



工业和信息化部“十二五”规划教材

21 世纪高等学校计算机规划教材

21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

计算机网络教程

(第4版)

A Textbook on Computer Networks (4th Edition)

谢钧 谢希仁 编著

- 参考计算机专业考研大纲
- 体现了作者多年的教学经验
- 吸收了多种国外著名教材的优点
- 提供实验建议、教学PPT、部分习题答案

第二章 物理层

- | 主要内容:
- | 传输上的一些概念
- | 传输介质
- | 模拟传输和数字传输
- | 信道复用技术
- | **RS-232**

本章知识点分布

章	节	知识点	相关概念或原理
2	§ 2.1 物理层的基本概念	物理层特性	机械特性、电气特性、功能特性、规程特性
	§ 2.2 数据通信的基础知识	数据通信系统、 编码 、调制、信道容量、传输方式	模拟信号、数字信号、模拟数据、数字数据、不归零编码、曼彻斯特编码、香农公式、单工、半双工、全双工
	§ 2.3 物理层下面的传输媒体	导引型传输媒体 、非导引型传输媒体	双绞线、同轴电缆、光纤
	§ 2.4 信道复用技术	频分复用 、 时分复用 、 统计时分复用 、 波分复用 、 码分复用	复用器、分用器、集中器、码片序列、规格化内积
	§ 2.5 数字传输系统	脉冲编码调制 、SDH、SONET、光网络	T1、E1、自动交换光网络
	§ 2.6 互联网接入技术	数字用户线接入、 以太网接入 、 无线接入	宽带技术、蜂窝移动通信系统接入、无线局域网接入

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的比特流，而不是指连接计算机的具体的物理设备或具体的传输媒体。

其作用正是要尽可能地使其上面的数据链路层感觉不到物理层具体的物理设备或传输媒体的差异，这就可以使数据链路层只需要考虑如何完成本层的协议和服务，而不必考虑网络具体的传输媒体是什么。

