



西北師範大學
NORTHWEST NORMAL UNIVERSITY

計算機網絡

物理層 (2)

陳旺虎

chenwh@nwnu.edu.cn



第 2 章 物理层

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

Review



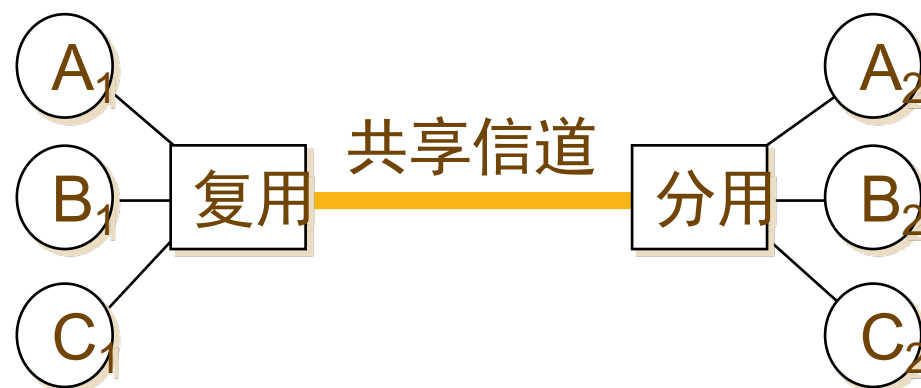
- 物理层的任务
- 信道极限容量

2.4 信道复用技术

- 复用(multiplexing)—共享信道进行通信
 - 通信技术中的基本概念



(a) 不使用复用技术



(b) 使用复用技术

多路复用的优点

- 所需介质少，传输介质的容量可以得到充分利用
- 降低了设备费用，提高了工作效率
- 多路复用系统对用户是透明的
 - ▣ 用户不需要进行任何实际的修改
- 时间延迟较少
 - ▣ 线路中用的缓冲部件较少

2.4.1 频分复用、时分复用和统计时分复用

最基本的两种复用方式

□ 频分复用

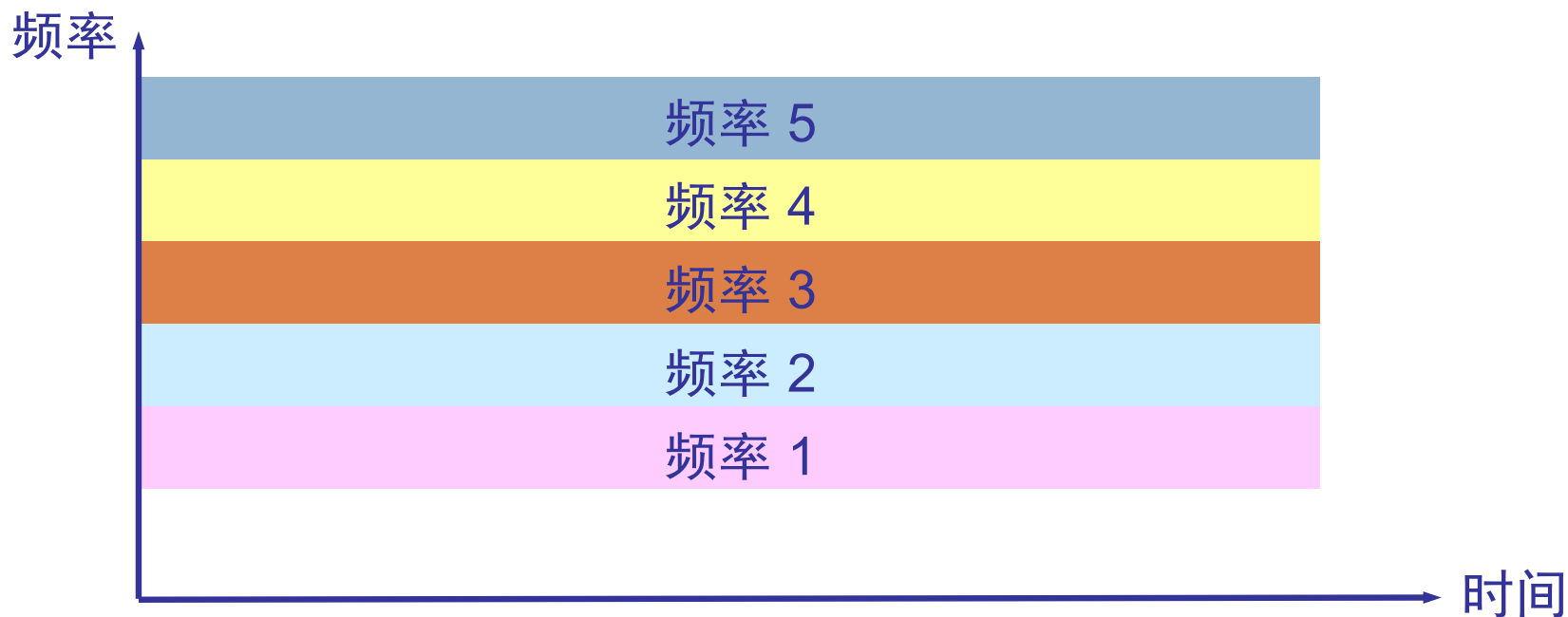
- ▣ 在物理信道能提供比单个原始信号宽的多的带宽情况下，将其总带宽分割成若干个与传输的单个信号带宽相同（或略宽一点）的子信道来传输一路信号

□ 时分复用

- ▣ 一条物理的传输线路按时间分成若干时间片，轮换地为多个信号使用

□ 改进的时分复用：统计时分复用

频分复用 FDM (Frequency Division Multiplexing)

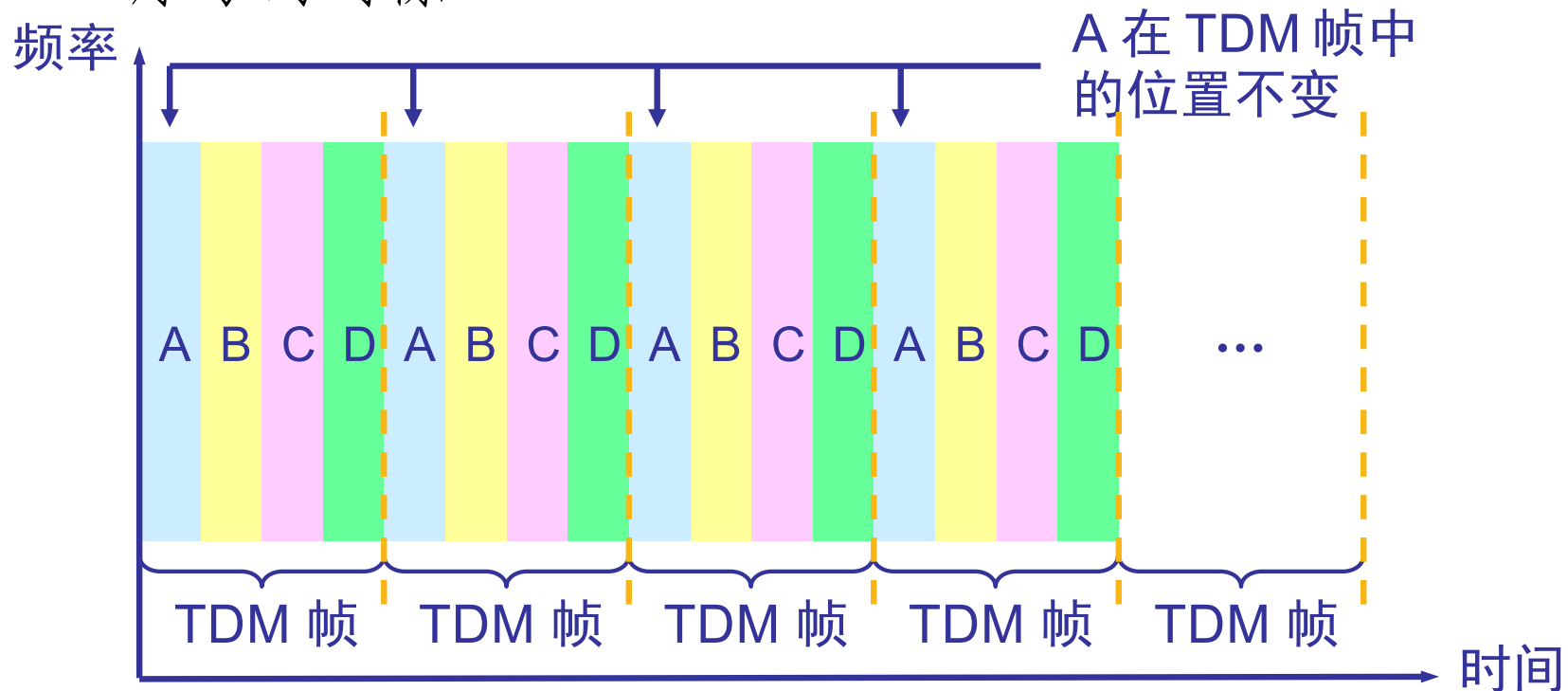


- 用户在分配到一定的频带后，在通信过程中自始至终都占用这个频带。
- 频分复用的所有用户在同样的时间占用不同的带宽资源
 - ▣ 注意：这里的“带宽”是频率带宽而不是数据的发送速率

