

第2章

物理层

2.1 物理层概述

2.2 物理层下面的传输媒体

2.3 传输方式

2.4 编码与调制

2.5 信道的极限容量

2.6 信道复用技术

2.6 信道复用技术

01

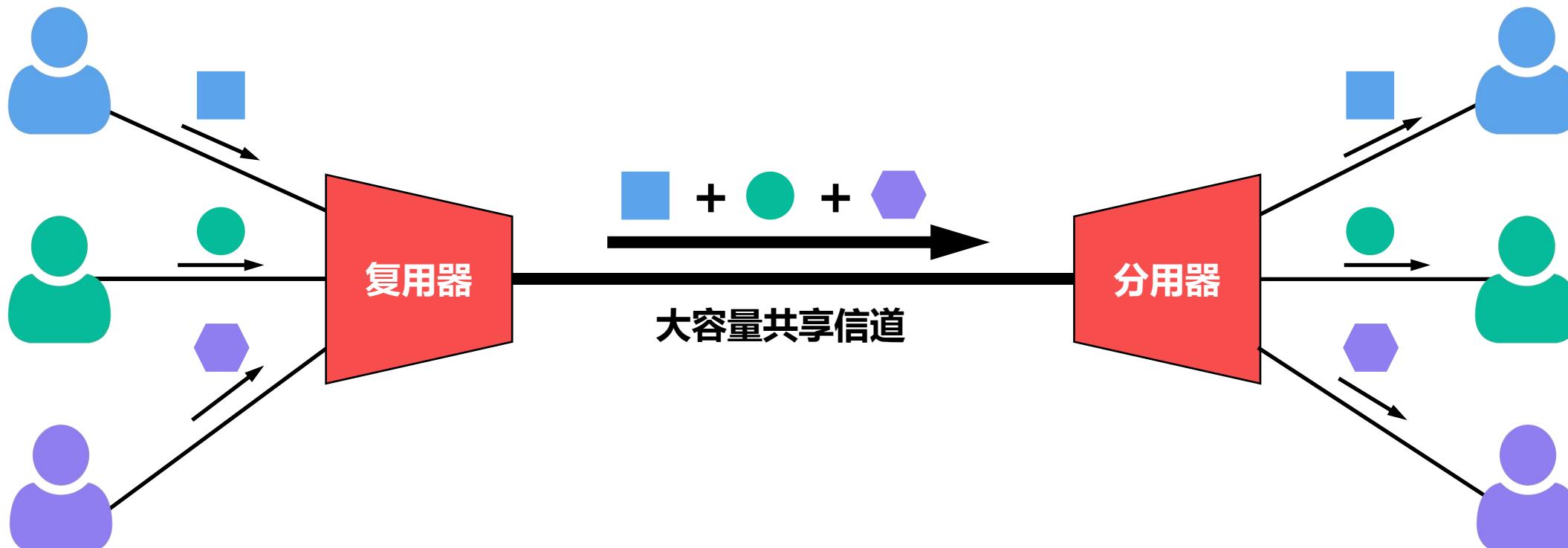
信道复用技术的基本原理

02

常见的信道复用技术

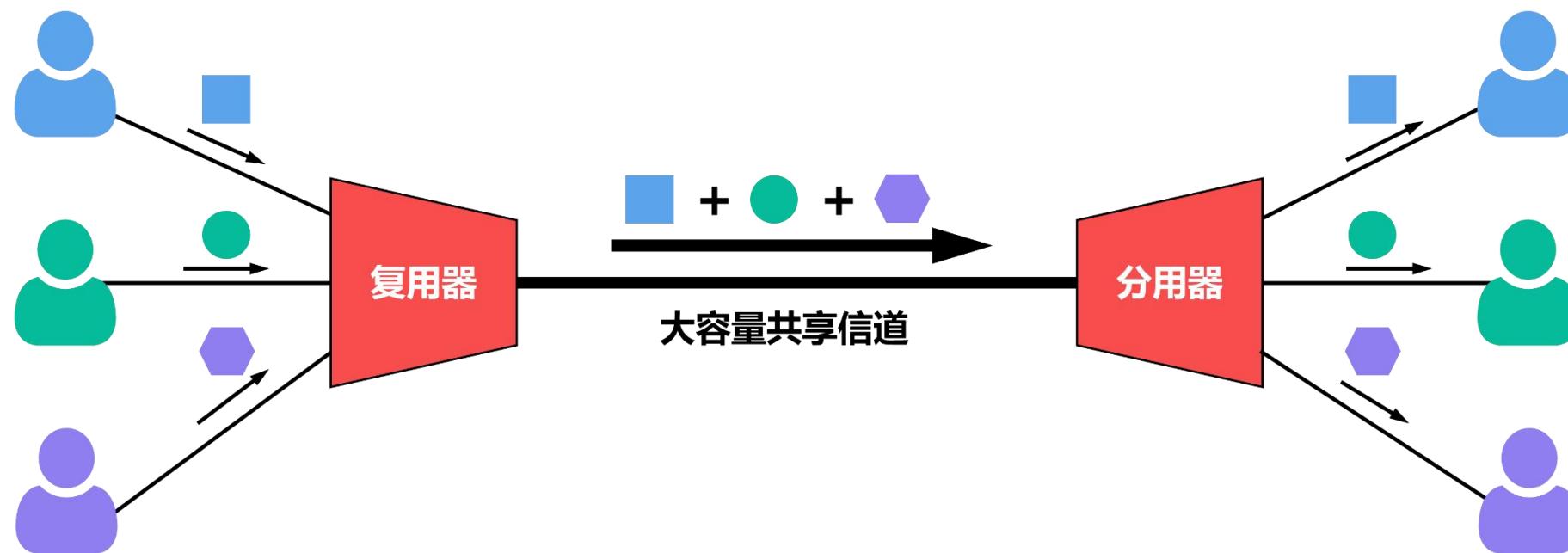
01 信道复用技术的基本原理

- 复用 (Multiplexing) 就是在一条传输媒体上同时传输多路用户的信号。
- 当一条传输媒体的传输容量大于多条信道传输的总容量时，就可以通过复用技术，在这条传输媒体上建立多条通信信道，以便充分利用传输媒体的带宽。

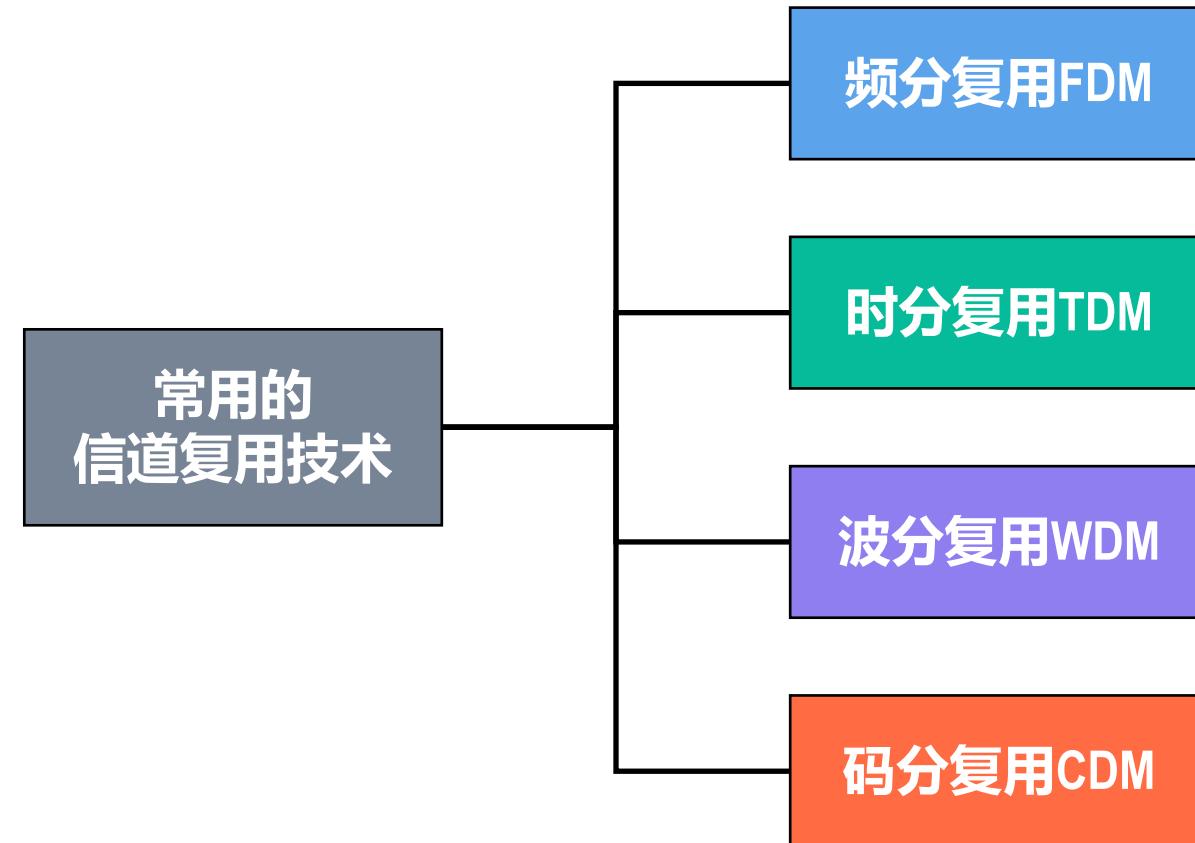


01 信道复用技术的基本原理

- 复用 (Multiplexing) 就是在一条传输媒体上同时传输多路用户的信号。
- 当一条传输媒体的传输容量大于多条信道传输的总容量时，就可以通过复用技术，在这条传输媒体上建立多条通信信道，以便充分利用传输媒体的带宽。
- 尽管实现信道复用会增加通信成本（需要复用器、分用器以及费用较高的大容量共享信道），但如果复用的信道数量较大，还是比较划算的。