用于物理层的协议也常称为物理层规程。

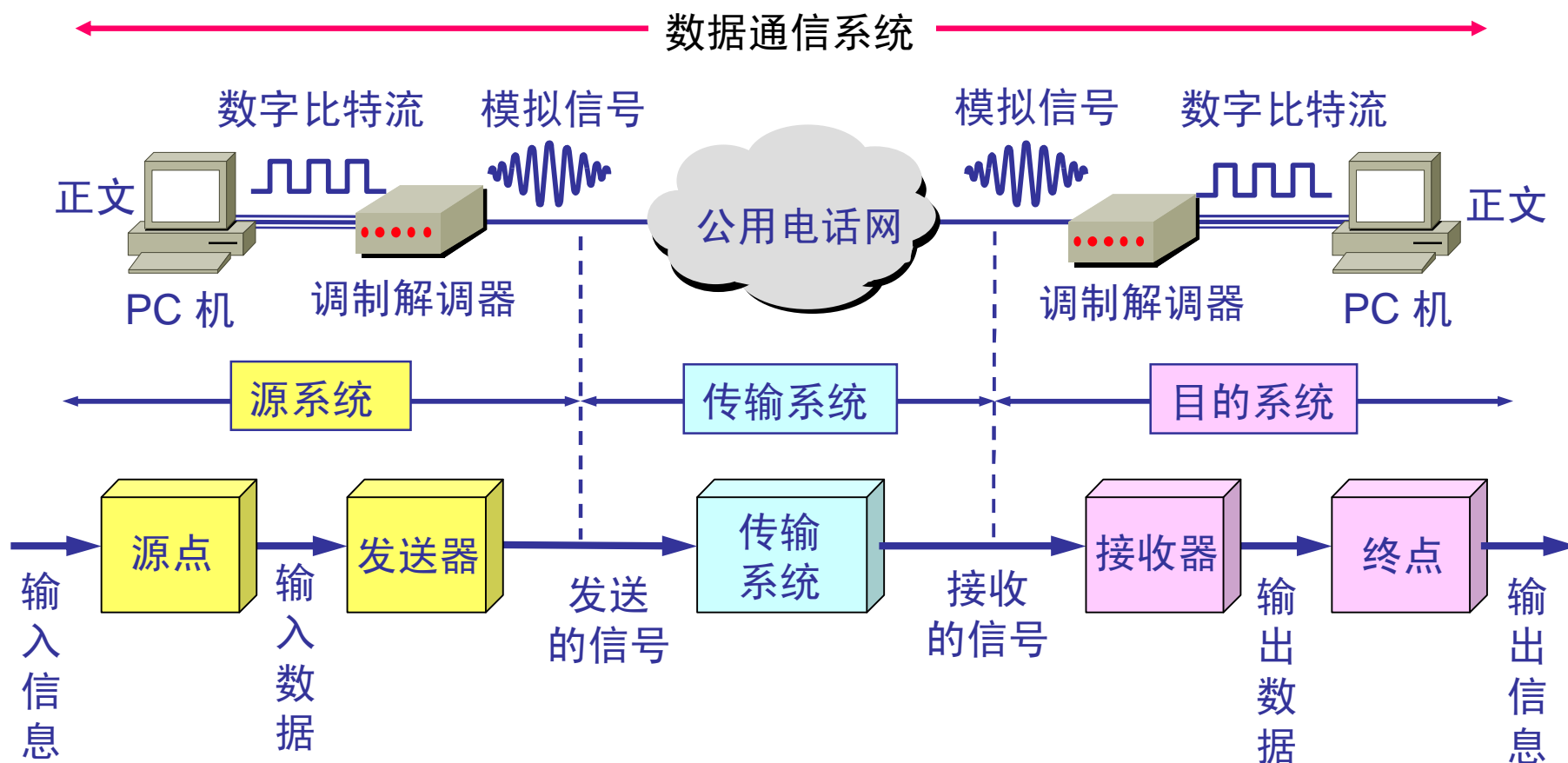
物理层四大特性

可以将物理层的主要任务描述为确定与传输媒体的接口的一些特性，即：

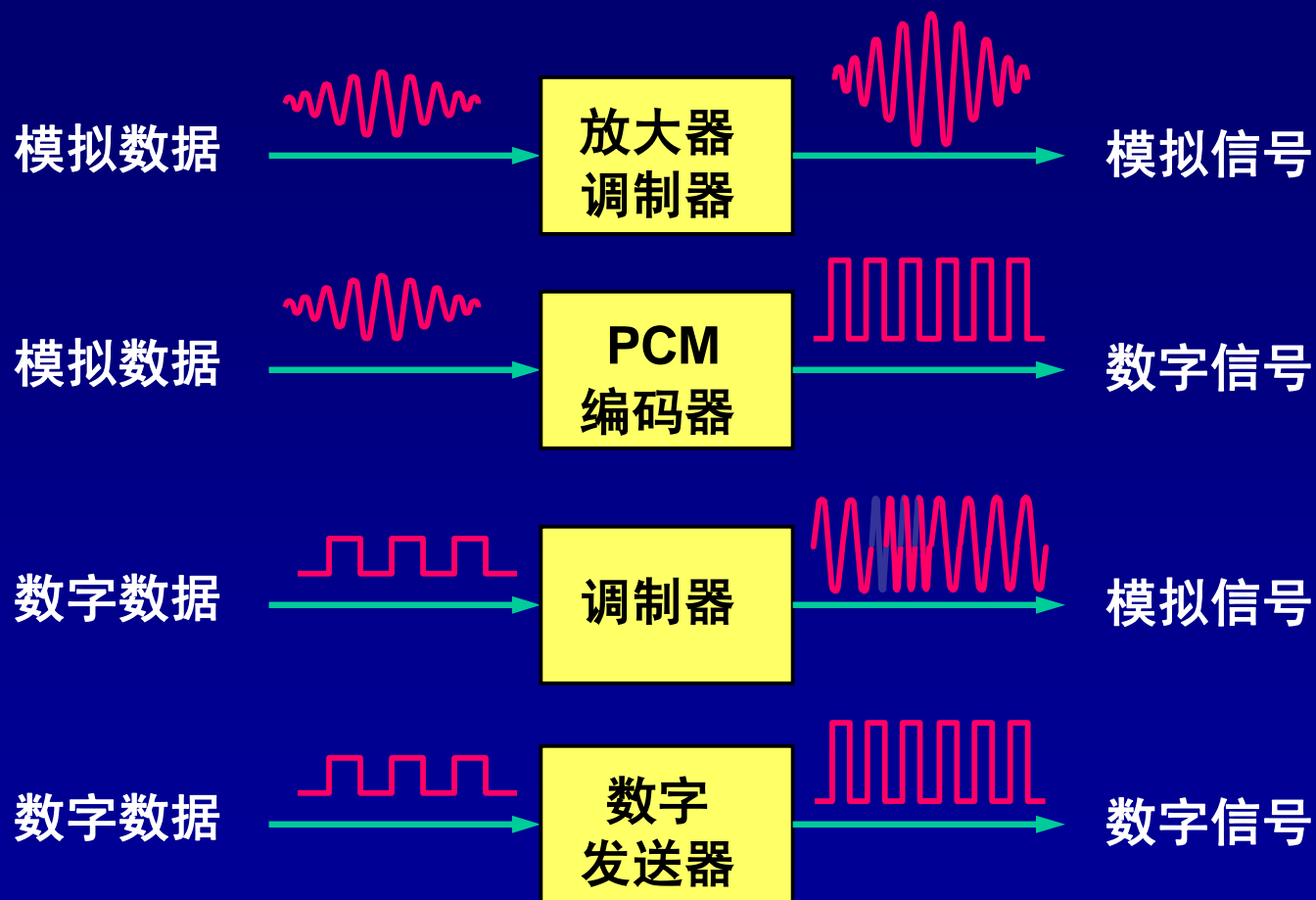
特 性	主要规定	简述说明
机械特性	接口的几何尺寸、插针芯数、排列方式、锁定装置形式等	电源插头的尺寸都有严格的规定
电气特性	物理连接上导线的电气连接及有关的电路特性	什么样的电压表示1或0
功能特性	接口信号的来源、作用及其它信号间的关系	某一电平的电压表示何种意义
规程特性	使用交换电路进行数据交换的控制步骤	不同功能的各种可能事件的出现顺序

2.2 数据通信的基础知识

2.2.1 数据通信系统的模型



模拟的和数字的数据、信号



模拟的和数字的数据、信号

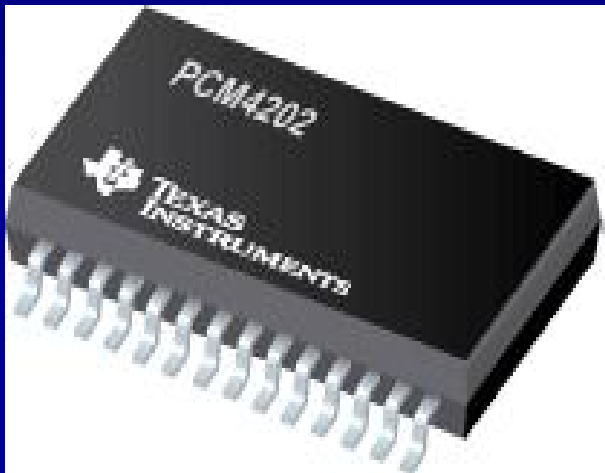


LME49721

高性能、高保真输入/输出音频放大器

High Performance, High Fidelity I/O Audio Operational Amplifier

<http://www.ti.com.cn/product/cn/lme49721>



PCM4202

PCM接口的音频立体声模数转换器

PCM4202: High Performance Stereo Audio A/D Converter

模拟的和数字的数据、信号



TRF3705

300MHz 至 4GHz 正交调制器

300MHz to 4GHz Quadrature Modulator



DIT4096

96kHz 数字音频发送器

DIT4096: 96kHz Digital Audio Transmitter

数据通信的基本概念P35

数据(Data): 运送消息的实体，消息 (message) 则是数据的内容或解释。

信号(Signal): 数据的电气的或电磁的表现，数据以信号的形式传播。

模拟信号与数字信号

基带(*Baseband*)信号与宽带(*Broadband*)信号

信道(Channel): 传送信息的媒体。

数据率(Bit Rate): 数据传输速率 (bps)