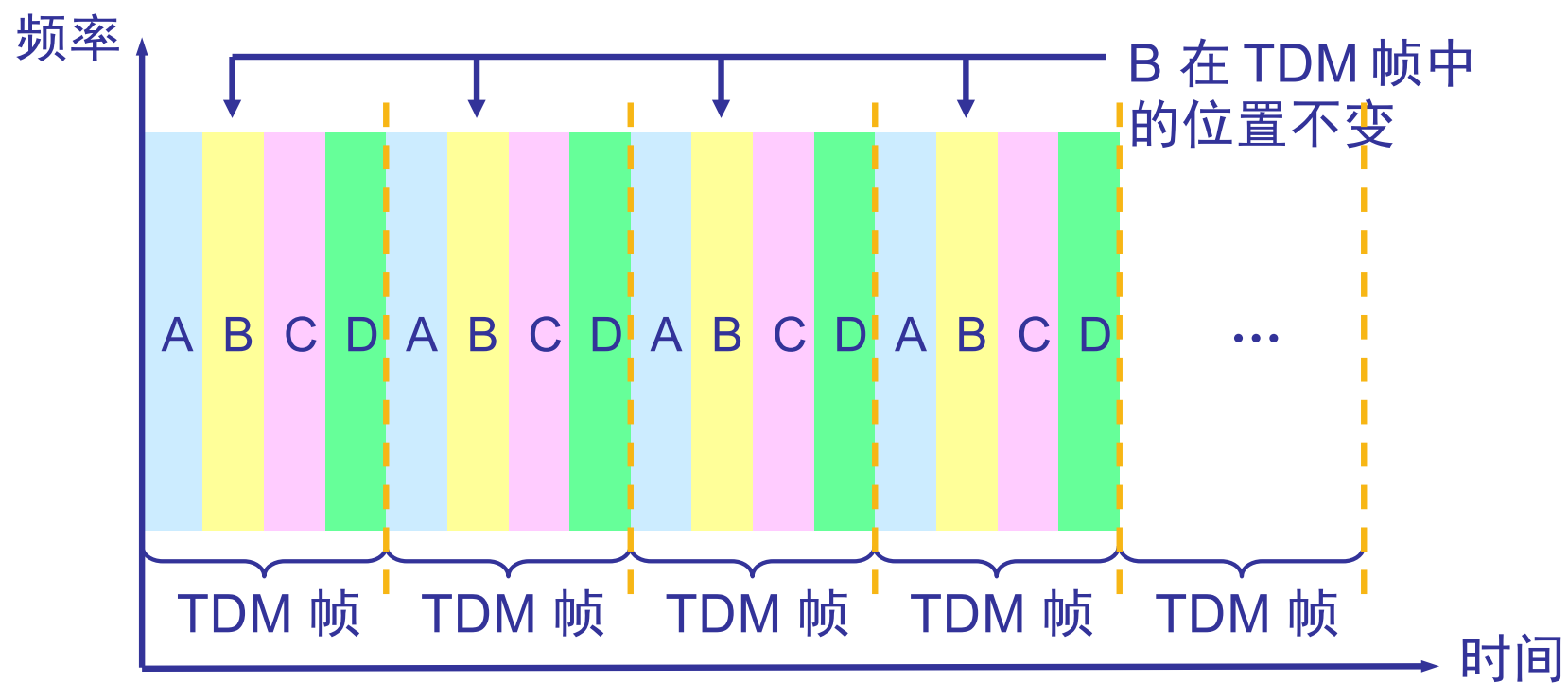
时分复用TDM (Time Division Multiplexing)

□ 时分复用

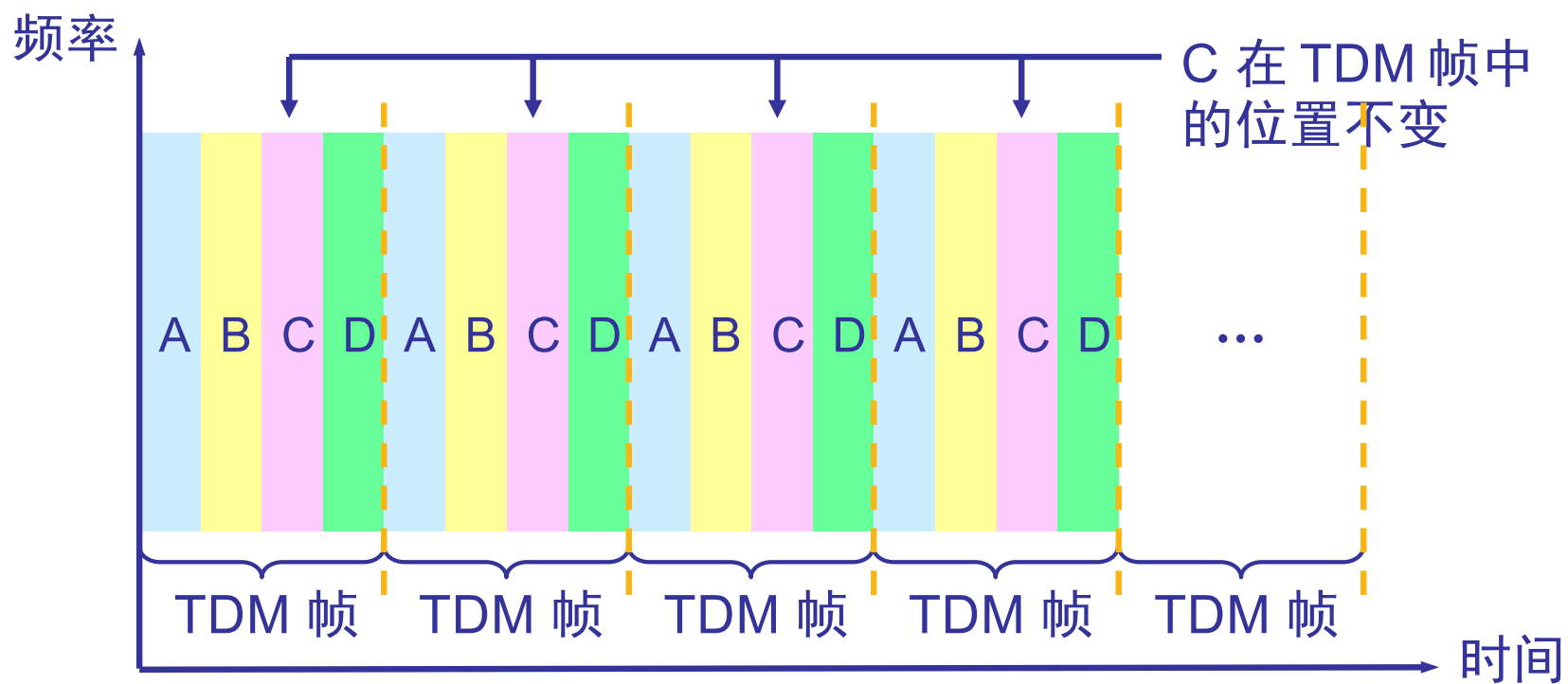
- 将时间划分为一段段等长的时分复用帧 (TDM 帧)
- 每一个时分复用的用户在每一个 TDM 帧中占用固定序号的时隙