02 常见的信道复用技术



02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM



02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM



频分复用的所有用户同时占用不同的频带资源并行通信

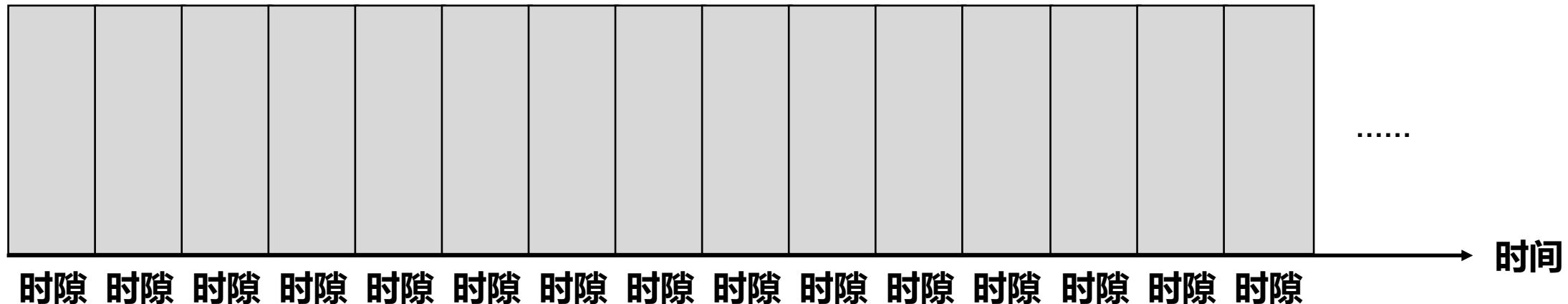
02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM



02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM



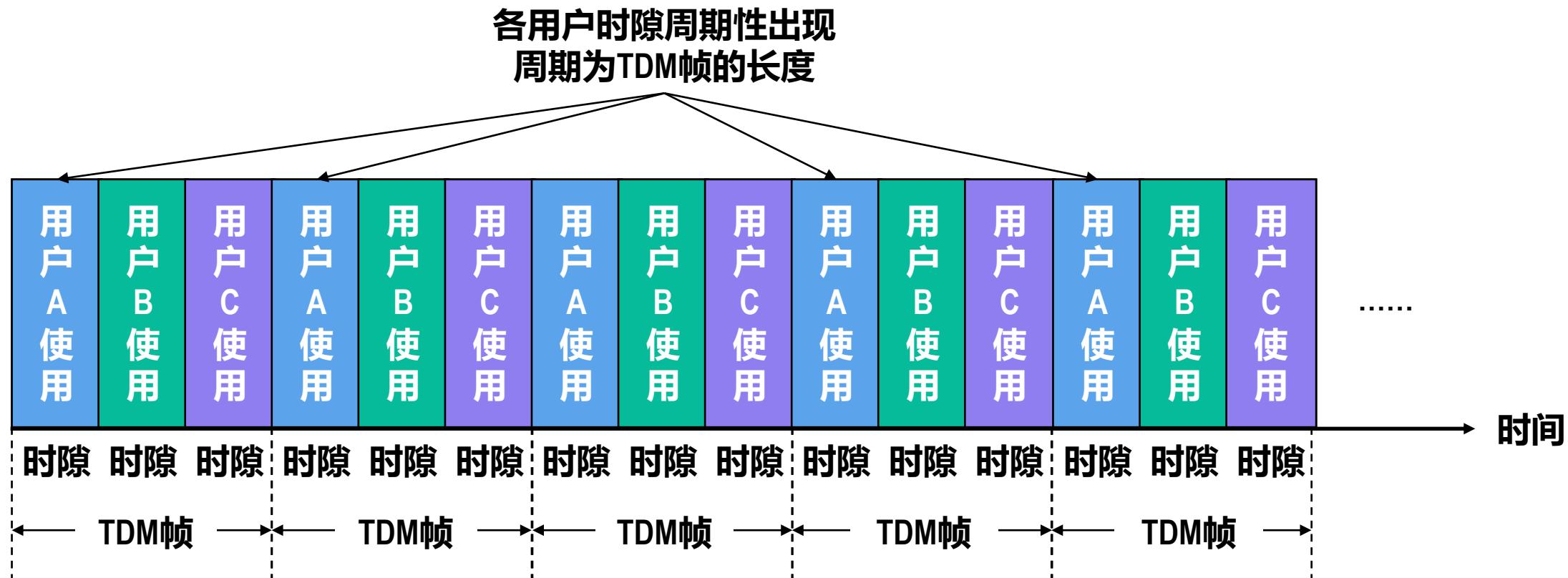
02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM



时分复用的所有用户在不同的时间占用同样的频带

02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

光的频分复用FDM

- 根据频分复用的设计思想，可在一根光纤上同时传输多个频率（波长）相近的光载波信号，实现基于光纤的频分复用技术。
- 目前可以在一根光纤上复用80路或更多路的光载波信号。因此，这种复用技术也称为密集波分复用DWDM。

02 常见的信道复用技术

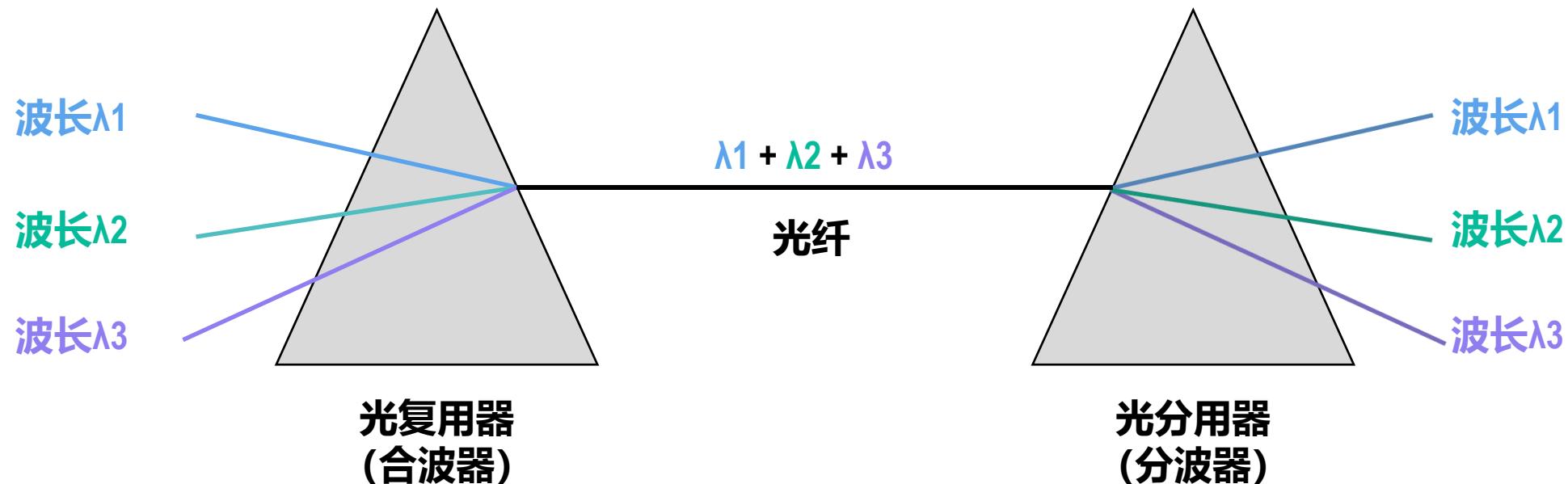
频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

光的频分复用FDM



02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

光的频分复用FDM

- 根据频分复用的设计思想，可在一根光纤上同时传输多个频率（波长）相近的光载波信号，实现基于光纤的频分复用技术。
- 目前可以在一根光纤上复用80路或更多路的光载波信号。因此，这种复用技术也称为密集波分复用DWDM。
- 铺设光缆的工程耗资巨大，应尽量在一根光缆中放入尽可能多的光纤，然后对每一根光纤使用密集波分复用技术。

