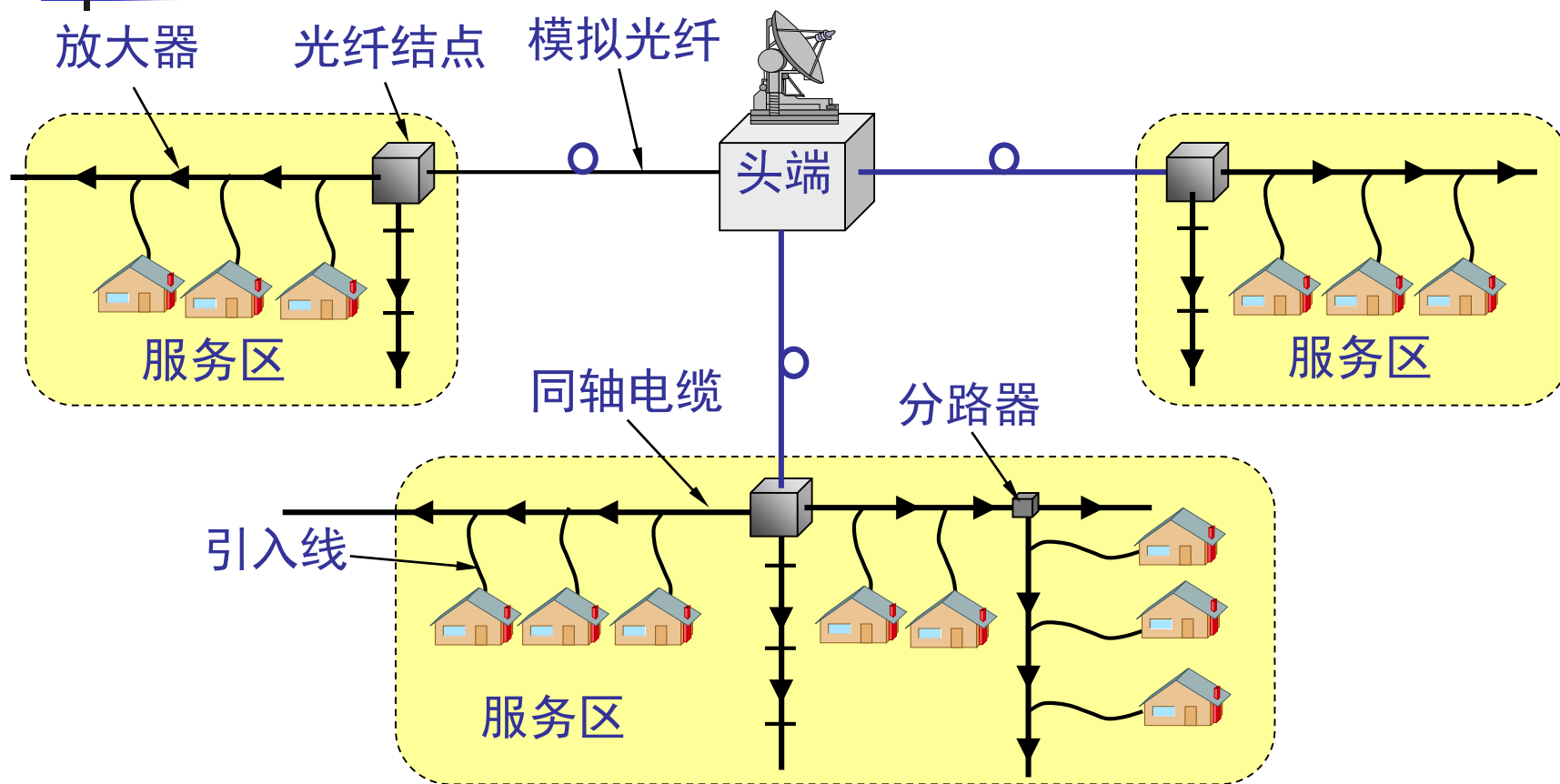


HFC 的主要特点

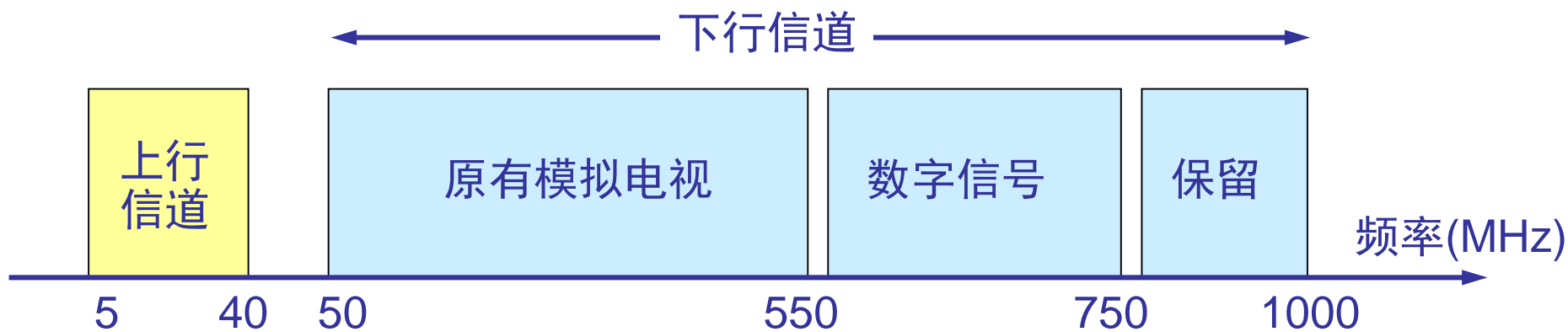
(1) HFC网的主干线路采用光纤

- HFC 网将原 CATV 网中的同轴电缆主干部分改换为光纤，并使用**模拟光纤技术**。
- 在模拟光纤中采用光的振幅调制 AM，这比使用数字光纤更为经济。
- 模拟光纤从头端连接到**光纤结点**(fiber node)，即**光分配结点** ODN (Optical Distribution Node)。在光纤结点光信号被转换为电信号。在光纤结点以下就是同轴电缆。

(2) HFC 网采用结点体系结构



(3) HFC 网具有比 CATV 网更宽的频谱，且具有双向传输功能





(4) 每个家庭要安装一个用户接口盒

- **用户接口盒** UIB (User Interface Box) 要提供三种连接，即：
 - 使用同轴电缆连接到**机顶盒**(set-top box)，然后再连接到用户的电视机。
 - 使用双绞线连接到用户的电话机。
 - 使用电缆调制解调器连接到用户的计算机。



电缆调制解调器(cable modem)

- **电缆调制解调器**是为 HFC 网而使用的调制解调器。
- 电缆调制解调器最大的特点就是传输速率高。其下行速率一般在 3~10 Mb/s 之间，最高可达 30 Mb/s，而上行速率一般为 0.2~2 Mb/s，最高可达 10 Mb/s。
- 电缆调制解调器比在普通电话线上使用的调制解调器要复杂得多，并且不是成对使用，而是只安装在用户端。



HFC 网的优点与问题

- 具有很宽的频带，并且能够利用已经有相当大的覆盖面的有线电视网。
- 要将现有的 450 MHz 单向传输的有线电视网络改造为 750 MHz 双向传输的 HFC 网（还要将所有的用户服务区互连起来而不是一个个 HFC 网的孤岛），也需要**相当的资金和时间**。
- 在电信政策方面也有一些需要协调解决的问题。



2.6.3 FTTx 技术

- FTTx（光纤到……）：另一种实现宽带居民接入网的方案。这里字母 x 可代表不同意思。
- **光纤到家** FTTH (Fiber To The Home)：光纤一直铺设到用户家庭可能是居民接入网最后的解决方法。