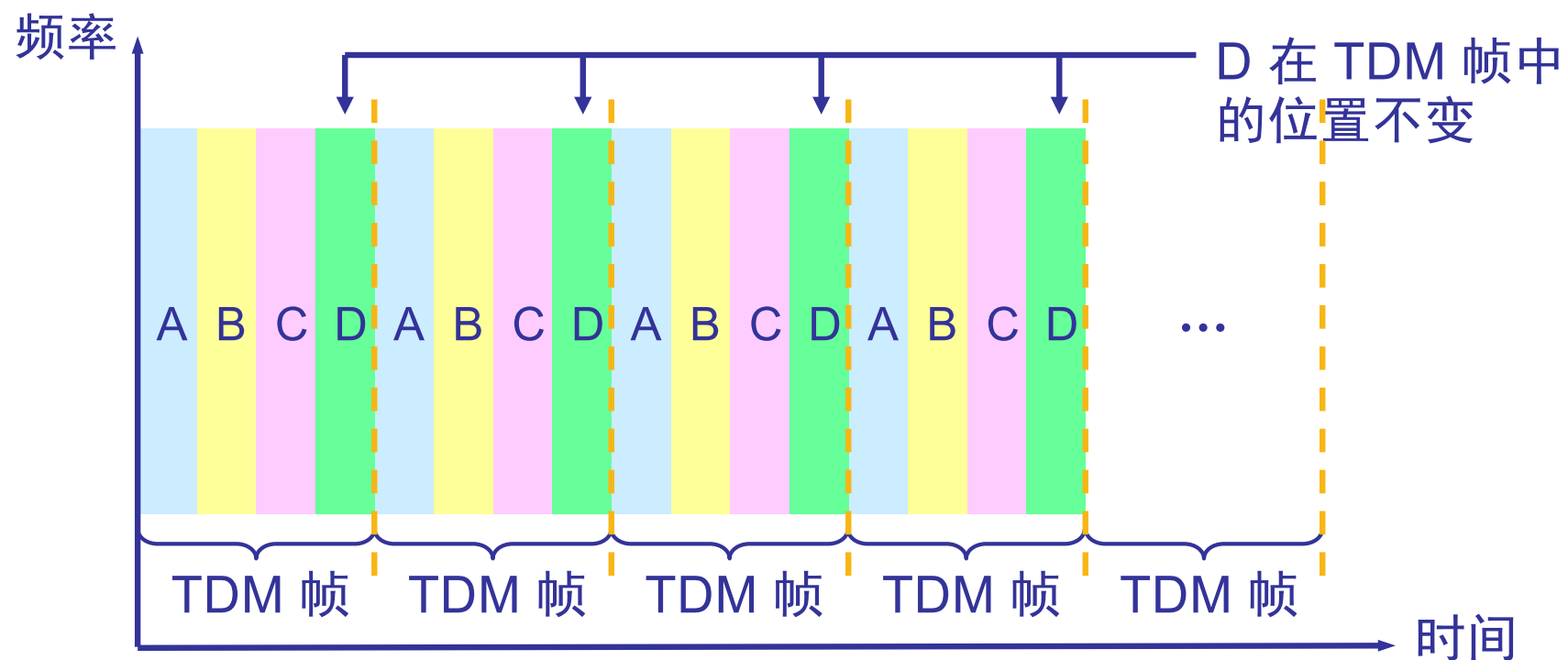
时分复用



时分复用



时分复用



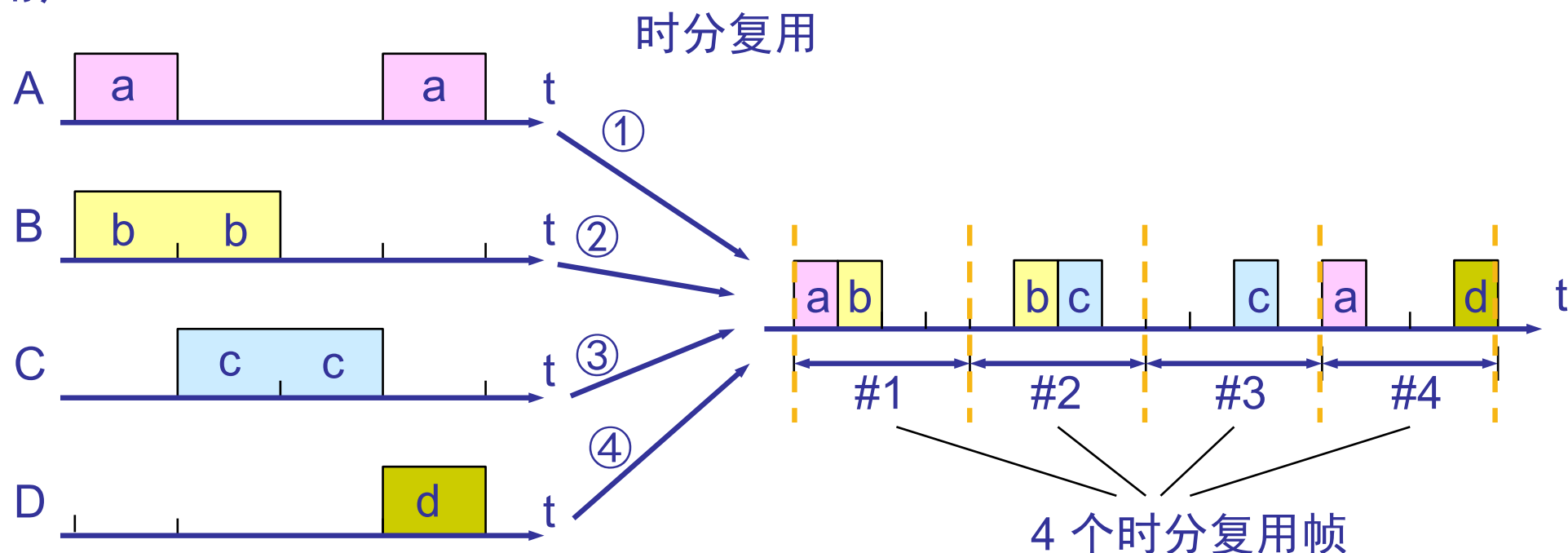
总结

- 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。

时分复用的缺点

可能会造成线路资源的浪费： 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是不高的。

用户

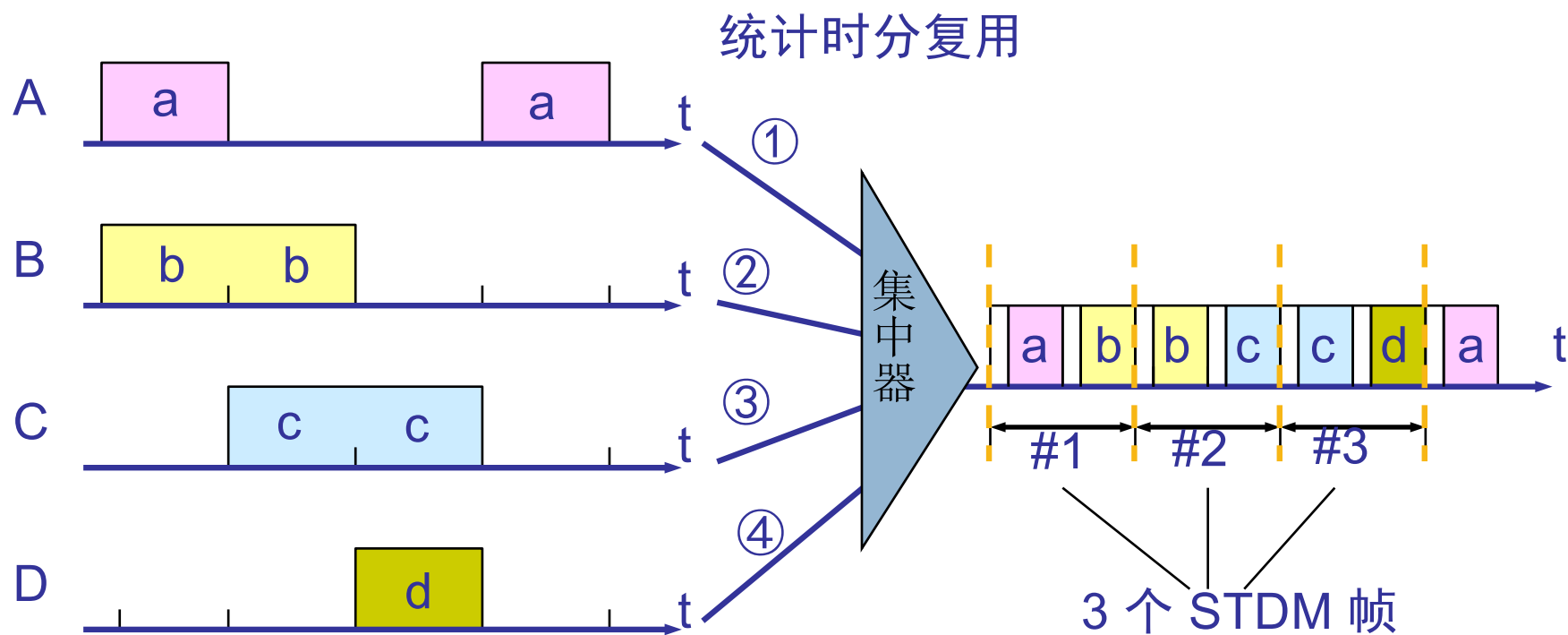


统计时分复用 STDIM (Statistic TDM)

- 类似于时分复用，使用**STDIM**帧来传送复用的数据
- 与时分复用的区别
 - ▣ **STDIM**帧中的时隙数小于复用（连接在集中器中）的用户数
- 原理
 - ▣ 发送方一有数据便发送到集中器的输入缓存
 - ▣ 集中器按顺序扫描输入缓存，装满一个**STDIM**帧后发送
 - ▣ 没有数据的缓冲区则被忽略