波特(Baud): 码元传输速率

$1 \text{ Baud} = (\log_2 V) \text{ bps}$ ，其中V是信号的电平级数

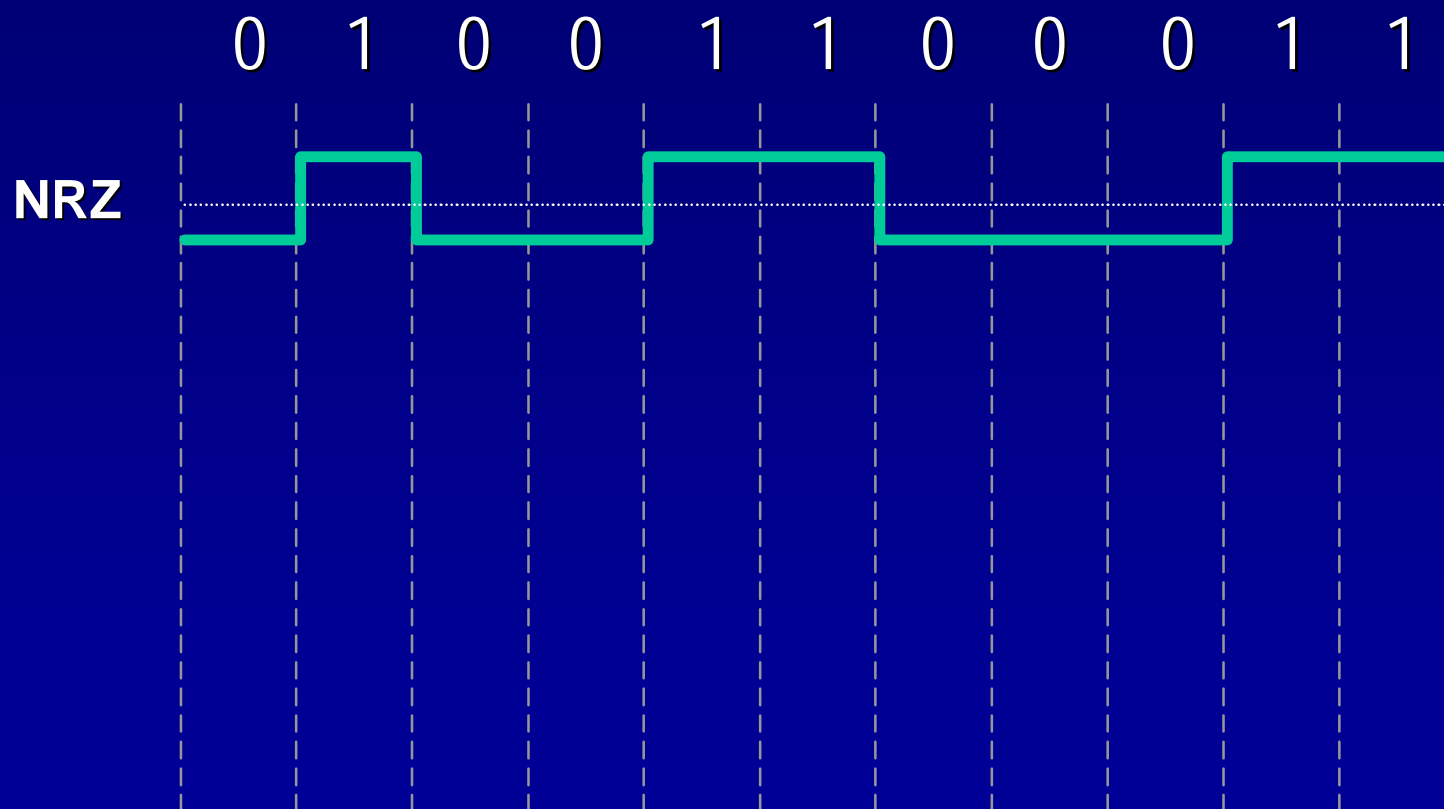
传播速度(Propagation Speed): 通信线路上，信号单位时间内传送的距离 (米/秒)

误码率(Bit Error Rate): 信道传输可靠性指标

误码率= 传送错的位数 / 传送总位数

2.2.2 基带数字信号的编码方法(P35)

- 常见的数字数据编码方案有非归零编码和曼彻斯特编码。



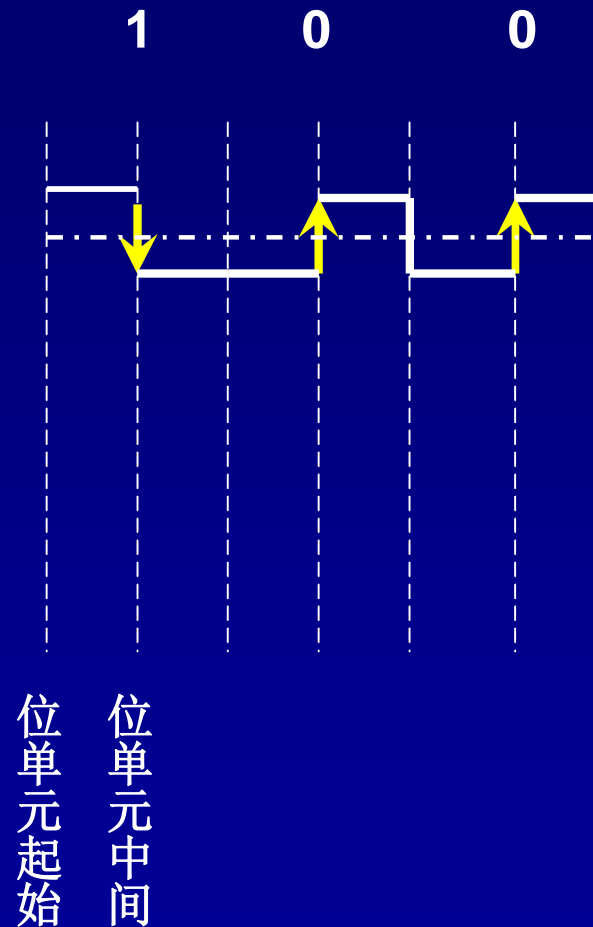
基带数字信号的编码方法

曼彻斯特编码:

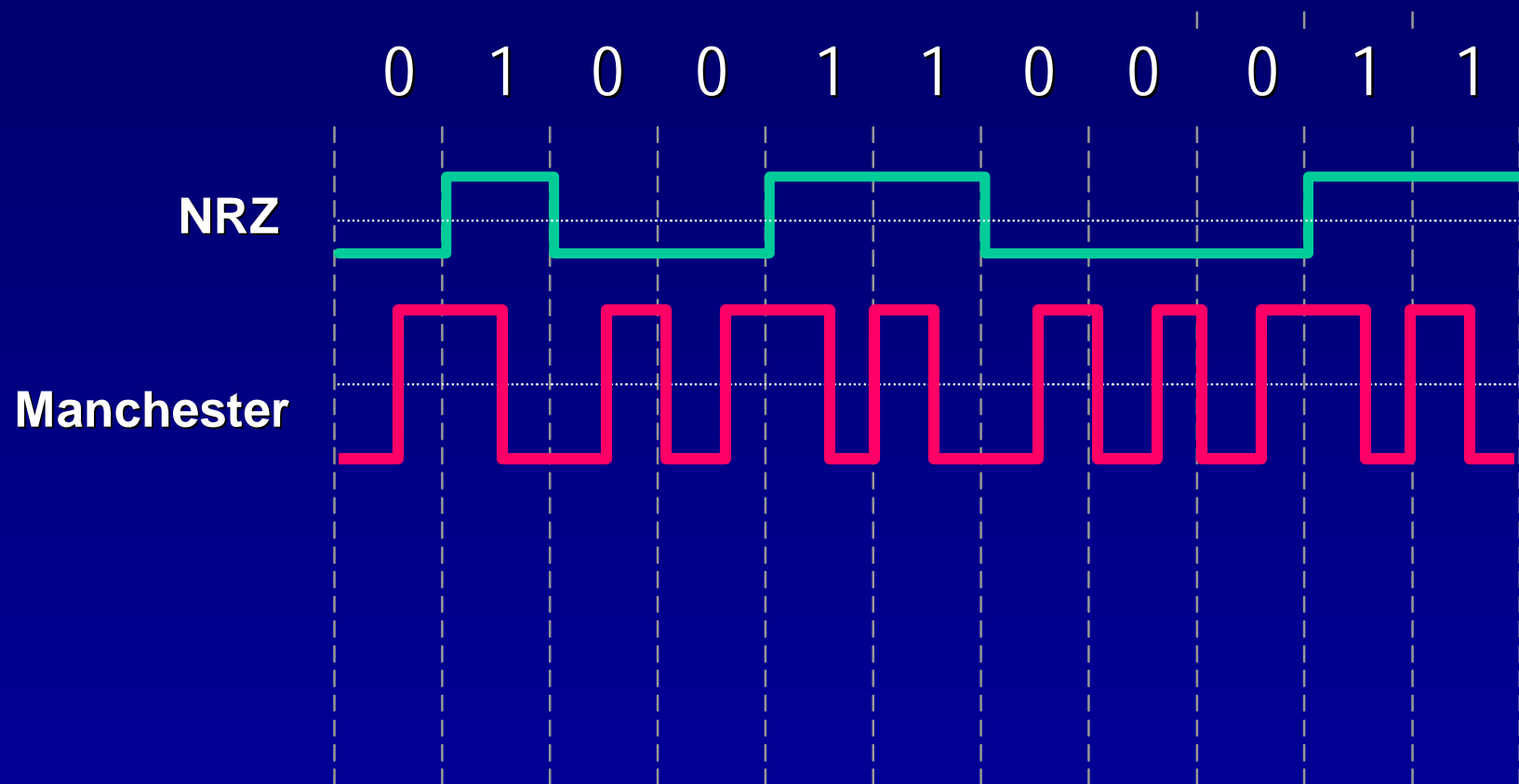
在位单元中间

0:正跳变

1:负跳变



基带数字信号的编码方法

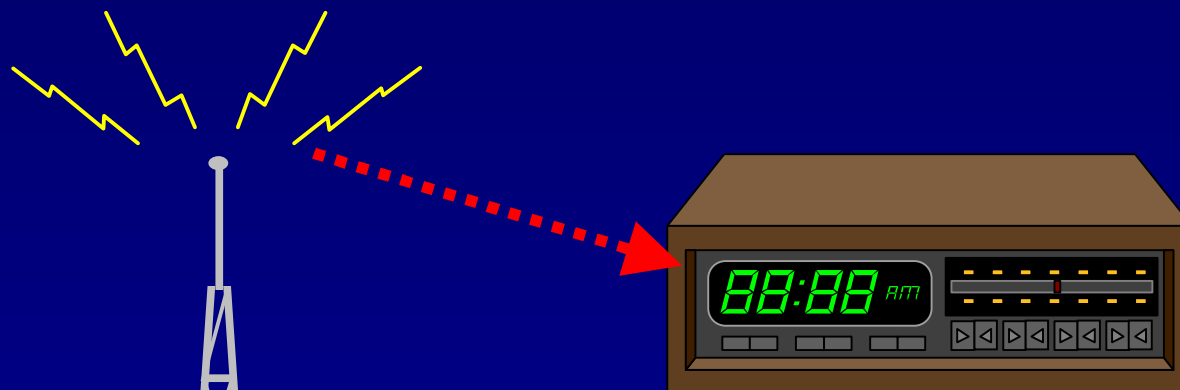


2.2.3 传输方式 P38

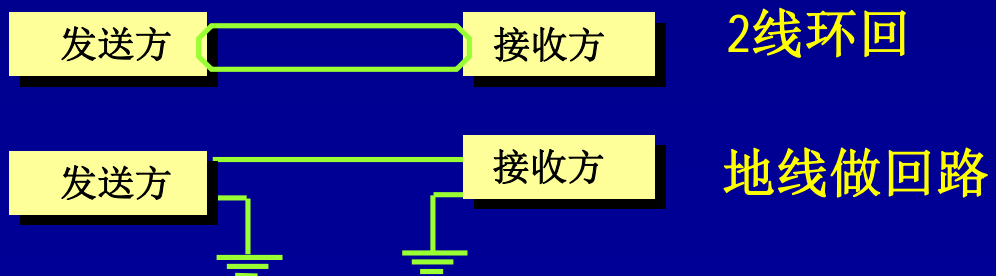
- 并行传输和串行传输:
- 异步传输和同步传输:
- 信息交互的方式: 单工、半双工与全双工

单工 (simplex)