例如，在一根光缆中放入100根速率为2.5Gb/s的光纤，对每根光纤采用40倍的密集波分复用，则这根光缆的总数据速率为 $(2.5\text{Gb/s} \times 40) \times 100 = 10000\text{Gb/s} = 10\text{Tb/s}$ 。

02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

- 码分复用 (Code Division Multiplexing, CDM) 常称为码分多址 (Code Division Multiple Access, CDMA) , 它是在扩频通信技术的基础上发展起来的一种无线通信技术。
- 与FDM和TDM不同， CDMA的每个用户可以在相同的时间使用相同的频带进行通信。
- CDMA最初用于军事通信，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。
- 随着技术的进步， CDMA设备的价格和体积都大幅度下降，因而现在已广泛用于民用的移动通信中。

02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

- CDMA将每个比特时间划分为m个更短的时间片，称为**码片**（Chip）。m的取值通常为64或128。为了简单起见，在后续的举例中，我们假设m的取值为8。
- CDMA中的每个站点都被指派一个唯一的**m比特码片序列**（Chip Sequence）。
 - 某个站要发送**比特1**，则发送它自己的**m比特码片序列**；
 - 某个站要发送**比特0**，则发送它自己的**m比特码片序列的反码**。

【举例】

假设给某个站指派的8比特码片序列为01011001

该站发送**比特1**：发送自己的8比特码片序列01011001

该站发送**比特0**：发送自己的8比特码片序列01011001的反码10100110

将码片序列中的比特0记为-1，而比特1记为+1，可写出码片序列相应的**码片向量**。

在本例中，该站的码片向量为 $(-1 +1 -1 +1 +1 -1 -1 +1)$ 。

02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

■ 如果有两个或多个站同时发送数据，则信道中的信号就是这些站各自所发送一系列码片序列或码片序列反码的叠加。为了从信道中分离出每个站的信号，给每个站指派码片序列时，必须遵循以下规则：

- 分配给每个站的码片序列必须各不相同，实际常采用伪随机码序列。
- 分配给每个站的码片序列必须相互正交，即各码片序列相应的码片向量之间的规格化内积为0。

令向量A表示站A的码片向量，向量B表示站B的码片向量。

两个不同站A和B的码片序列相互正交，就是向量A与向量B的规格化内积为0，如下式所示。

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m A_i B_i = 0$$

02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m A_i B_i = 0$$

【举例】

给站A分配的8比特码片序列为01011001，给站B分配的8比特码片序列为00110101，则站A的码片向量为 $(-1 + 1 - 1 + 1 + 1 - 1 - 1 + 1)$ ，站B的码片向量为 $(-1 - 1 + 1 + 1 - 1 + 1 - 1 + 1)$ 。

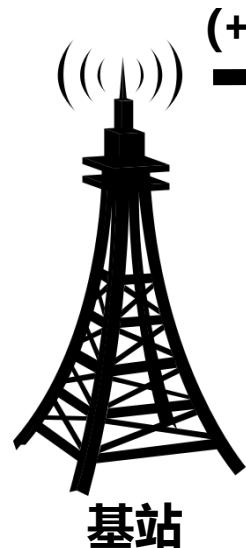
将站A和站B各自的码片向量代入上式计算规格化内积：

$$\frac{(-1) \times (-1) + (+1) \times (-1) + (-1) \times (+1) + (+1) \times (+1) + (+1) \times (-1) + (-1) \times (+1) + (-1) \times (-1) + (+1) \times (+1)}{8} = 0$$

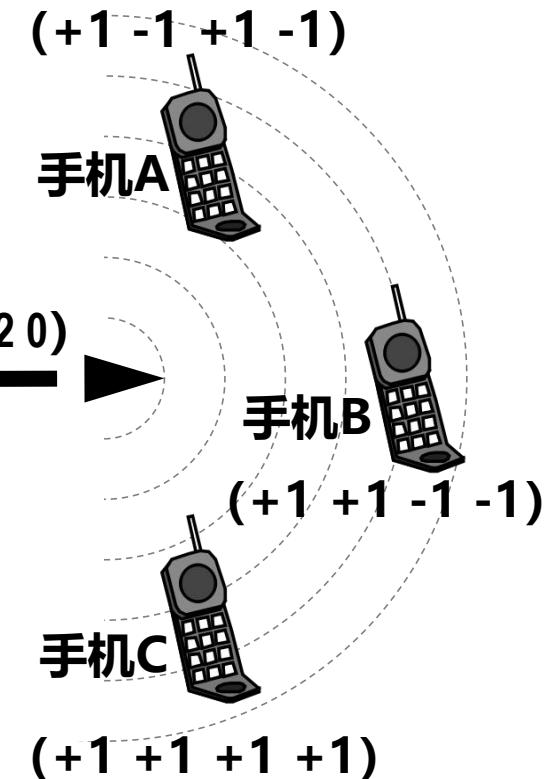
02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

知道各手机的码片序列
给手机A发送比特串101
给手机B发送比特串110



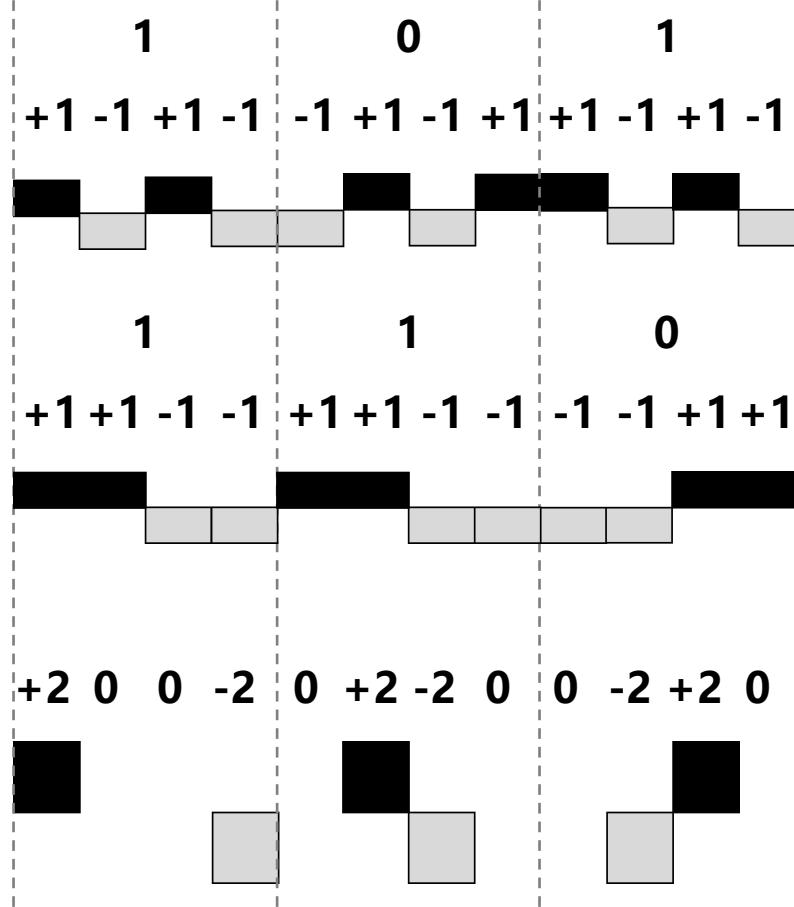
时分复用TDM



波分复用WDM

A发送数据
相应的码片向量
相应的信号
B发送数据
相应的码片向量
相应的信号

基站发送叠加向量
相应的信号

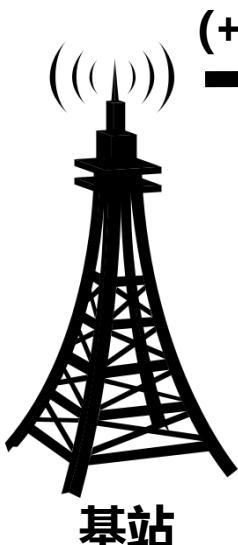


码分复用CDM

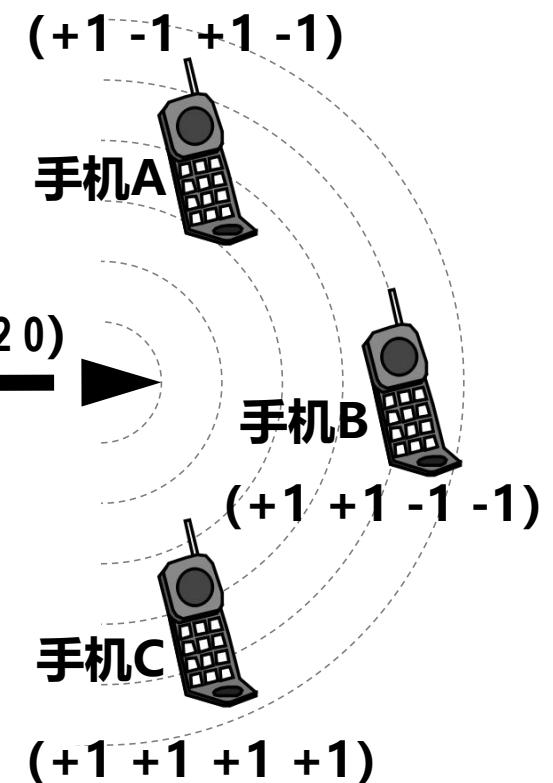
02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