STDM的原理

用户



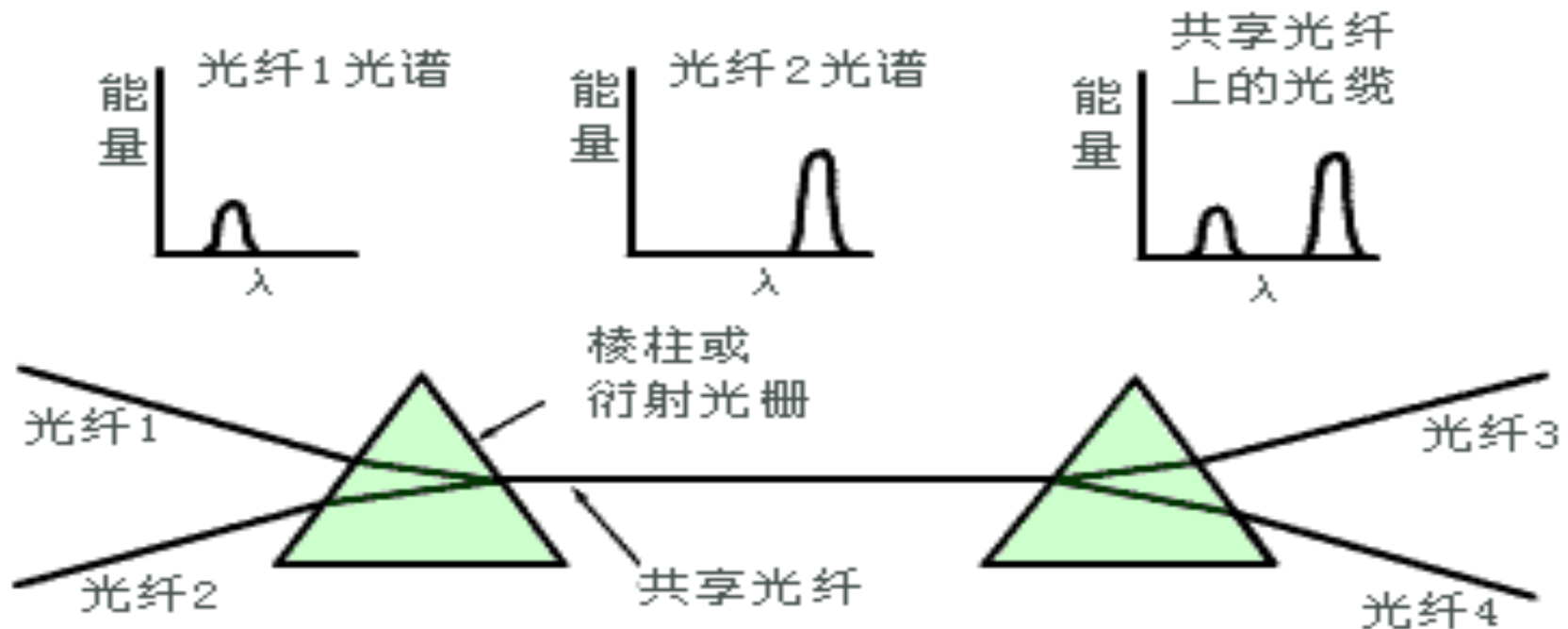
同步和异步时分复用

- 时分复用：每个用户所占用的时隙周期性出现——同步时分复用
- 统计时分复用：每个用户所占用的时隙并非周期性出现——异步时分复用

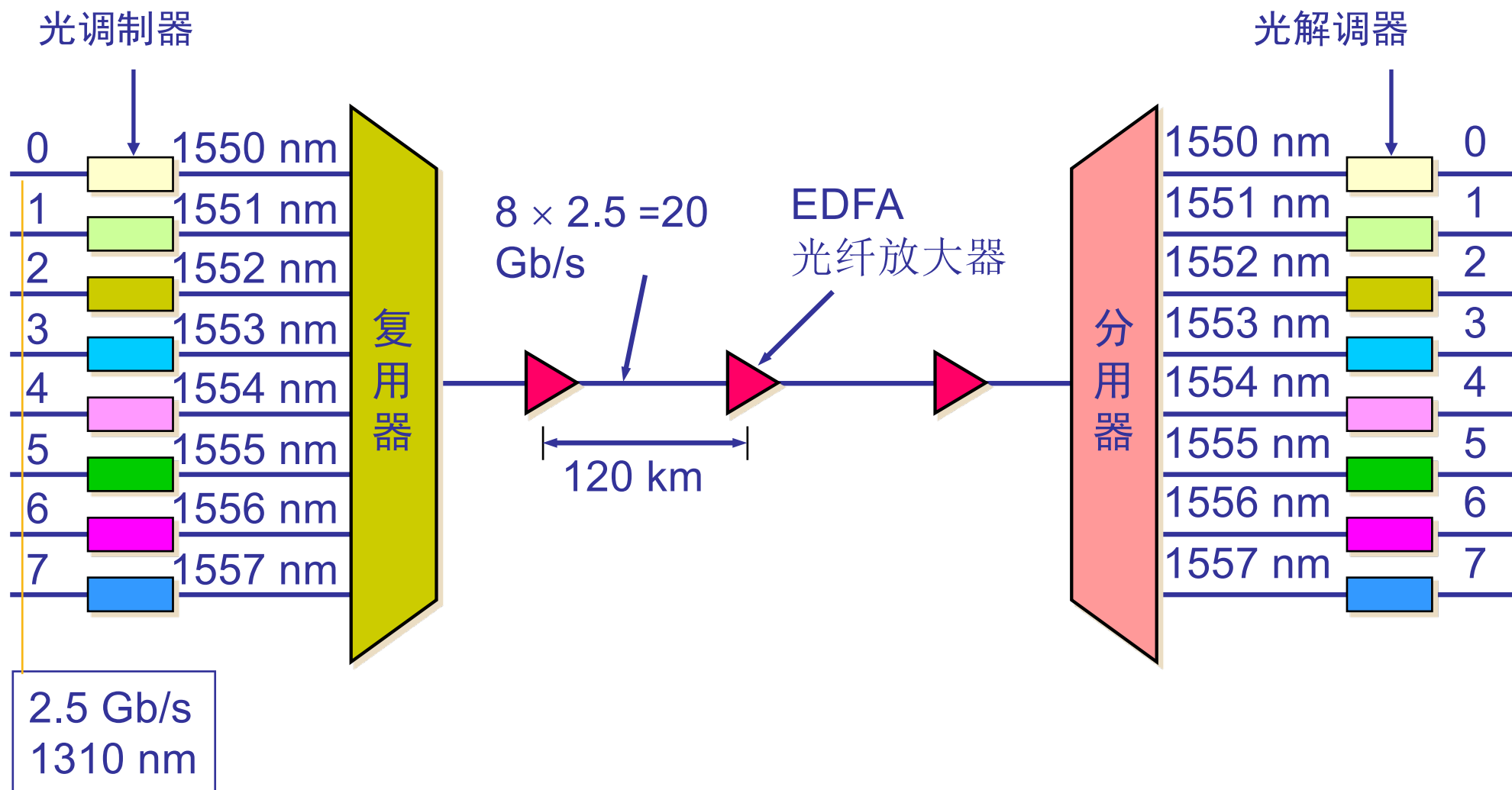
2.4.2 波分复用 WDM

(Wavelength Division Multiplexing)

- **波分复用就是光的频分复用**：在光纤信道上使用，由于光波的频率很高，所以习惯使用波长表示光波
- 在光纤上获得WDM的简单方法
 - ▣ 两根光纤连到一个棱柱（或更可能是衍射光栅），每根的能量处于不同的波段。两束光通过棱柱或光栅，合成到一根共享的光纤上，传送到远方的目的地，随后再将它们分解开来。



波分复用



说明

- 由于每个信道有自己的频率范围，而且所有的范围都是分隔的，所以它们可以被多路复用到长距离的光纤上。
- **WDM**很流行的原因是一根光纤上的能量常常仅仅有几**GHz**宽，而一根光纤的带宽大约是**25000GHz**，因此可以将很多信道复用到长距离光纤上，当然前提条件是所有的输入信道都应使用不同的频率。

2.4.3 码分复用 CDM (Code Division Multiplexing)

- 常用的名词是码分多址 CDMA (Code Division Multiple Access)。
- 特点
 - ▣ 每个用户可以同时使用相同的频带进行通信。由于各用户使用经过特殊挑选的不同码型，彼此不会造成干扰。
 - ▣ 这种系统发送的信号有很强的抗干扰能力，其频谱类似于白噪声，不易被敌人发现。

信道访问的鸡尾酒会原理

- 在一个大房间里，许多对人正在交谈。
- TDM
 - ▣ 所有人依次讲话，一个结束后另一个再接上。
- FDM
 - ▣ 所有人分成不同的组，每个组同时进行自己的交谈。
- CDMA：不同对的人分别用不同的语言进行交谈，讲法语的人只理会法语，其他的就当作噪音不加理会。

因此，**CDMA**的关键就是能够提取出所需的信号，同时将其余的一切当作随机噪声抛弃。

码片序列(chip sequence)

- 在码分复用中，每一个比特时间划分为 m 个短的间隔，称为码片(chip)。
- 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。

CDMA 的重要特点

- 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。
- 通常，将 S 站的码片序列记为： $(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)$
- 每个站分配的码片序列不仅必须各不相同，并且还必须互相正交(orthogonal)。
 - ▣ 在实用的系统中是使用伪随机码序列。

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：

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

举例：码片序列的正交关系

- 令向量 **S** 为 $(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)$ ，向量 **T** 为 $(-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1)$ 。
- 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的基本原理