信息只能单方向传输

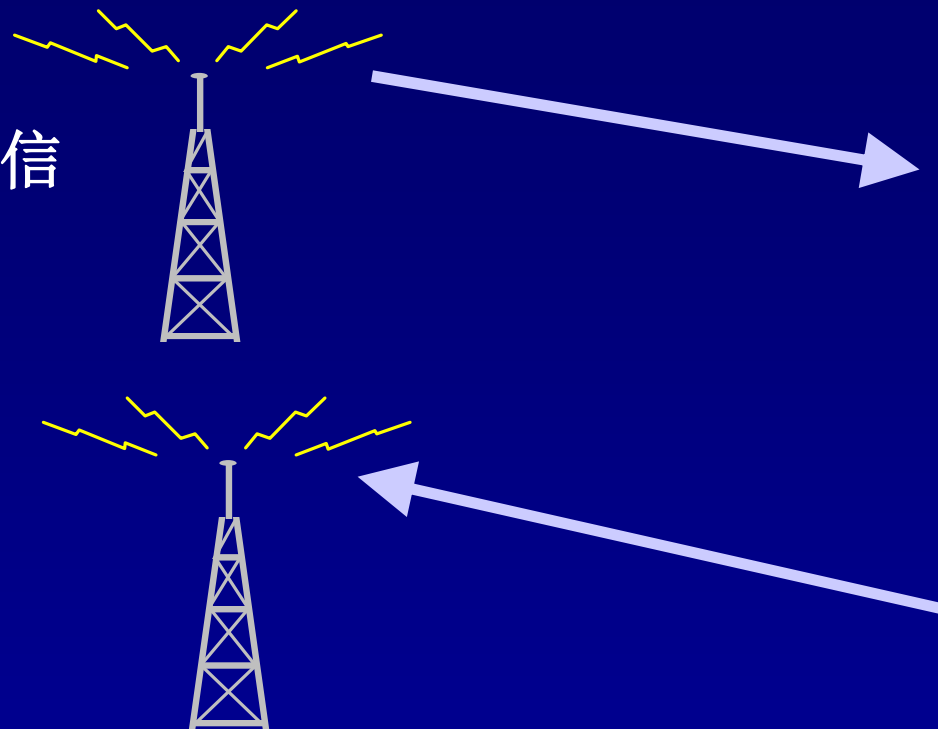


“单工”



半双工 (half-duplex)

双向交替通信



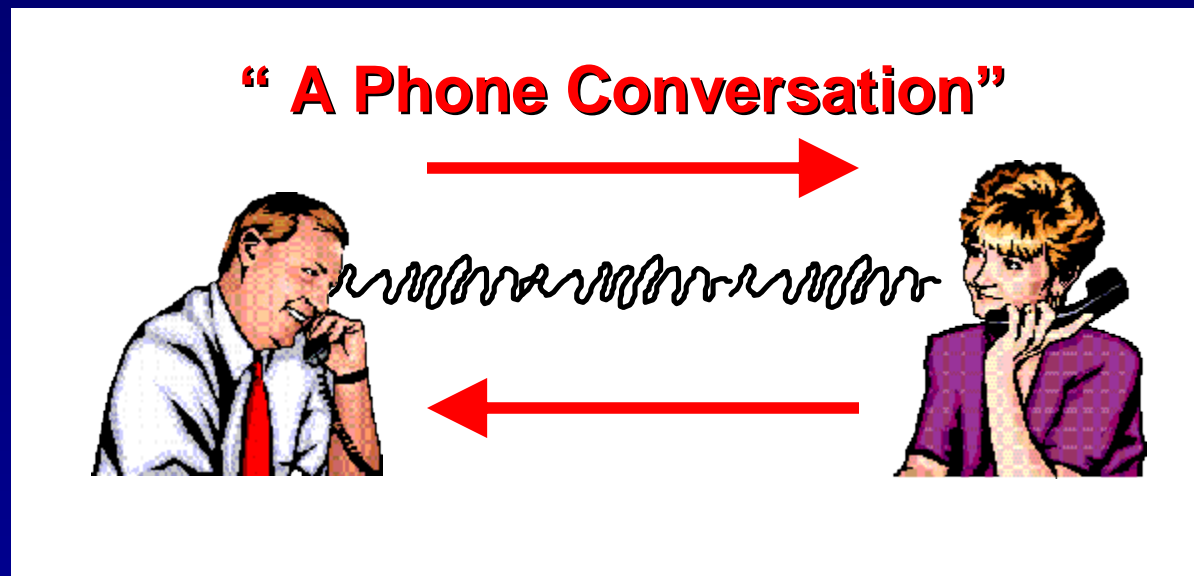
发送方/
接收方

发送方/
接收方

2线

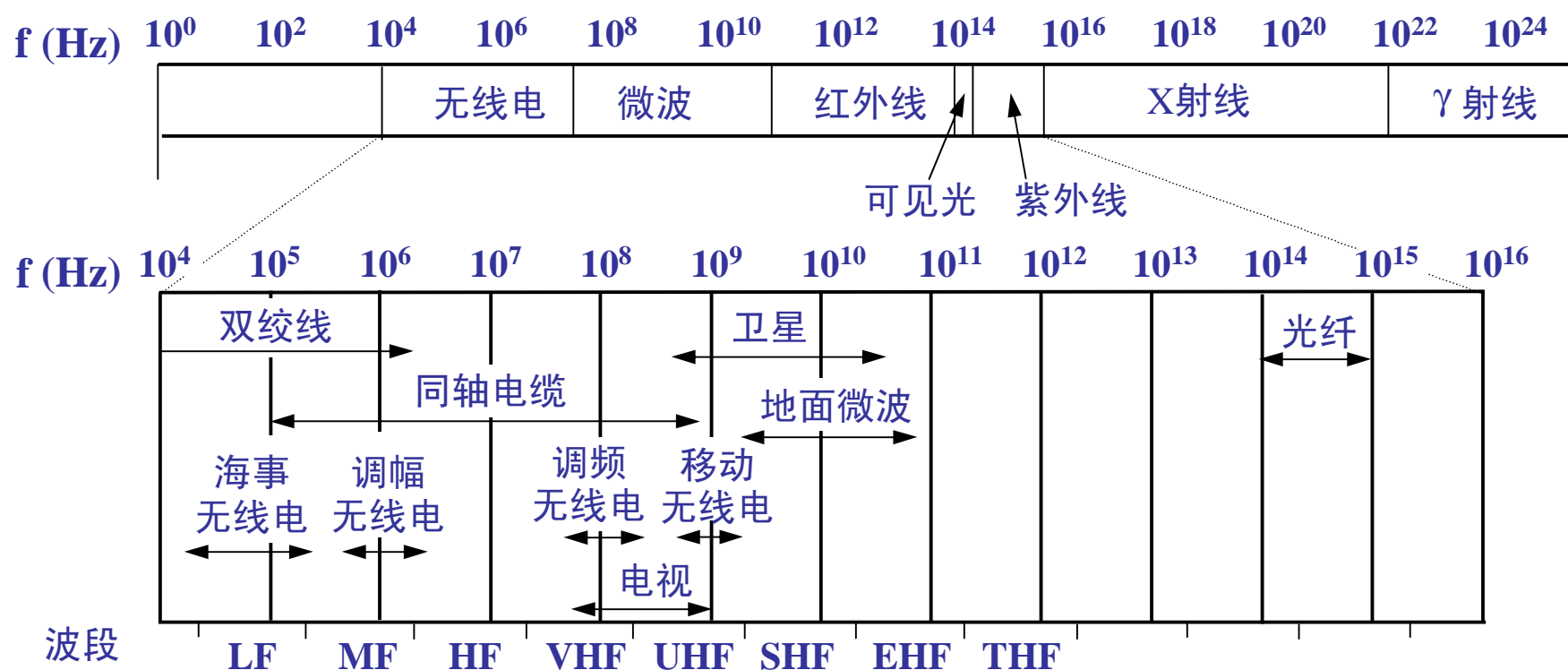
全双工 (duplex)