知道各手机的码片序列
给手机A发送比特串101
给手机B发送比特串110



时分复用TDM



波分复用WDM

手机A收到基站发来的叠加后的信号，就用自己的码片向量与收到的叠加后的码片向量，做规格化内积运算：

$$\frac{(+1) \times (+2) + (-1) \times 0 + (+1) \times 0 + (-1) \times (-2)}{4} = 1$$

$$\frac{(+1) \times 0 + (-1) \times (+2) + (+1) \times (-2) + (-1) \times 0}{4} = -1$$

$$\frac{(+1) \times 0 + (-1) \times (-2) + (+1) \times (+2) + (-1) \times 0}{4} = 1$$

根据运算结果可知：

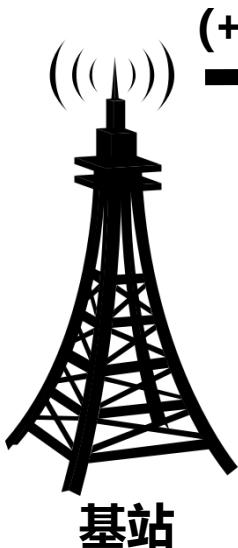
手机A收到基站发来的数据是比特串101。

码分复用CDM

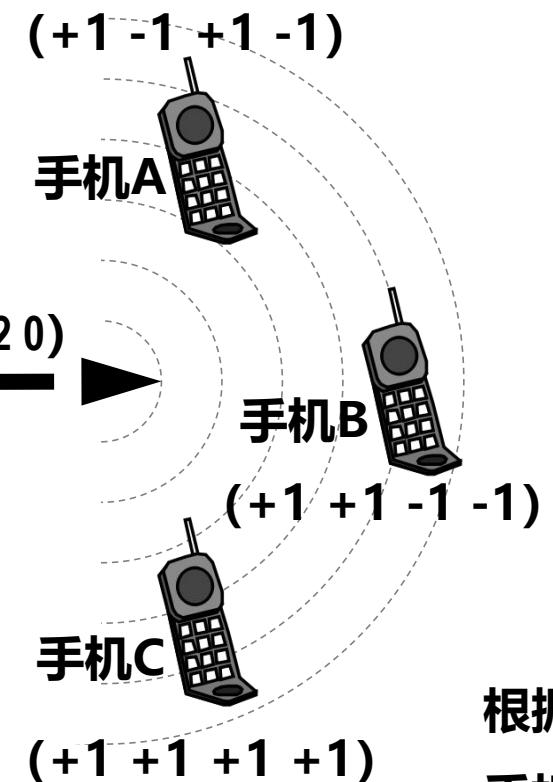
02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

知道各手机的码片序列
给手机A发送比特串101
给手机B发送比特串110



时分复用TDM



波分复用WDM

手机B收到基站发来的叠加后的信号，就用自己的码片向量与收到的叠加后的码片向量，做规格化内积运算：

$$\frac{(+1) \times (+2) + (+1) \times 0 + (-1) \times 0 + (-1) \times (-2)}{4} = 1$$

$$\frac{(+1) \times 0 + (+1) \times (+2) + (-1) \times (-2) + (-1) \times 0}{4} = 1$$

$$\frac{(+1) \times 0 + (+1) \times (-2) + (-1) \times (+2) + (-1) \times 0}{4} = -1$$

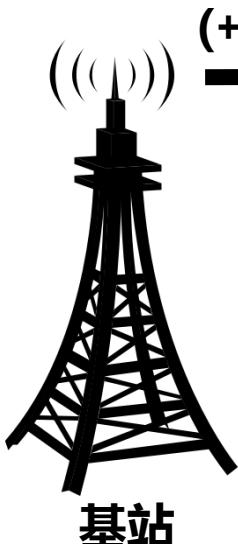
根据运算结果可知：
手机B收到基站发来的数据是比特串110。

码分复用CDM

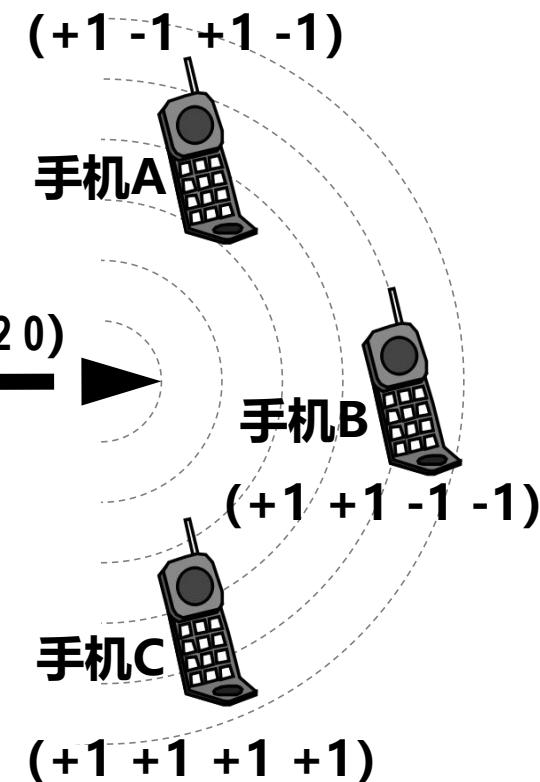
02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

知道各手机的码片序列
给手机A发送比特串101
给手机B发送比特串110



时分复用TDM



波分复用WDM

手机C收到基站发来的叠加后的信号，就用自己的码片向量与收到的叠加后的码片向量，做规格化内积运算：

$$\frac{(+1) \times (+2) + (+1) \times 0 + (+1) \times 0 + (+1) \times (-2)}{4} = 0$$

$$\frac{(+1) \times 0 + (+1) \times (+2) + (+1) \times (-2) + (+1) \times 0}{4} = 0$$

$$\frac{(+1) \times 0 + (+1) \times (-2) + (+1) \times (+2) + (+1) \times 0}{4} = 0$$

根据运算结果可知，基站没有给手机C发送数据。

码分复用CDM

02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

【2014年 题37】站点A、B、C通过CDMA共享链路，A、B、C的码片序列分别是(1,1,1,1)、(1,-1,1,-1)和(1,1,-1,-1)。若C从链路上收到的序列是(2,0,2,0,0,-2,0,-2,0,2,0,2)，则C收到A发送的数据是 (B)。

A. 000

B. 101

C. 110

D. 111

解析

由于题目所给各站的码片序列为4比特，因此将站点C收到的序列分成三部分，每部分也由4比特组成：

$$(2, 0, 2, 0, 0, -2, 0, -2, 0, 2, 0, 2) \longrightarrow (2, 0, 2, 0) \quad (0, -2, 0, -2) \quad (0, 2, 0, 2)$$

将站点A的码片序列 (1, 1, 1, 1) 分别与上述三个部分进行规格化内积运算，根据结果可判断A发送的数据

$$(1, 1, 1, 1) \cdot (2, 0, 2, 0) = (1 \times 2 + 1 \times 0 + 1 \times 2 + 1 \times 0) \div 4 = 1 \quad \text{发送的是比特1}$$

$$(1, 1, 1, 1) \cdot (0, -2, 0, -2) = (1 \times 0 + 1 \times (-2) + 1 \times 0 + 1 \times (-2)) \div 4 = -1 \quad \text{发送的是比特0}$$

$$(1, 1, 1, 1) \cdot (0, 2, 0, 2) = (1 \times 0 + 1 \times 2 + 1 \times 0 + 1 \times 2) \div 4 = 1 \quad \text{发送的是比特1}$$

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)

- 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。
- 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

互联网结构

网络边缘:

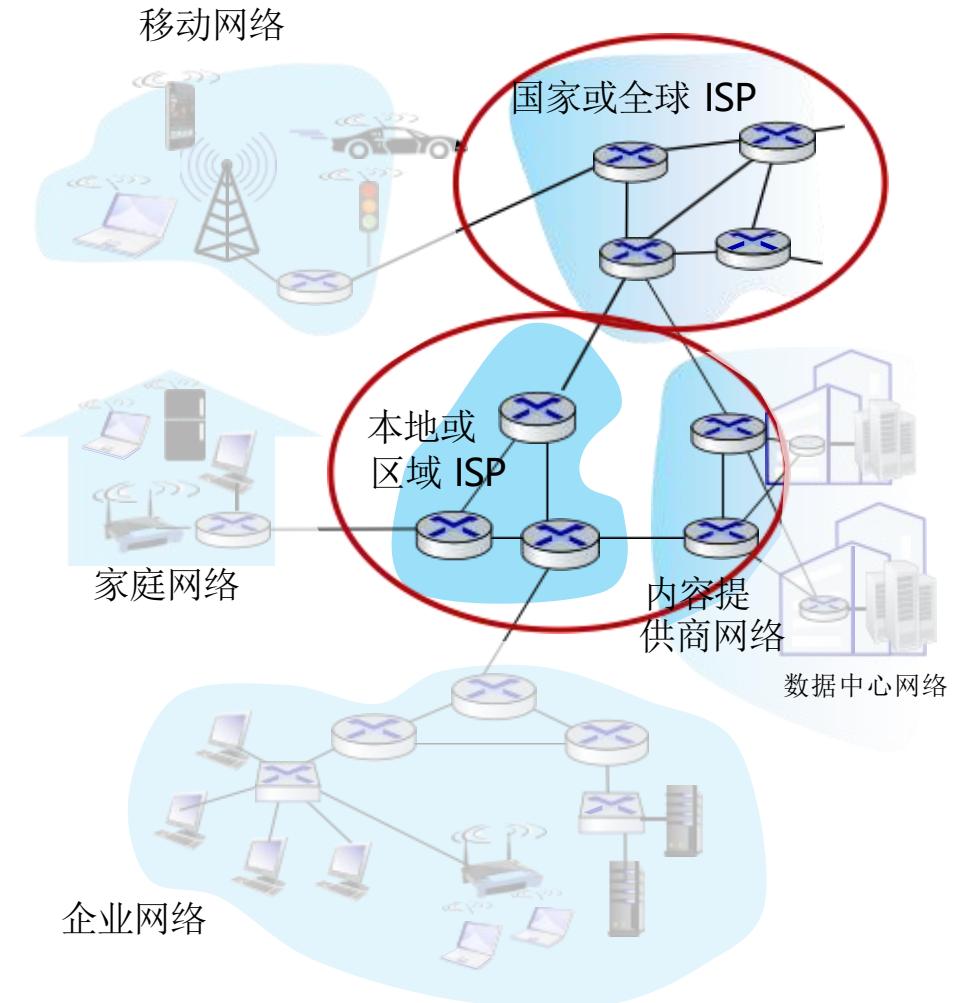
- 主机: 客户机和服务器
- 服务器通常在数据中心

接入网络、物理介质:

- 有线、无线通信链路

网络核心:

- 相互连接的路由器
- 网络的网络



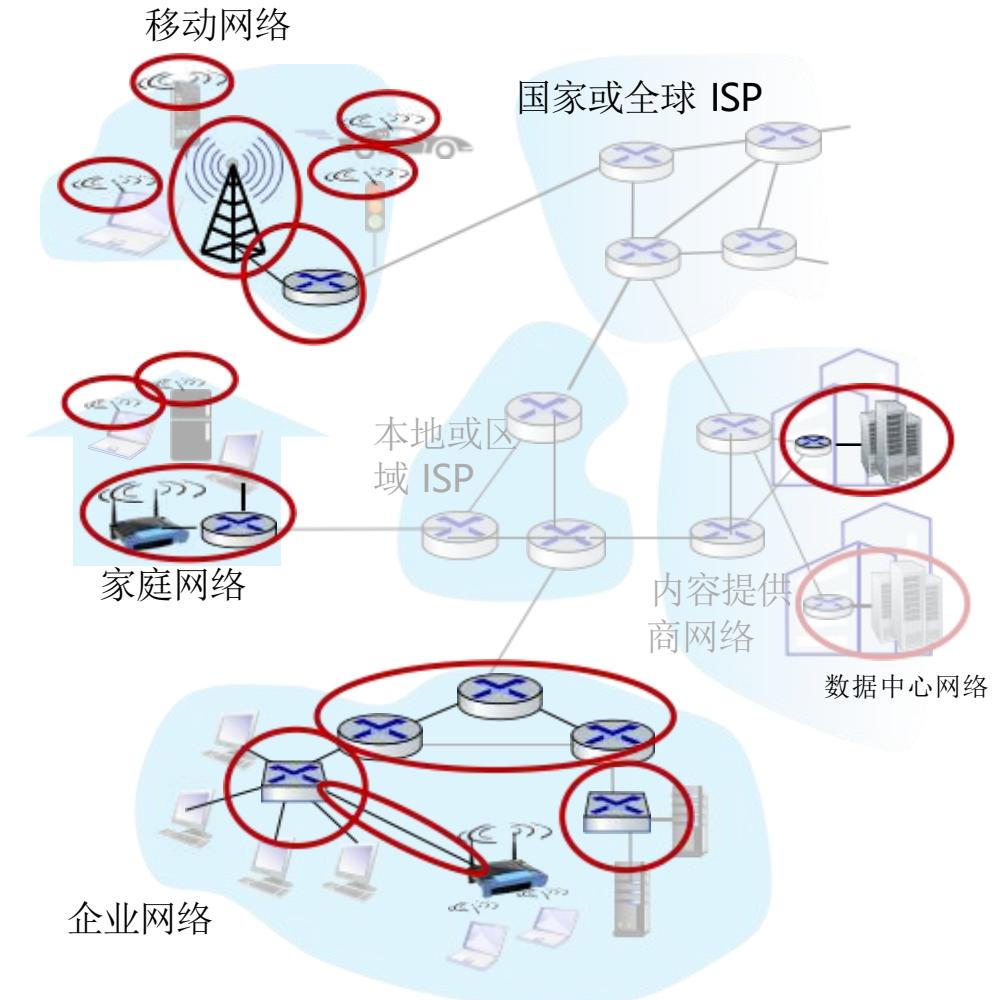
接入网

问:如何将端系统连接到边缘路由器?

- 住宅接入网
- 机构接入网(学校、公司)
- 移动接入网(WiFi、4G/5G)

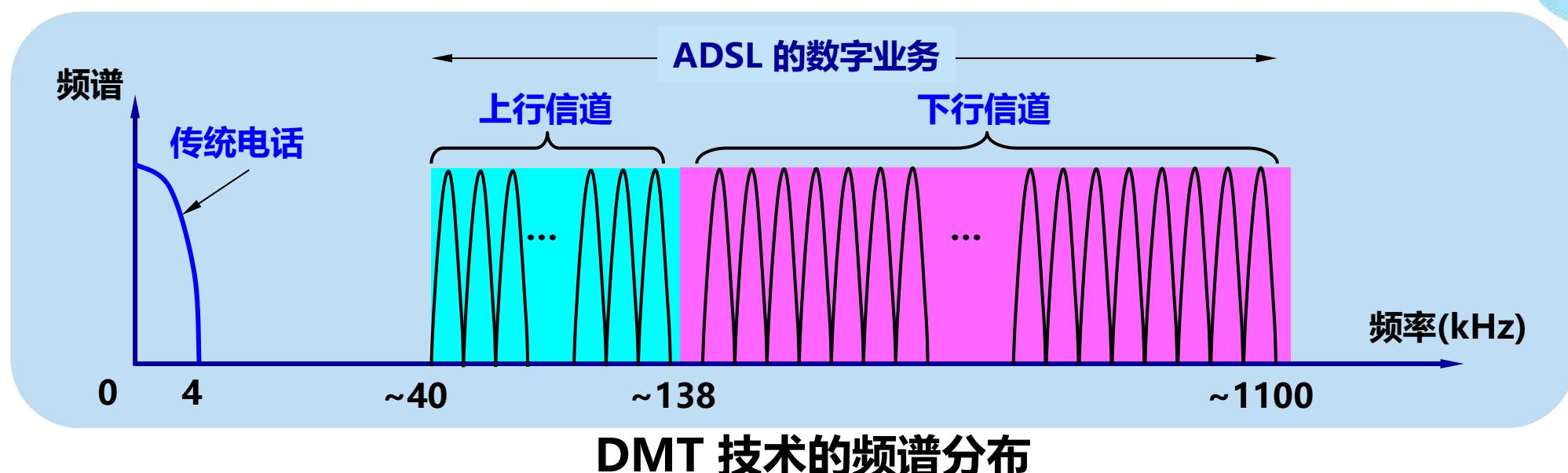
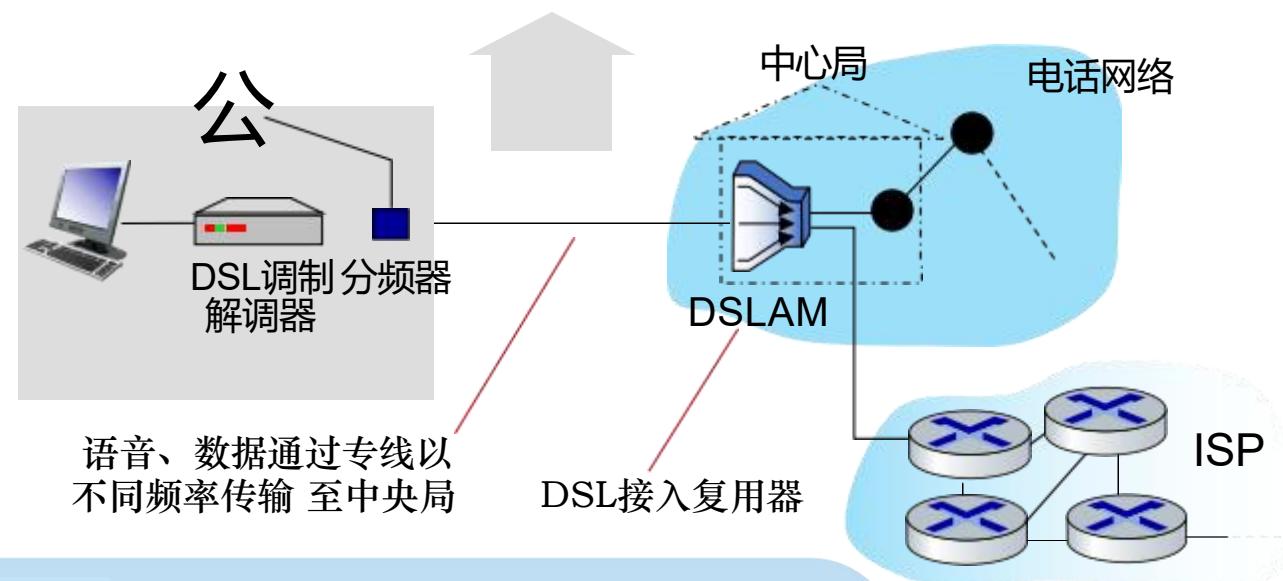
特点:

- 接入网的传输速率(bit/s)?
- 用户之间是共享接入还是专线接入?



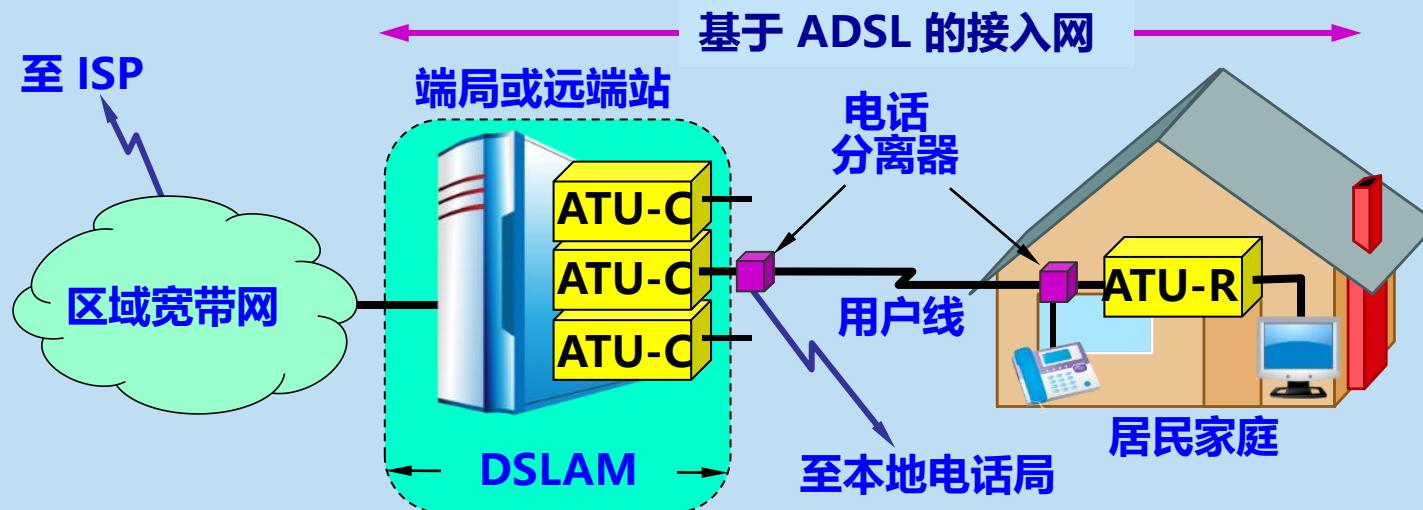
接入网:数字用户线(DSL)

- 使用现有的电话线到中心局的DSL复用器
 - 数据通过DSL电话线到互联网
 - 语音通过DSL电话线到电话网
- 24~52Mbps专用下行传输速率
- 3.5~16Mbps专用上行传输速率



3 大组成部分：

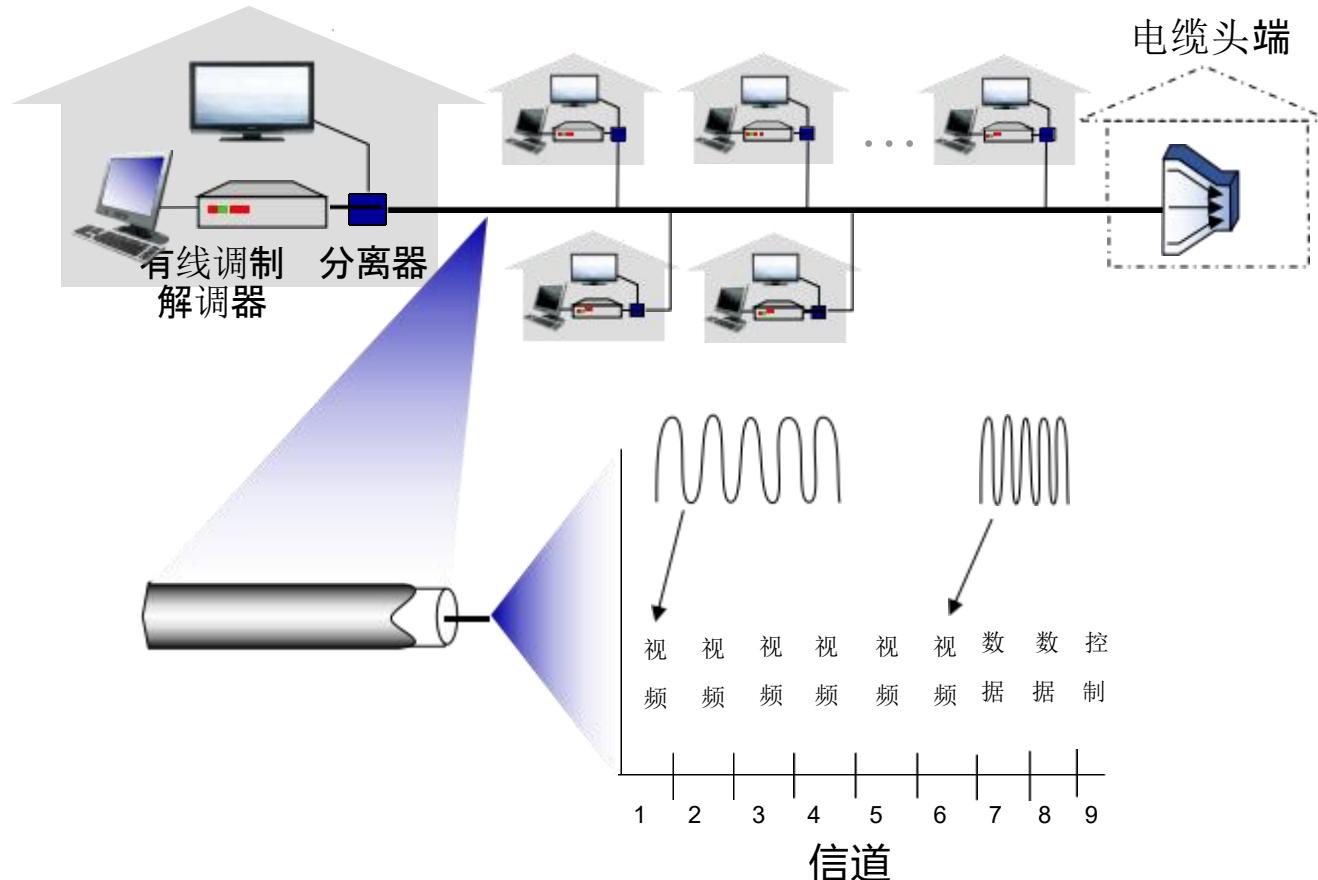
数字用户线接入复用器 **DSLAM** (DSL Access Multiplexer) , 用户线和用户家中的一些设施。



ADSL 最大好处：
可以利用现有电话网中的用户线（铜线），而不需要重新布线。

DSLAM (DSL Access Multiplexer): 数字用户线接入复用器。
ATU (Access Termination Unit): 接入端接单元 (ADSL 调制解调器) 。
ATU-C (C 代表端局 Central Office), **ATU-R (R 代表远端 Remote)**