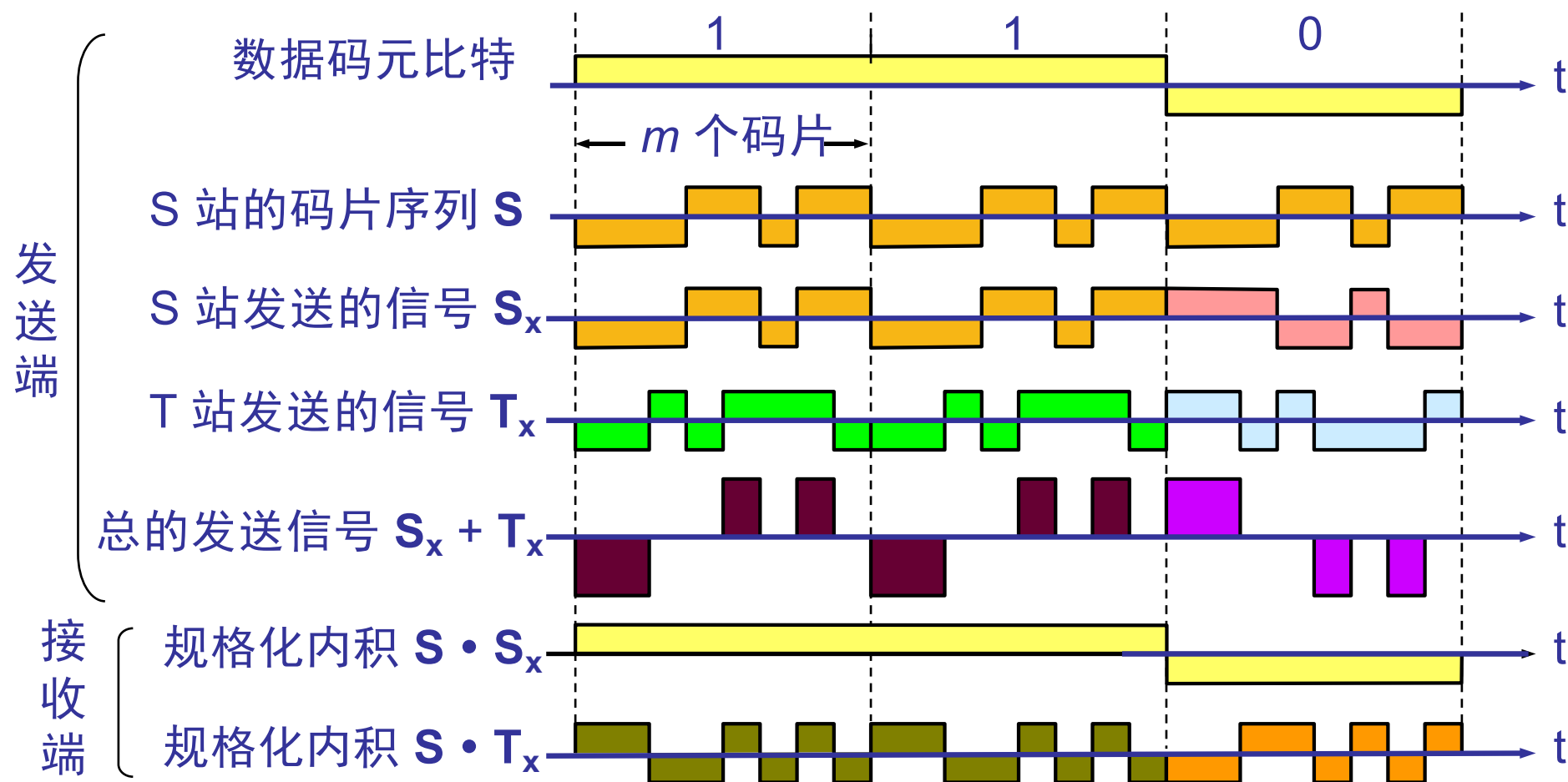
□ 基于扩频技术

- ▣ 将需传送的信号，用一个带宽远大于信号带宽的高速伪随机码进行调制，使原信号的带宽被扩展，再经载波调制并发送出去。

例如：S站发送信息的数据率为 b b/s，若每比特转换成 m 个比特的码片，则实际发送的数据率提高到 mb b/s，该站所占的频带宽度也提高到原来的 m 倍。

- ▣ 接收端使用完全相同的伪随机码，与接收的带宽信号作相关处理，把宽带信号换成原信息数据的窄带信号即解扩，以实现信息通信。

CDMA 的工作原理



CDMA包含二个基本技术

——码分技术；多址技术

□ CDMA中的码分技术

- ▣ 基础是扩频技术，其目的是解决强干扰下的通信
- ▣ 由香农定理可知，在信号传输速率一定的前提下，增加带宽可以降低对信噪比的要求。
 - 扩频通信系统的带宽比常规通信系统大几百倍，在相同信噪比的条件下，扩频系统具有很强的抗干扰能力
- ▣ CDMA中最常用的扩频形式是用一个伪随机码序列与窄带信号相乘。这样，有用信号经扩频处理后，频谱被展宽了

□ CDMA中的多址技术

- ▣ 所谓码分多址，是指利用扩频时使用的一组正交的伪随机码序列来实现多个信号同时入网接续的要求。
- ▣ 在接收端，利用伪随机码的相关性进行解扩，有用信号被恢复至窄带谱。
- ▣ 宽带无用信号与本地伪随机码不相关，不能解扩，仍为宽带谱。这样，只有有用信号才被识别和提取出来。

CDMA通话原理

- **CDMA**（码分多址）是以分组的形式广播通话的
- 所有通话均在同一信道上传递，它通过指定给各个对话的特殊代码来区分每个对话
- 当使用**CDMA**电话时，它实际上接收了在所使用的网络上传输的所有电话，但只有那些带有特殊代码的通话才会被从分组的数据状态重新转换为语音

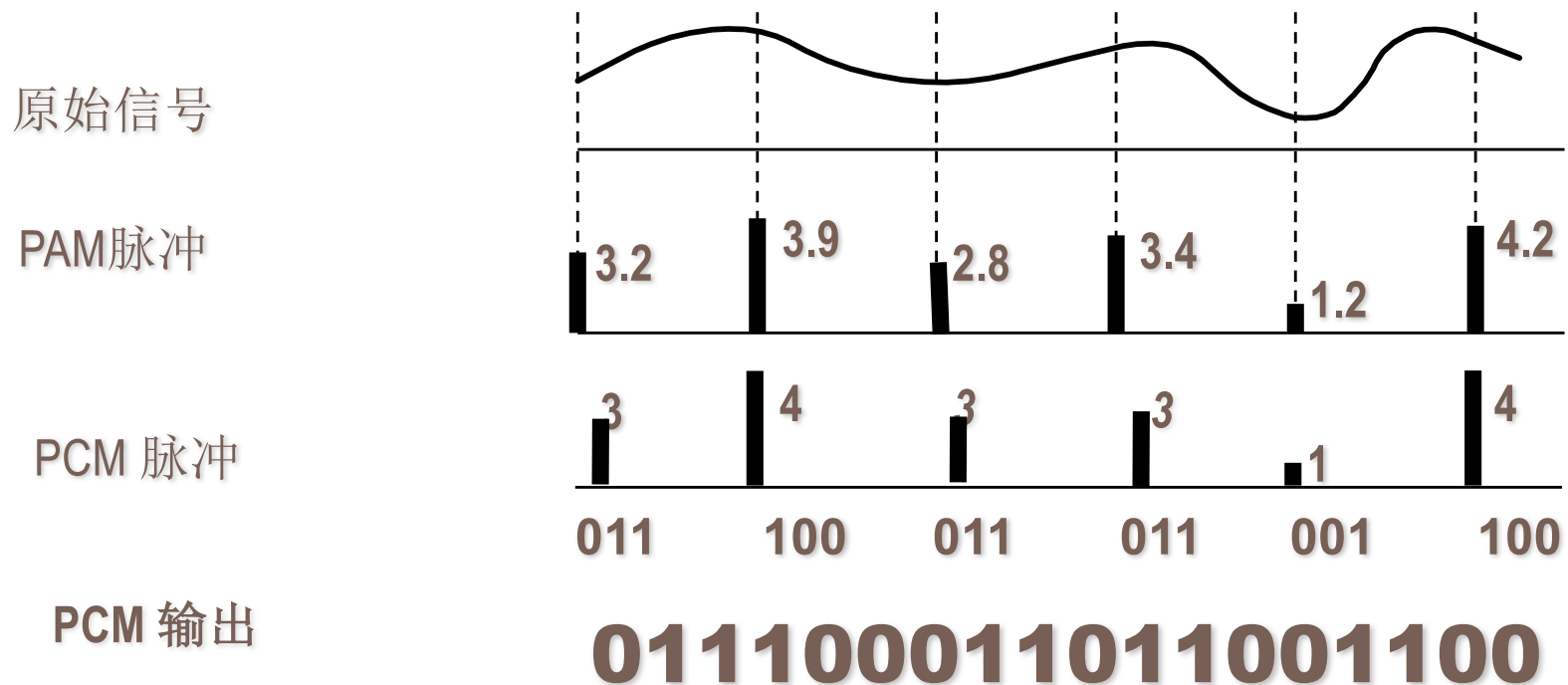
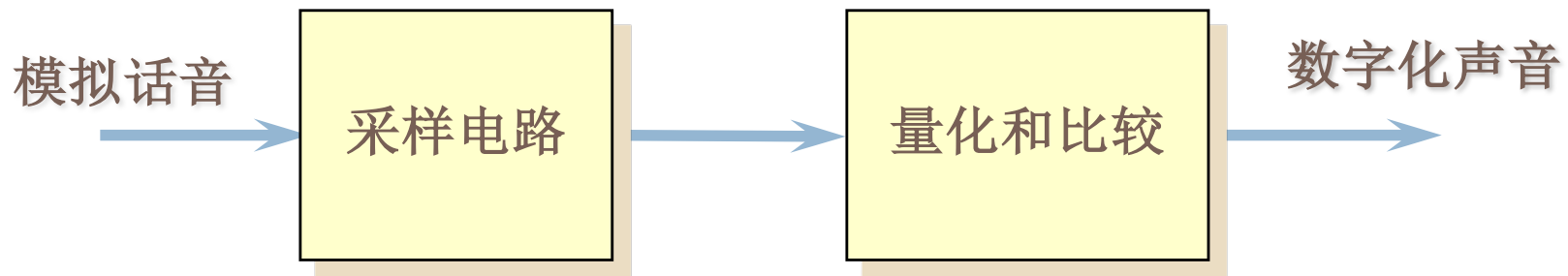
CDMA与其他复用方法的比较

- 码分复用（**CDMA**）与前面介绍的信道分配方法完全不同。前面所介绍的方法中，
 - ▣ **FDM**有些是将信道分成频率段
 - ▣ **TDM**则是根据帧来分配信道
 - ▣ 码分复用允许所有站点同时在整个频段上进行传输，多路的同时传输采用编码原理加以区分。码分复用假定多重信号是线性叠加的。

2.5 数字传输系统

- 数据通信系统
 - ▣ 源系统，传输系统，目的系统
 - ▣ 数字传输系统
- 早期的电信网络
- 数字信道上传输模拟信号
 - ▣ 用数字信道传输模拟数据时，需要对模拟数据进行脉冲编码调制（PCM）

PCM的基本原理



取样定理

□ 取样

- ▣ 将模拟电话信号转变为数字信号，只要取样频率不低于电话信号最高频率的**2倍**，就可以从取样的脉冲信号中无失真地恢复出原来的电话信号。
- 例如：标准的电话信号的最高频率为**3.4KHz**（为方便，取**4KHz**），则取样频率：**8KHz**，取样周期：**125 μ s**，即每秒钟采样**8000次**