双方可同时收发信息



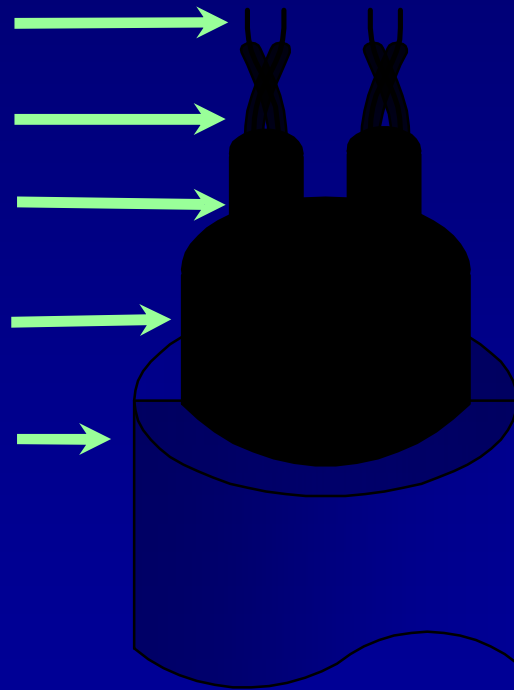
2.3 物理层下面的传输媒体

- 导引型：双绞线、同轴电缆、光纤
- 非导引型媒体：无线电、短波、微波、卫星、光波



2.3.1 导引型传输媒体

一、 双绞线(Twisted Pair)



屏蔽双绞线 (STP)

Shielded Twisted Pair

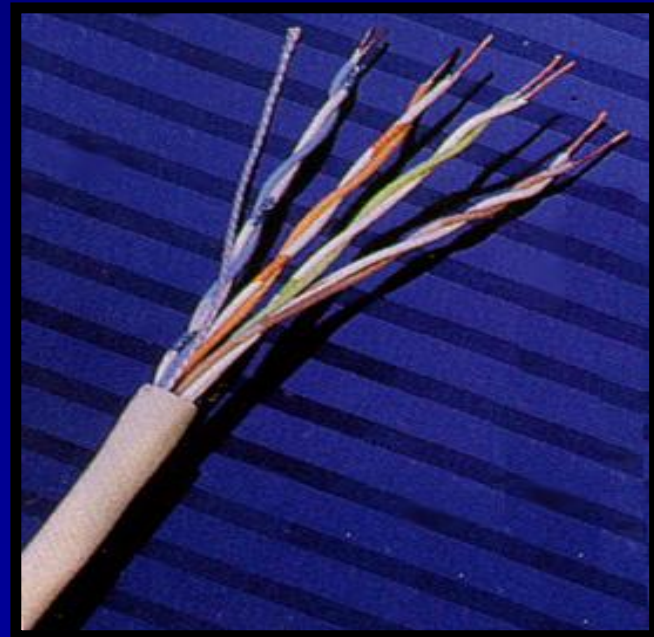
- 以箔屏蔽以减少干扰和串音



非屏蔽双绞线 (UTP)

Unshielded Twisted Pair

双绞线外没有任何附加屏蔽 (3类、5类)



UTP分类性能一览表

类型	最大带宽	适用范围
3类UTP	16MHz	低速网络：模拟电话
4类UTP	20MHz	短距离的10BASE-T以太网
5类UTP	100MHz	10M以太网和令牌环
5E类UTP	100MHz	100M快速以太网
6类UTP	250MHz	1000M以太网和 ATM网络
7类UTP	600MHz	可能10吉比特以太网

注：1、目前局域网中常用5类和5E类线，以后发展趋势是5E和6类线；
2、ATM为异步传输方式。

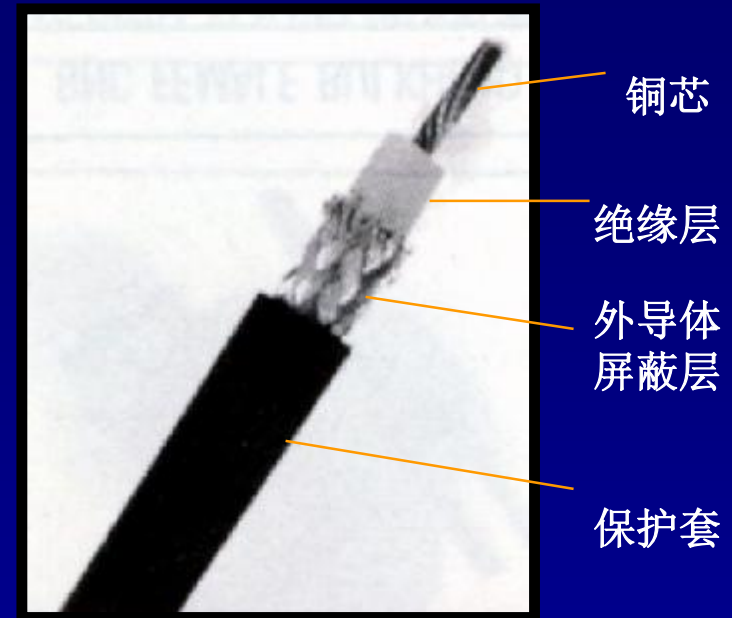
二、同轴电缆 (Coaxial Cable--Coax)