- **光纤到大楼** FTTB (Fiber To The Building)：光纤进入大楼后就转换为电信号，然后用电缆或双绞线分配到各用户。
- **光纤到路边** FTTC (Fiber To The Curb)：从路边到各用户可使用星形结构双绞线作为传输媒体。



2.6.3 FTTx 技术

- 为了有效地利用光纤资源，需要在光纤干线和用户之间铺设一段中间的转换装置，叫做**光配线网**（Optical Distribution Network, ODN）。
- 无需配备电源的光配线网叫做**无源光网络**（Passive Optical Network, PON）
- 在链路层**使用以太网协议**（802.3）的无源光网络称作**EPON**（Ethernet PON），与以太网兼容性好、成本低，易于维护
- **GPON**是基于**ITU-TG.984.x**标准的最新一代宽带无源光综合接入标准，具有高带宽，高效率，大覆盖范围，用户接口丰富等众多优点



电缆、xDSL与与光纤的对比



练习题

1. 需要对模拟电话用户线进行改造，从而支持宽带数字业务，这指的是
A. ADSL技术 B. HFC网技术 C. FTTx技术 D. CDMA技术
2. SONET指的是
A. 第1级同步传递模块 B. 同步光纤网
C. 同步数字系列 D. 光载波
3. 可以利用现有电话网中的用户线，不需要重新布线。这指的是哪一种接入技术？
A. FTTx B. HFC C. ADSL
4. 以太网无源光网络的英文缩写是什么？
A. EPON B. GPON
5. 在通信中，双方的时钟要调整到同一个频率，这是指哪一种通信方式？
A. 异步通信 B. 同步通信



练习题

6. 目前覆盖面很广的有线电视网 CATV 的基础上开发的一种居民宽带接入网，这是指什么网？

A. HFC B. ADSL C. SONET D. DTM

7. FTTB指的是

A. 光纤到家

B. 光纤到大楼

C. 光纤到路边



课后练习

- 复习前次课：2-01——2-06
- 本次课：2-13——2-19

其中2-16要有详细的计算过程



课后任务

- 预习数据链路层的前三小节，带着问题来听课
- 想想我们日常生活中哪些常见的名词、技术，是数据链路层的概念