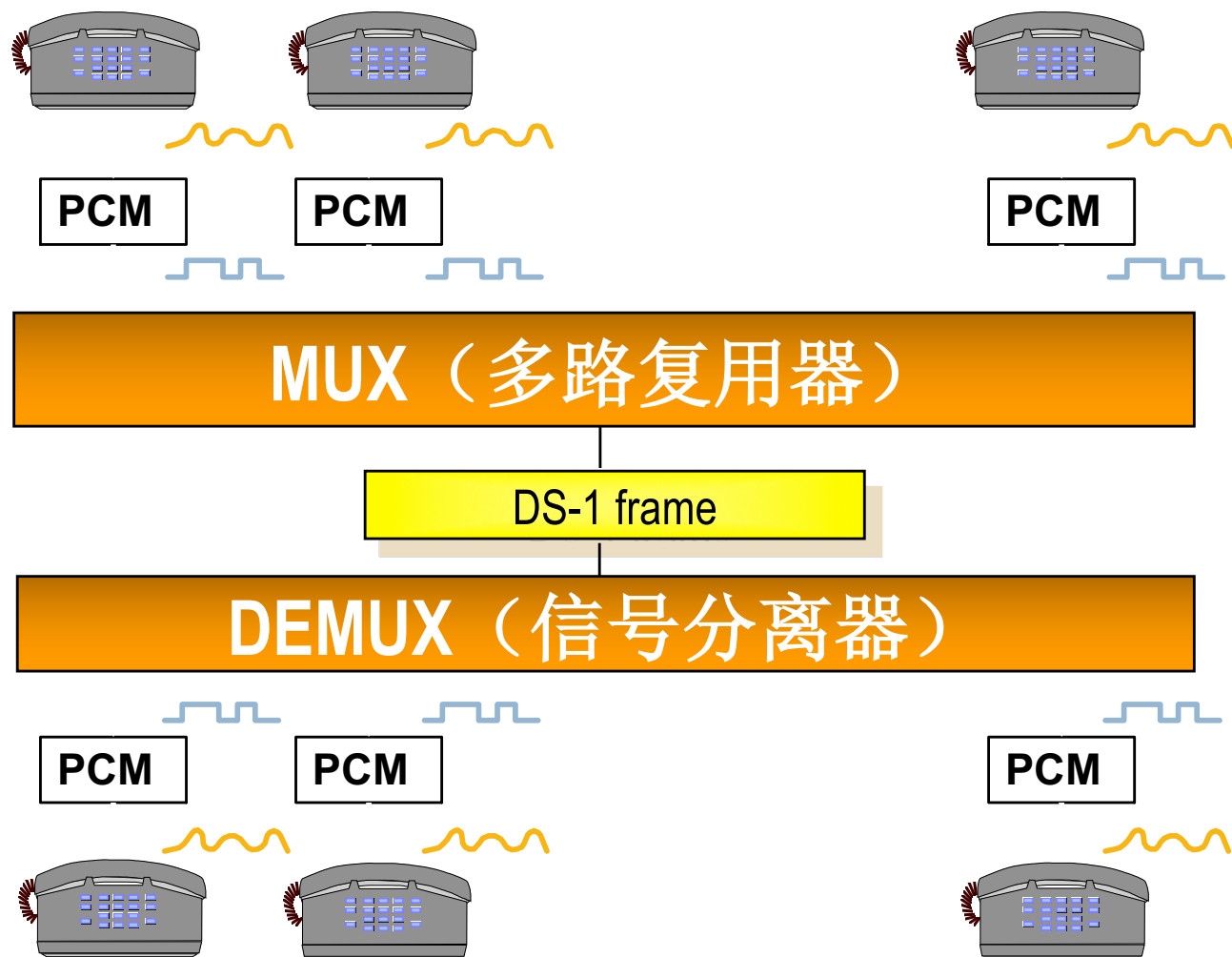
□ 编码

- ▣ 我国的**PCM**体制采用**8bit**编码，即：将取样后的模拟电话信号量化为**256**个不同等级中的一个。

脉码调制 PCM 体制

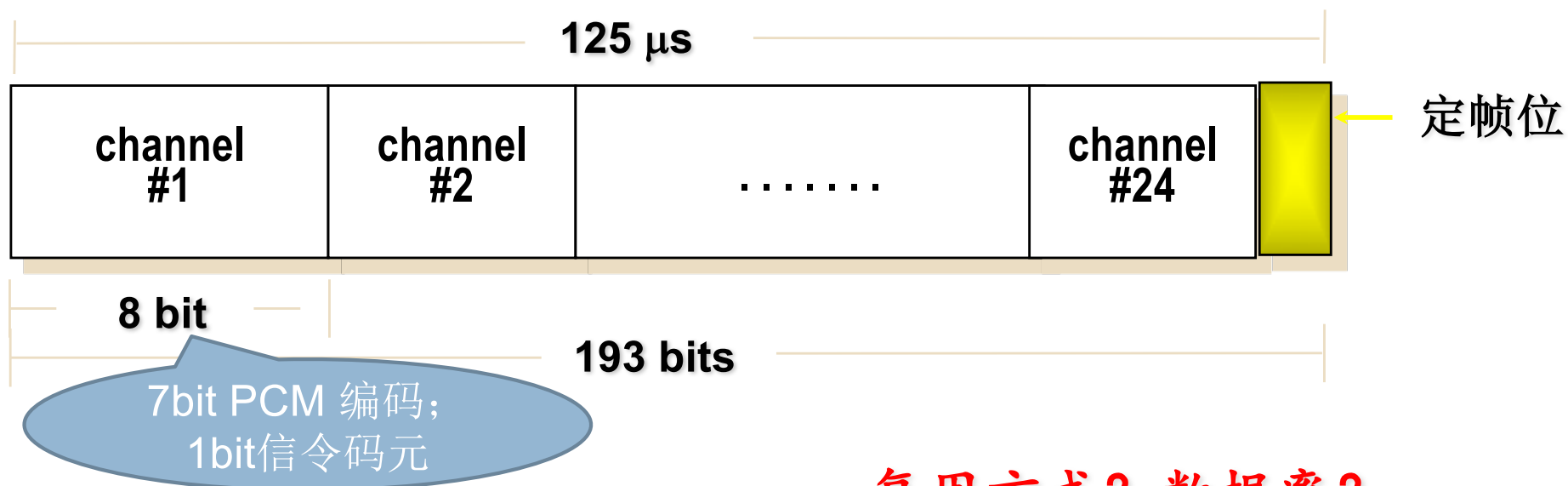
- 脉码调制 PCM 体制（Pulse Code Modulation）最初是为了在电话局之间的中继线上传送多路的电话。
- 由于历史原因，PCM 有两个互不兼容的国际标准
 - ▣ 北美的 24 路 PCM（简称为 T1）
 - ▣ 欧洲的 30 路 PCM（简称为 E1）
 - ▣ 我国采用的是欧洲的 E1 标准。
- E1 的速率是 2.048 Mb/s，而 T1 的速率是 1.544 Mb/s

T1 载波系统



DS-1 帧

- 每个信道称为 DS0

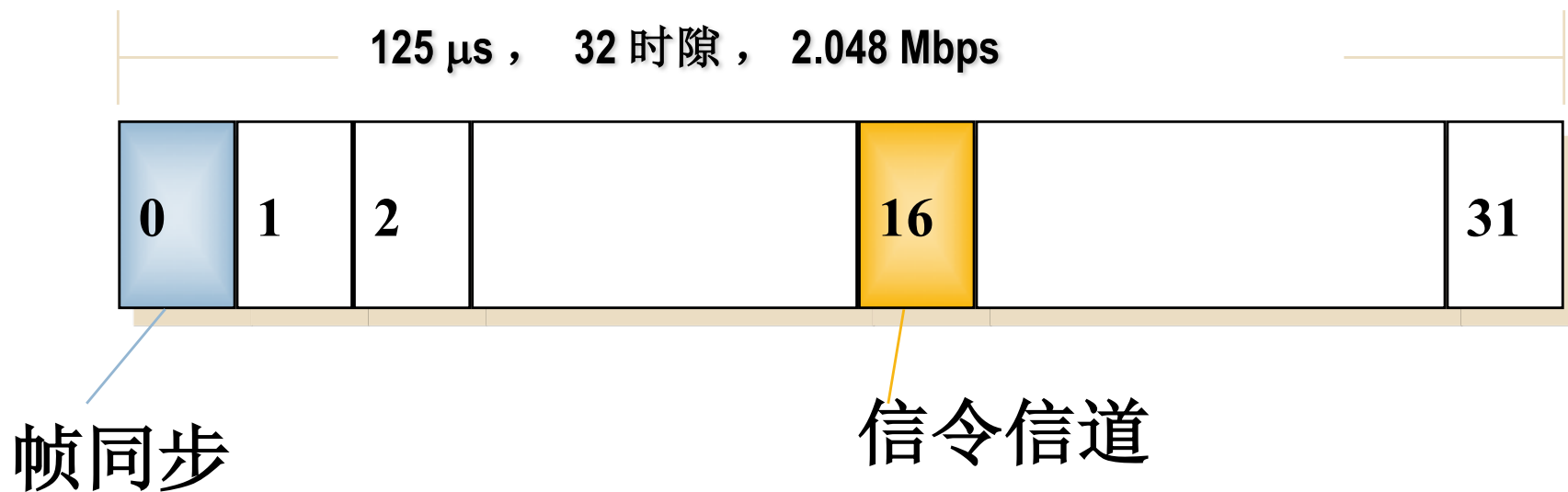


- 复用方式？数据率？

时分复用，频率相同

$$\text{数据率} = (24 \times 8 + 1 \text{ bit}) / 125 \mu\text{s} = 1.544 \text{ Mbps}$$