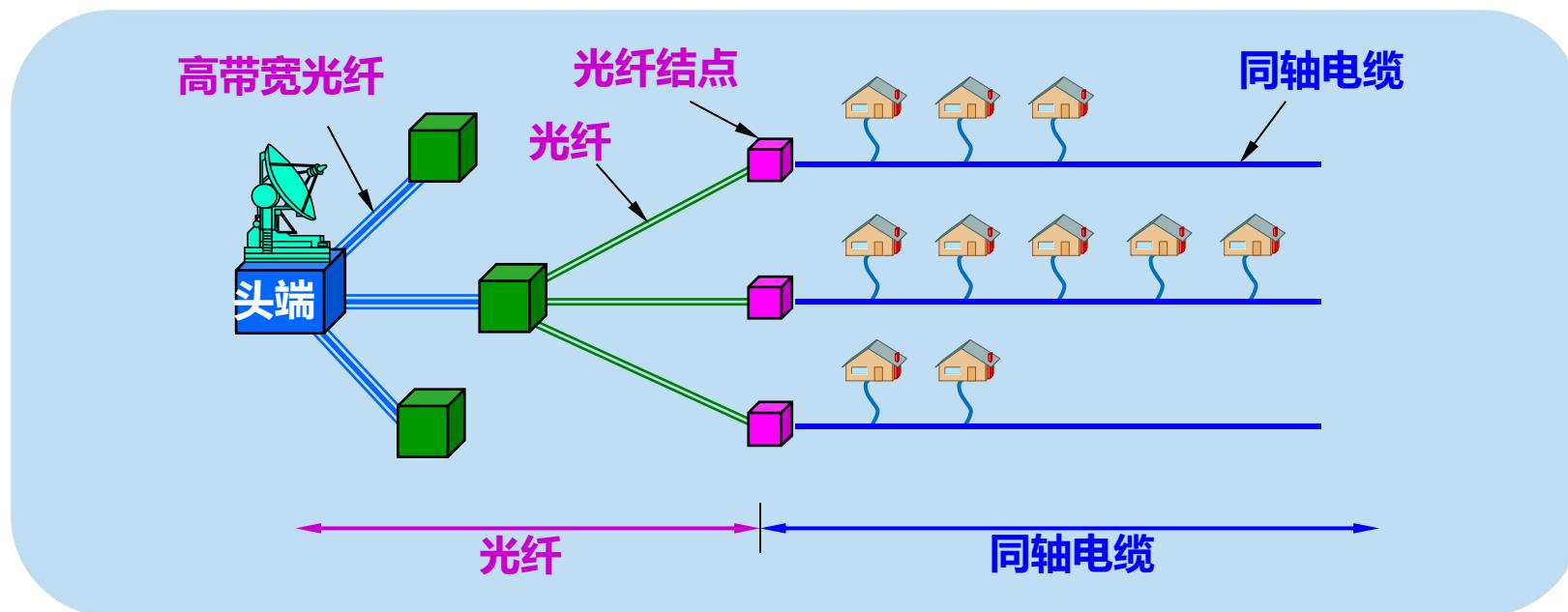
接入网:有线接入



频分复用(FDM):不同的信道在不同的频带中传输

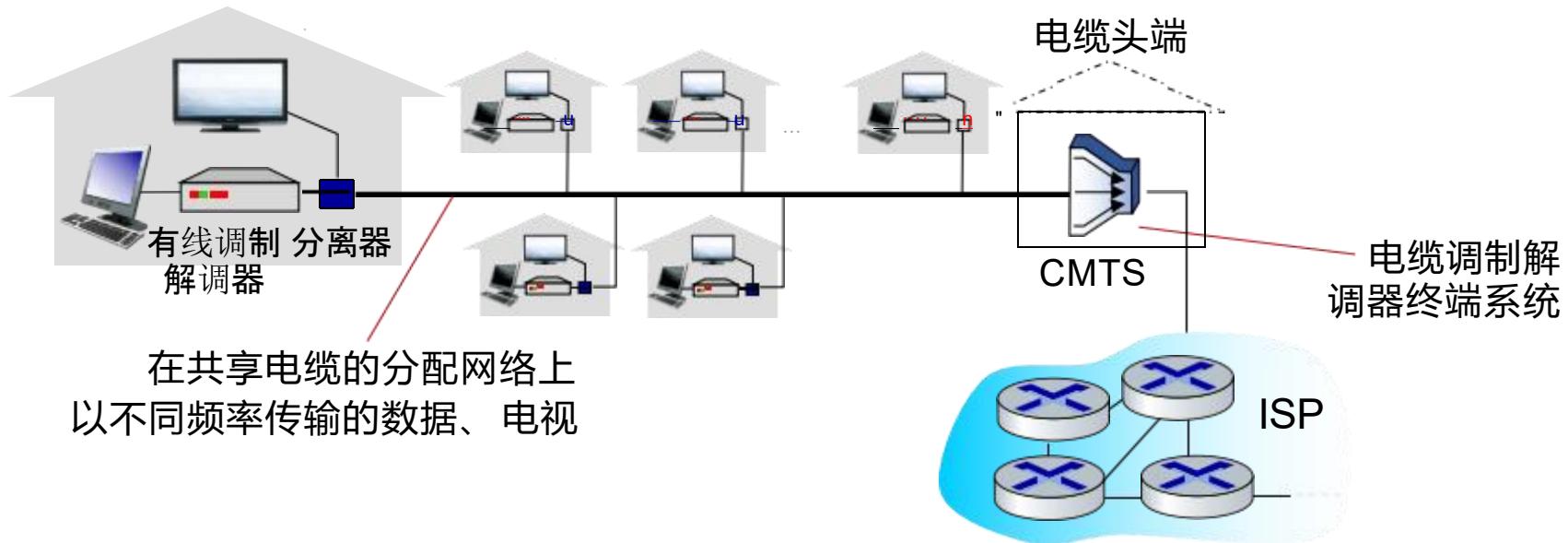
光纤同轴混合网 (HFC 网)

- 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



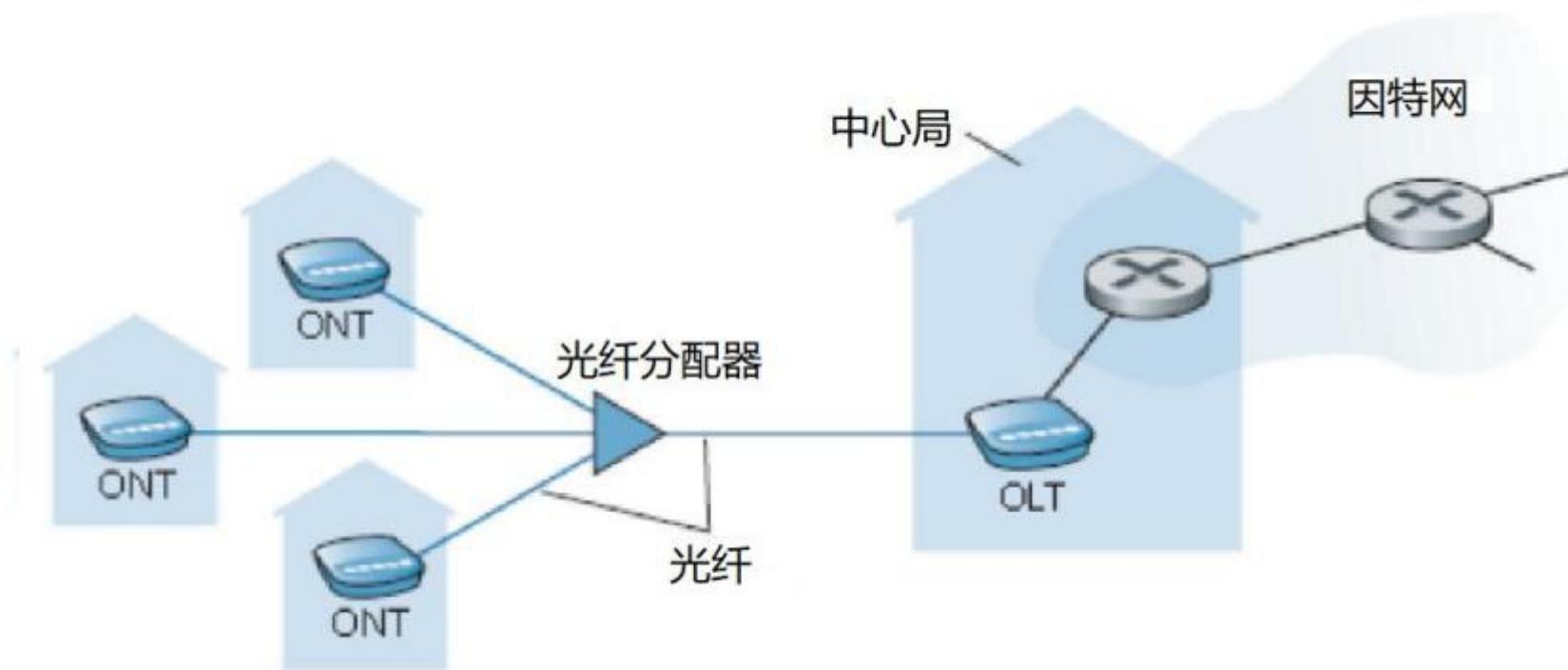
HFC 网的结构

接入网:有线接入



- 混合光纤 / 同轴电缆网路
 - 非对称:高达40Mbps ~ 1.2 Gbps下行传输速率, 30 ~100Mbps上行传输速率
- 有线网络, 光纤将家庭连接到ISP路由器
 - 家庭共享接入网到光缆头端