基带

一条电缆只用于一个信道，50W，
用于传输基带数字信号

宽带

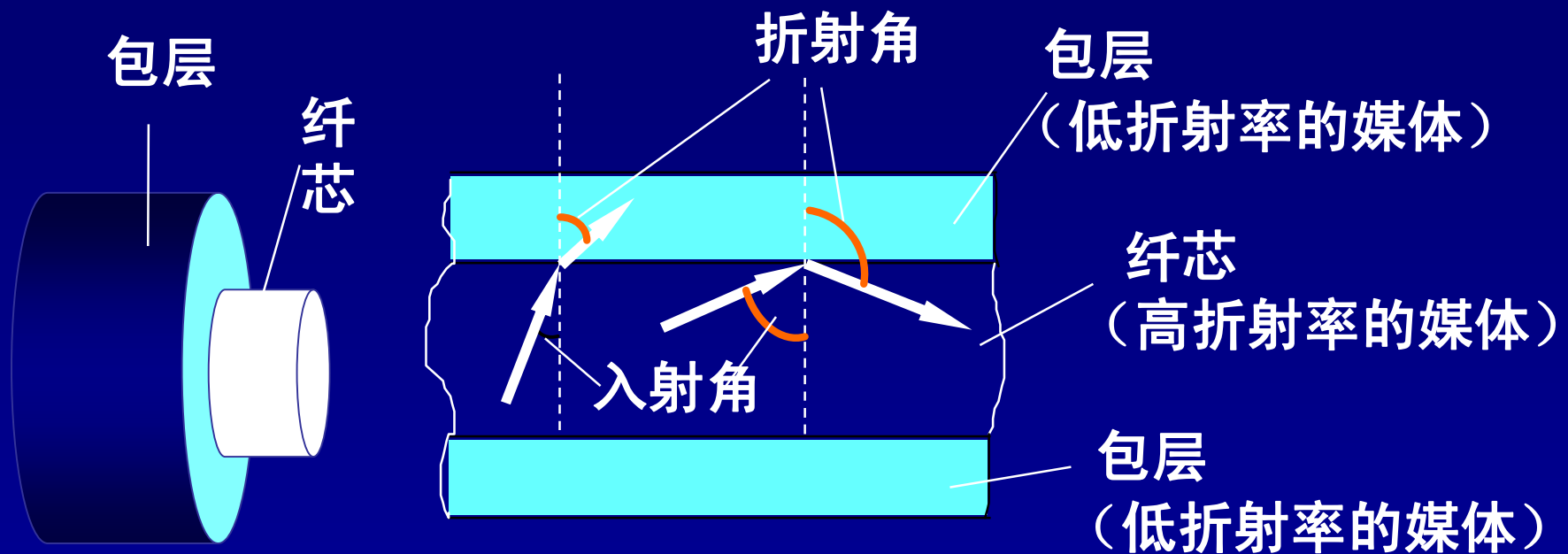
一条电缆同时传输不同频率的几路
模拟信号，75 W，用于模拟传输，
300—450MHz，100km，
需要放大器



三、 光纤(Fiber Optics)

- | 依靠光波承载信息
- | 高传送速率，通信容量大
- | 传输损耗小，适合长距离传输
- | 抗干扰性能好，保密性好
- | 轻便

1、光线在光纤中的折射



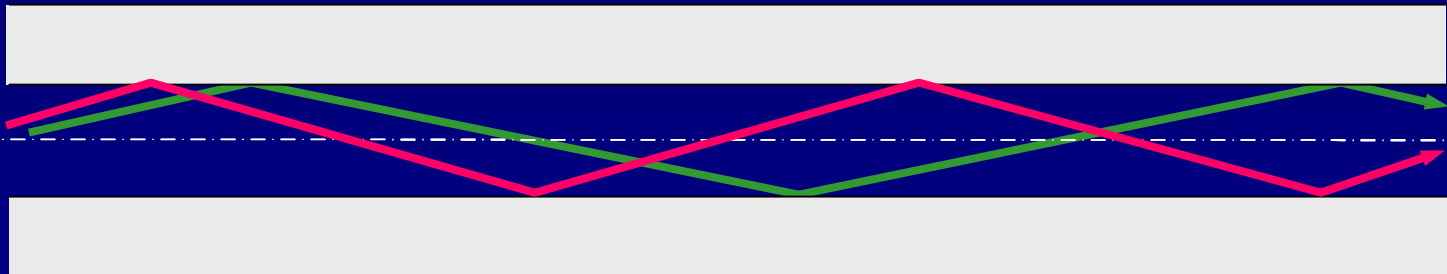
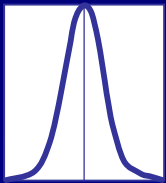
光纤的工作原理:

光线在纤芯中传输的方式是不断地全反射

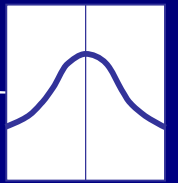
2、光纤的分类

多模光纤

输入脉冲

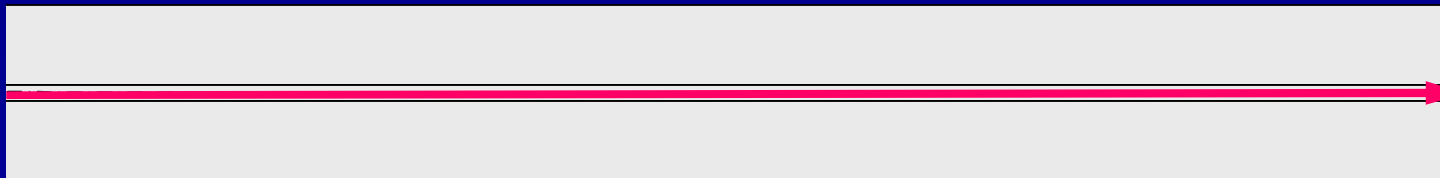
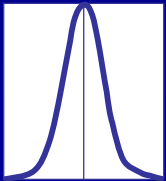