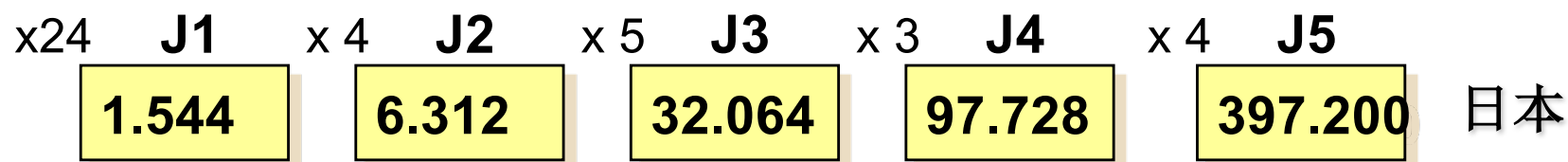
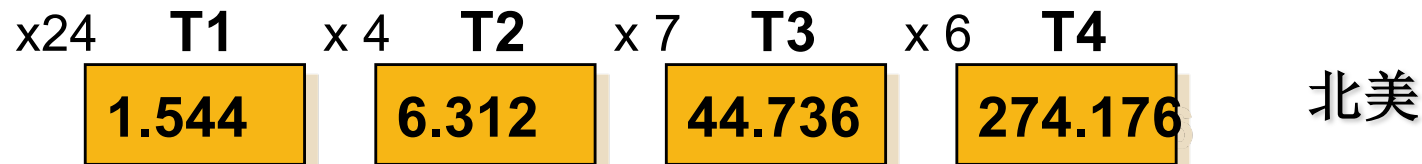
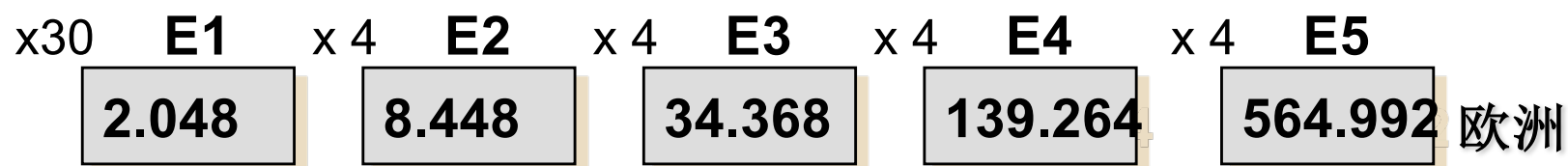
E1-帧



30 话音信道+2 控制信道
数据率 = $(32 \times 8) / 125 \mu\text{s} = 2.048\text{Mbps}$

PCM数字传输三大系统

- 当需要有更高的数据率时，可采用复用的方法



- 由于复用需要一些额外的同步码元，因此，高次群的数据率往往大于n个低次群的数据率的和

同步光纤网SONET和同步数字系列

- 旧的数字传输系统存在着许多缺点。最主要的是：
 - ▣ 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
- 1988，美国提出了一个数字传输标准
 - ▣ 同步光纤网（Synchronous Optical Network, SONET）

同步光纤网 SONET

- 同步光纤网 SONET 的各级时钟都来自一个非常精确的主时钟，通常采用
 - ▣ 铯原子钟：最好的铯原子钟达到500万年才误差 1 秒
- 同步光纤网 SONET为光纤传输系统定义了同步传输的线路速率等级结构，其传输速率以 51.84 Mb/s为基础（相当于T3/E3）。
 - ▣ 如果对电信号，该速率称为第 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 ）
- STS-n的数据率是STS-1的n倍

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

SONET 的贡献



- 定义了标准光信号：1310nm和1550nm激光源
- 在物理层定义了帧结构，以STM-1为基础，形成了速率等级结构。

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。
- **DSL**：数字用户线(Digital Subscriber Line)。
- 模拟电话信号的频带在 300~3400 Hz 的范围内，但用户线实际可通过的信号频率超过 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。

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 (Single-line DSL): 1 对线的数字用户线
- VDSL (Very high speed DSL): 甚高速数字用户线
- DSL : ISDN 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**

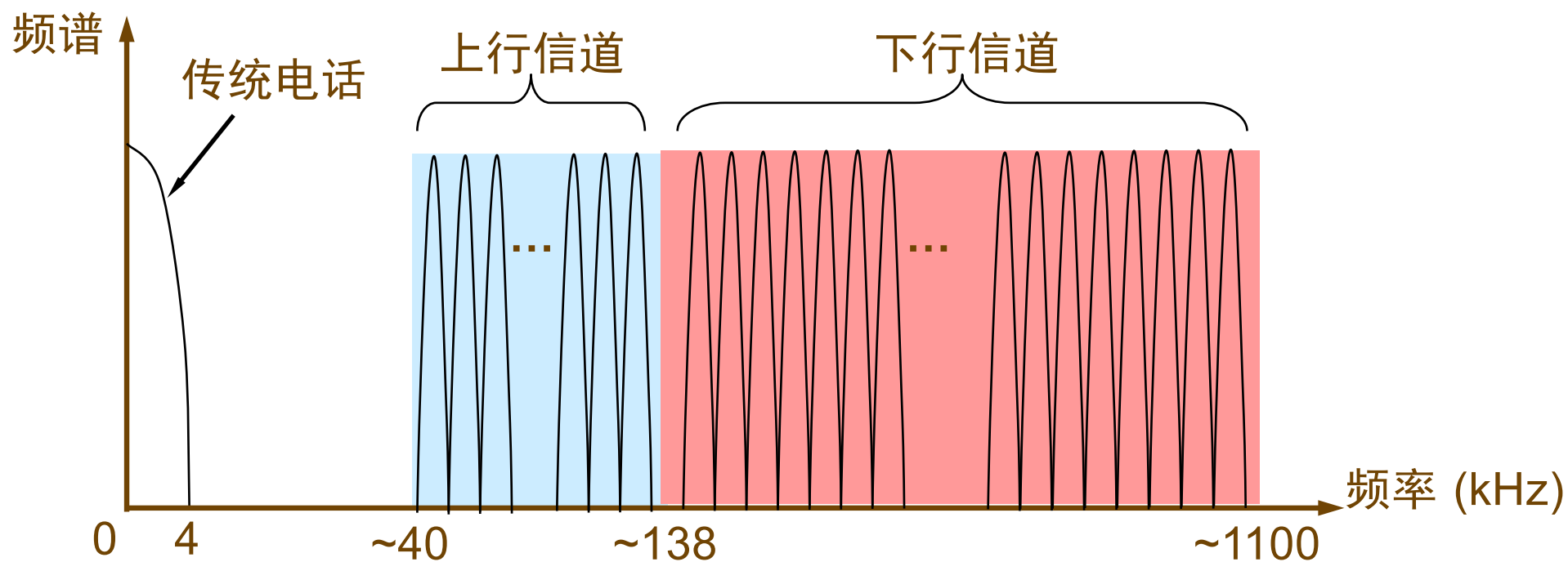
ADSL 的特点

- 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。

DMT 技术

- DMT 调制技术采用 **频分复用** 的方法
 - ▣ 40 kHz 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。

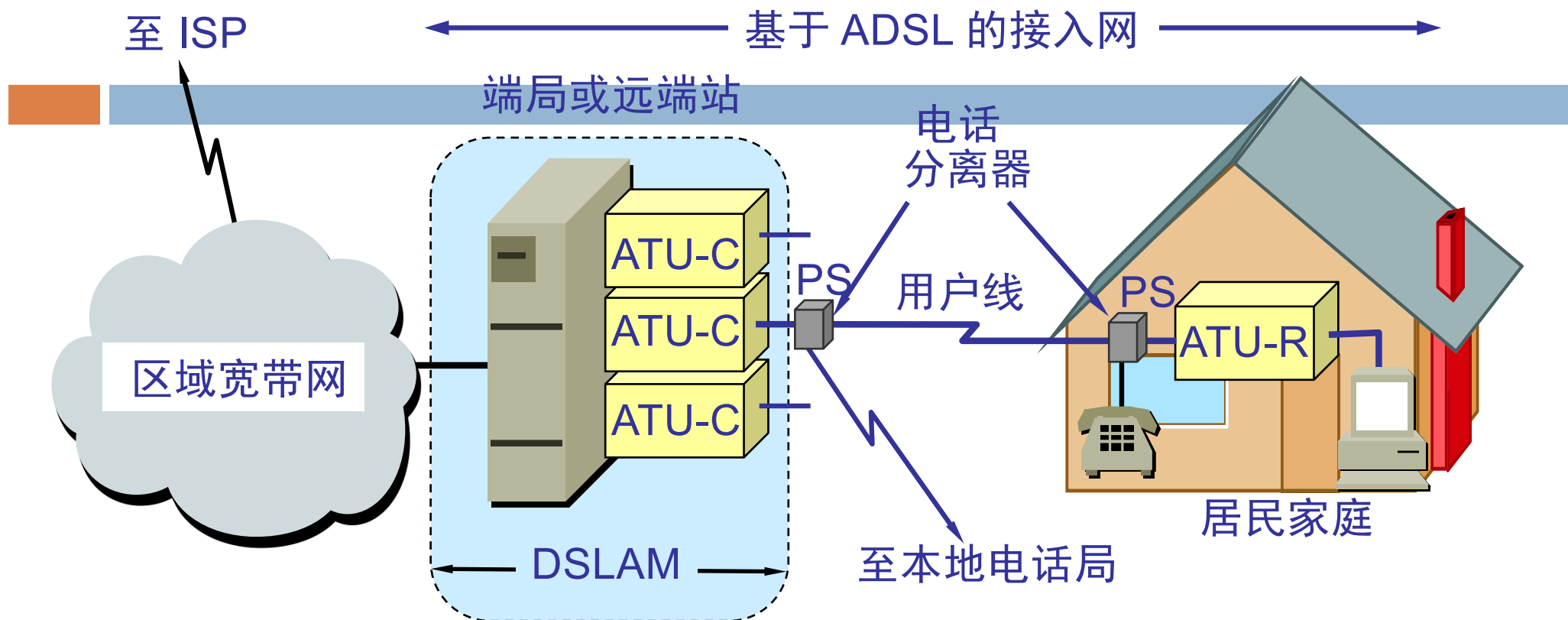
DMT 技术的频谱分布



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



- **DSL接入复用器** DSLAM (DSL Access Multiplexer), 500-1000个端口
- **接入端接单元** ATU (Access Termination Unit), ADSL调制解调器
- 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。

2.6.2 光纤同轴混合网

HFC (Hybrid Fiber Coax)