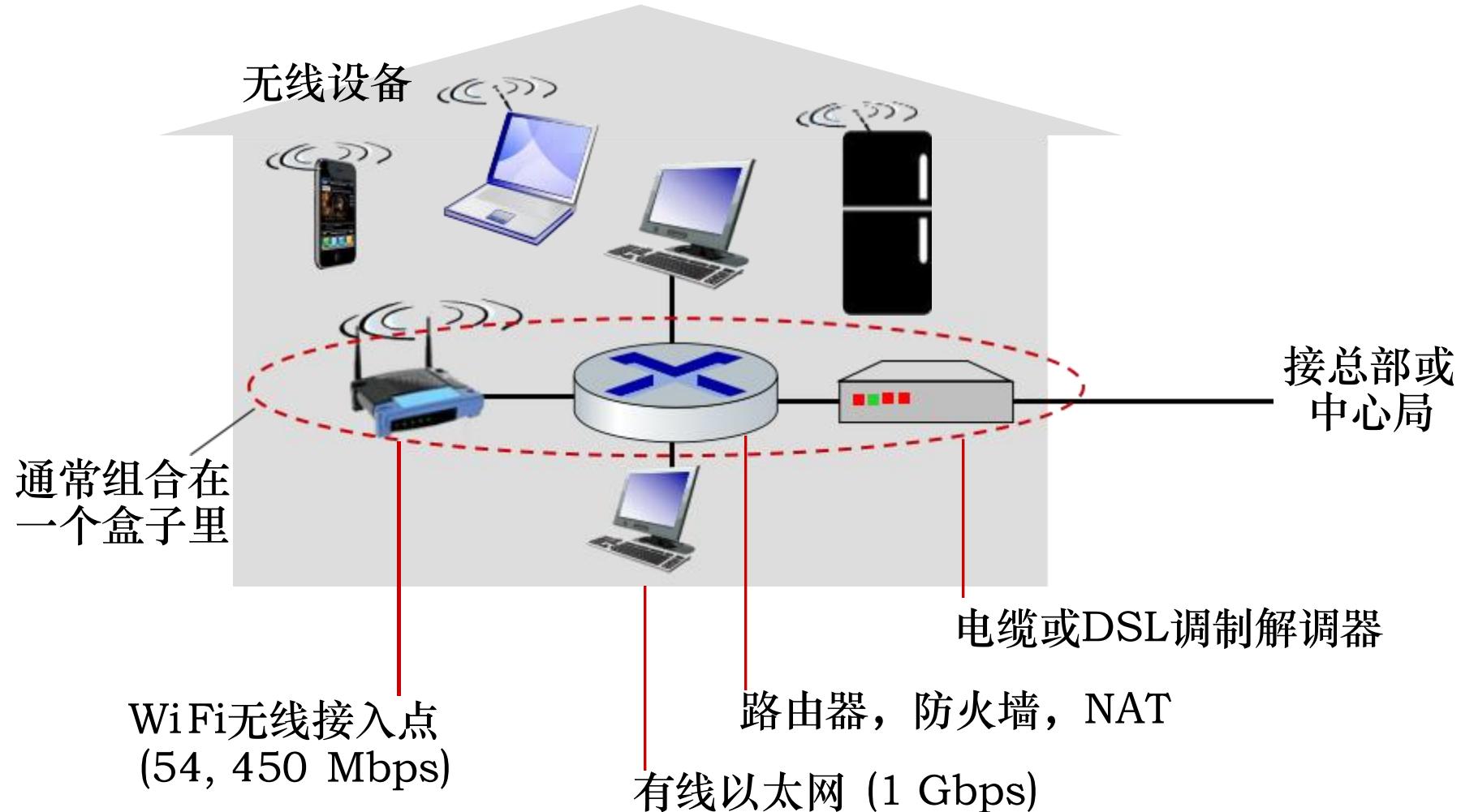
接入网: FTTH (光纤到户) 接入



ONT:光网端接器

OLT:光线路端接器

接入网络:家庭网络



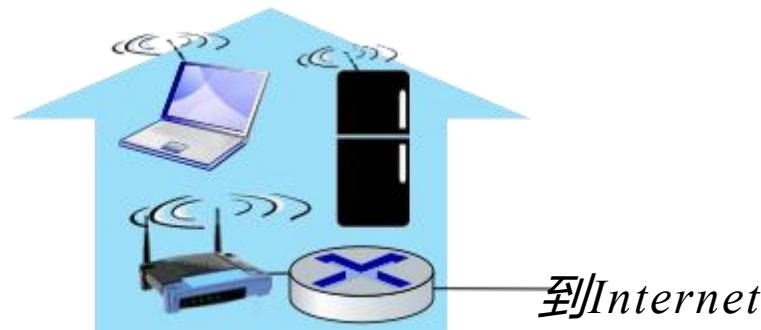
无线接入网

共享无线接入网，连接端系统到路由器

- 通过基站又名“接入点”

无线局域网(Wlan)

- 通常在一个或几个临近的建筑物范围内(有效半径约100英尺)
- 802.11b/g/n (WiFi): 传输速率分别是 11, 54, 450Mbps

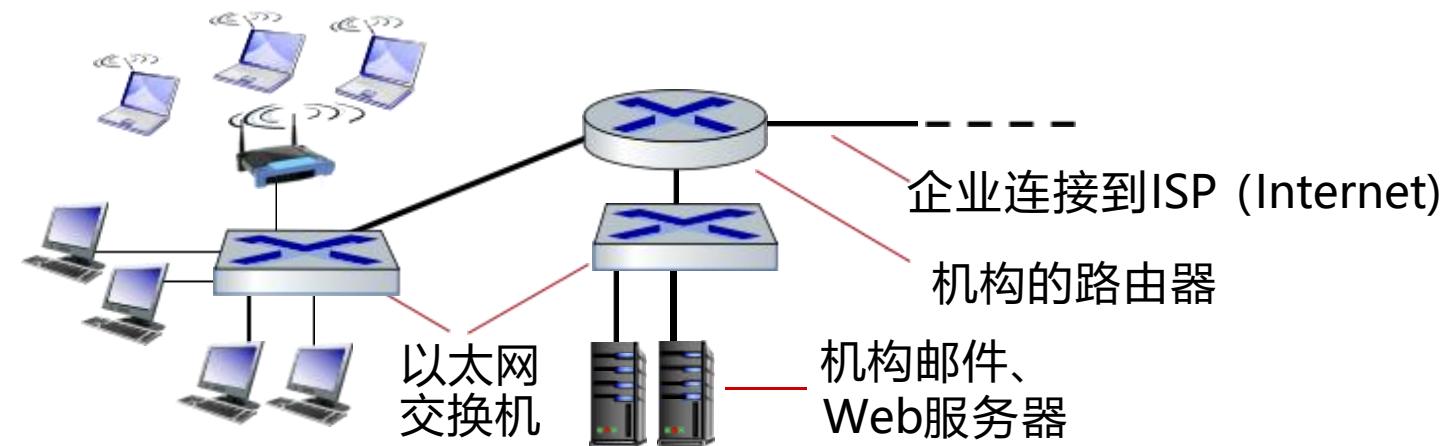


广域蜂窝接入网

- 由移动、蜂窝网络运营商提供(有效半径10km)
- 速率10Mbps
- 4G/5G 蜂窝网络



接入网络:企业网络



- 公司、大学等
- 有线和无线链路技术的混合体，连接到交换机和路由器的混合体(我们将很快学习它们的差异)
 - 以太网：有线接入速率一般为100Mbps, 1Gbps, 10Gbps
 - WiFi：无线接入点的接入速率一般为11Mbps, 54Mbps, 450Mbps

无线移动-5G

- 目标: 峰值比特率提高10倍, 延迟降低10倍, 流量比4G提高100倍
- 5G 新无线NR (new radio):
 - 两个频段:FR1 (450MHz ~ 6GHz)和FR2 (24GHz ~ 52GHz):毫米波频率
 - 不向后兼容 4G
 - MIMO: 多向天线
- 毫米波频率: 更高的数据传输速率, 但传输距离更短
 - 小型基站: 覆盖直径:10-100米
 - 需要大规模、密集地部署新的基站