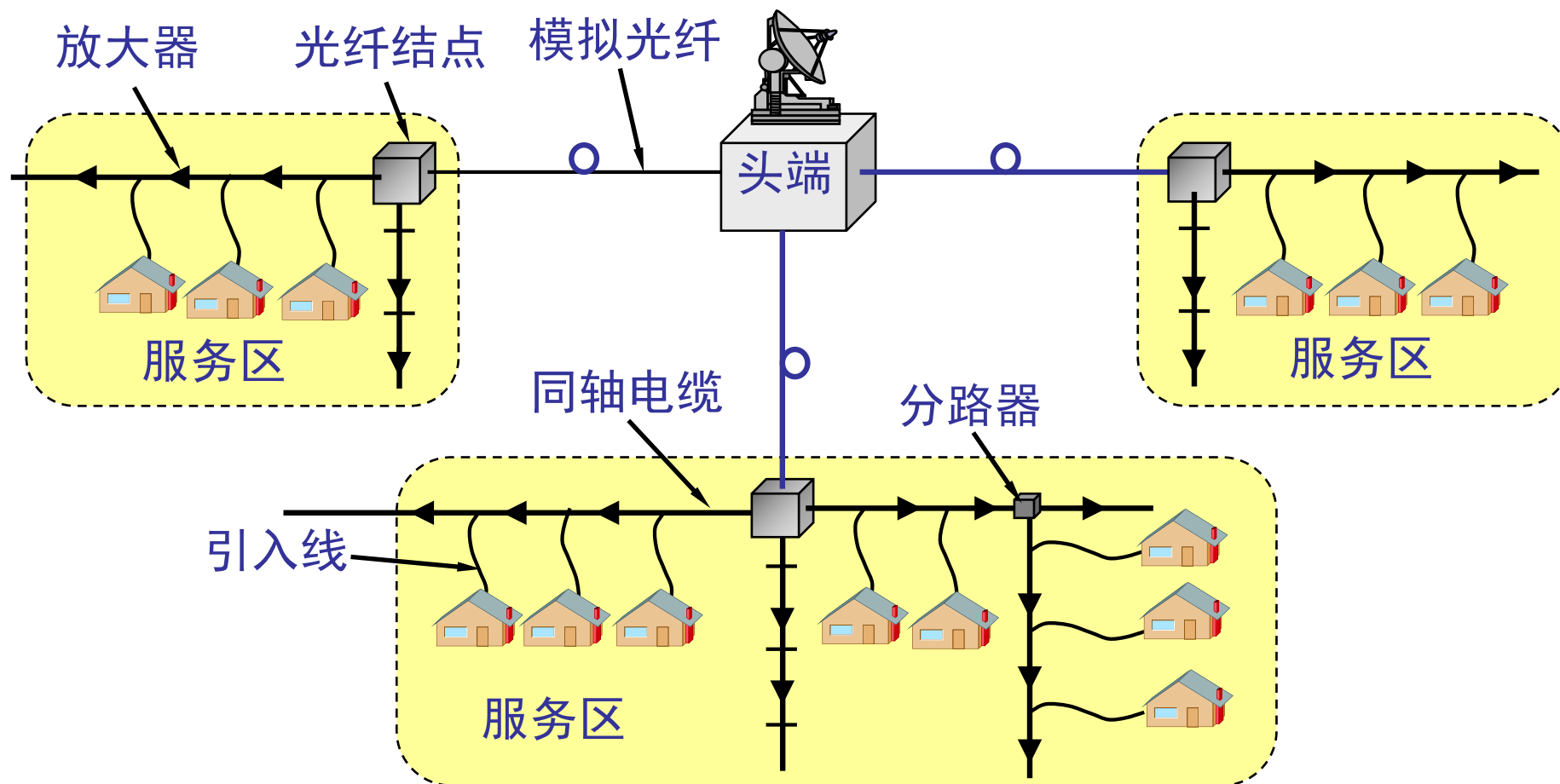
- HFC 网是在目前覆盖面很广的有线电视网 **CATV** 的基础上开发的一种居民宽带接入网。
- HFC 网除可传送 **CATV** 外，还提供电话、数据和其他宽带交互型业务。
- 现有的 **CATV** 网是树形拓扑结构的同轴电缆网络，它采用模拟技术的频分复用对电视节目进行单向传输。而 HFC 网则需要对 **CATV** 网进行改造

HFC 的主要特点

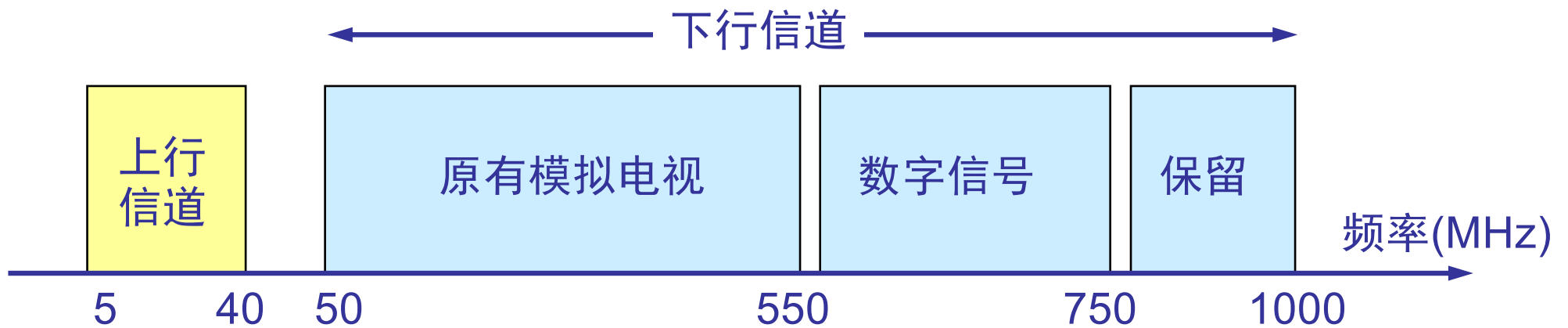
(1) HFC网的主干线路采用光纤

- 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。
 - ▣ 安装在有线电视运营商的头端即主设备中的cablemodem端接系统，完成信号的调制和混合功能。

(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。

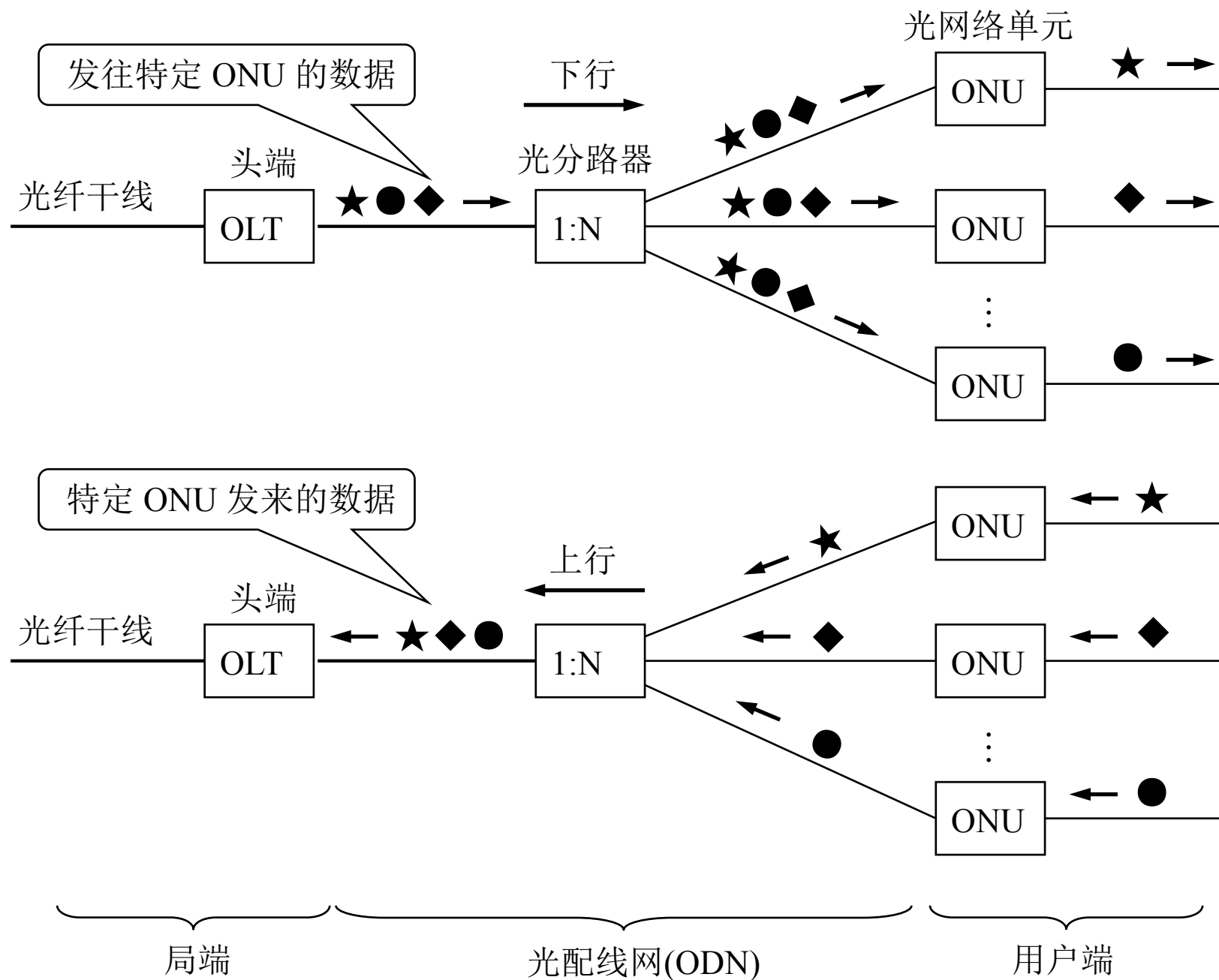
电缆调制解调器 (cable modem)

- 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。

2.6.3 FTTx 技术

- **FTTx**（光纤到.....）也是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。

无源光配线网的组成



作业

□ 16