输出脉冲

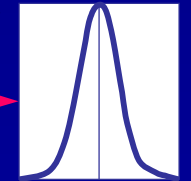


单模光纤

输入脉冲



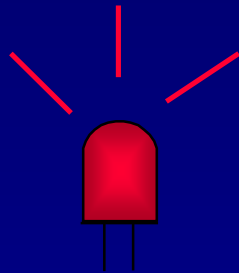
输出脉冲



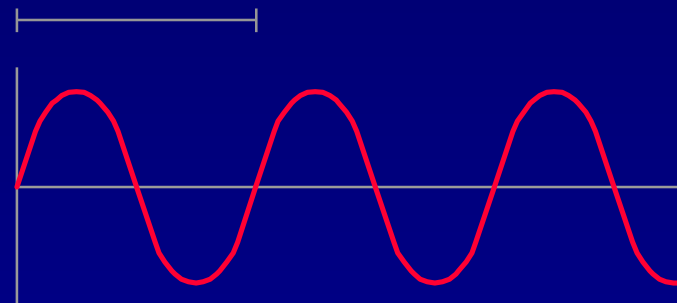
3、光源

光纤传输系统的组成：光源、传输媒体、光接收器

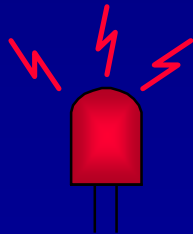
半导体发光二
极管 **LED**



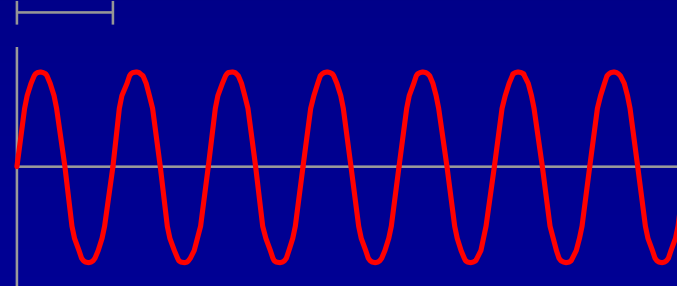
1200-1600 nm



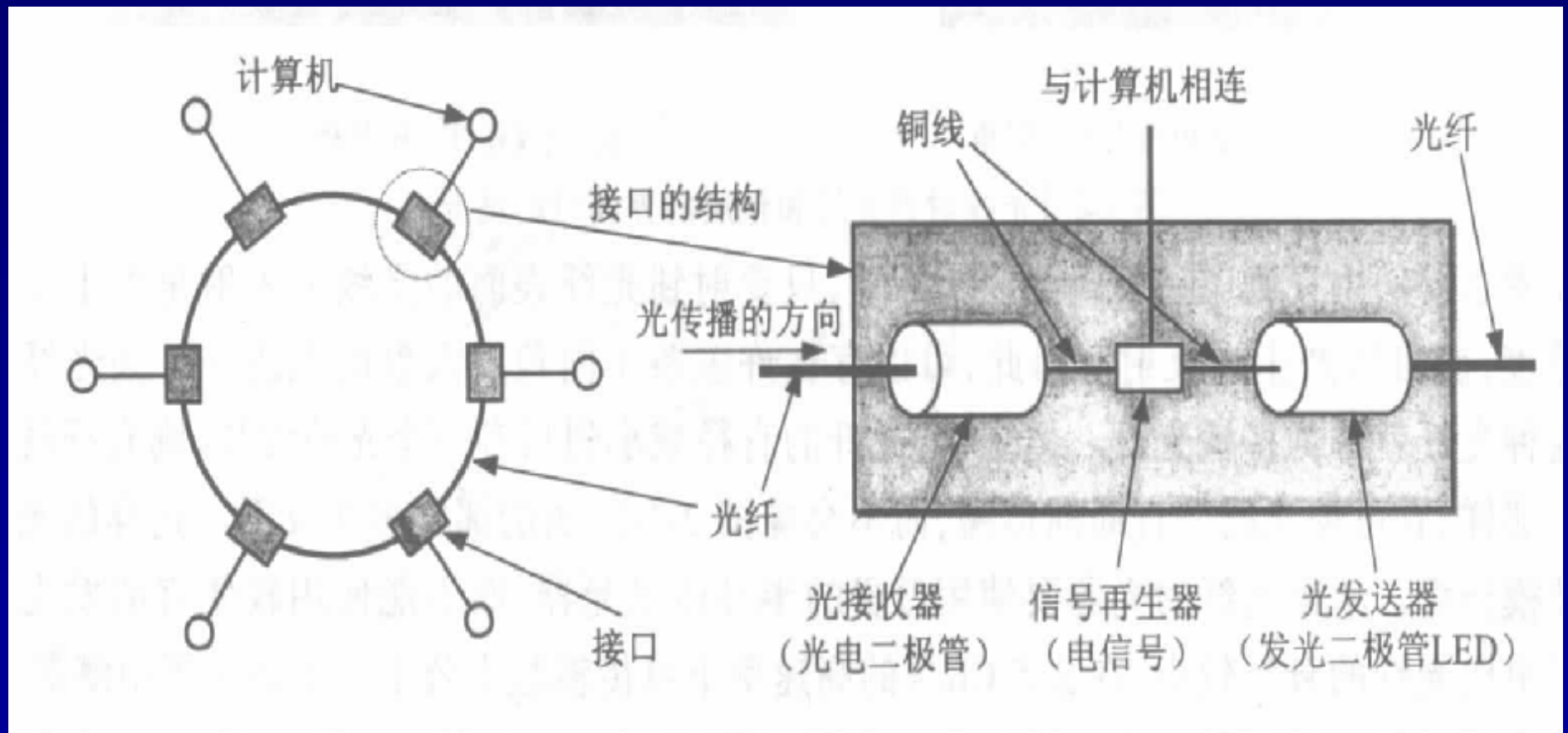
半导体激光器
LD



500-1000 nm



4、使用有源转发器的光纤环路

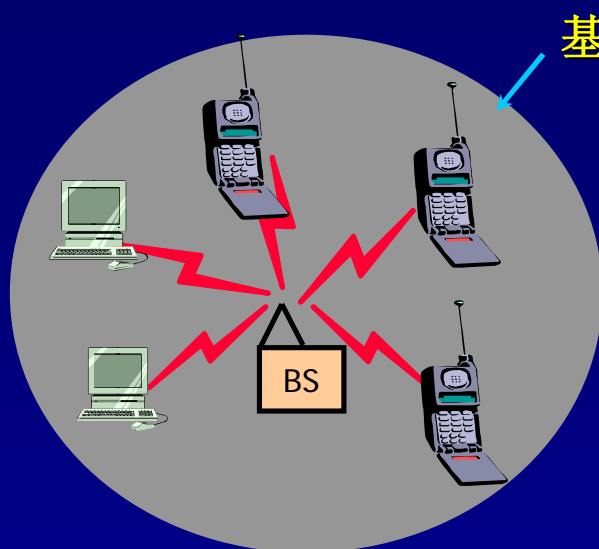


2.3.2 非导引型传输媒体

- | 使用电磁波
- | 无需物理连接
- | 适用于长距离
- | 允许设备移动

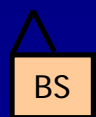
无线传输媒体有两类：定向的和全方位的

1、无线电(Radio)



基站覆盖的无线电区域

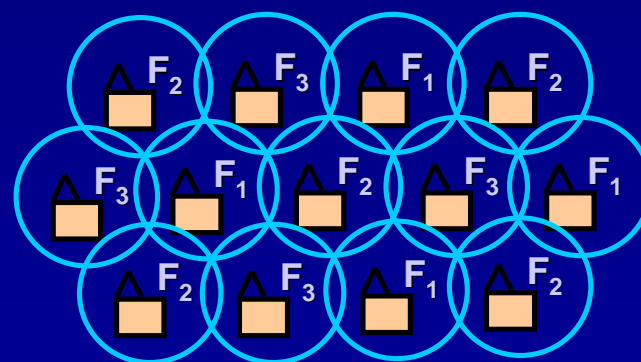
- | 全方位
- | 固定终端点（基站）和终端之间是无线链路
- | 频率：3kHz -- 300GHz



基站



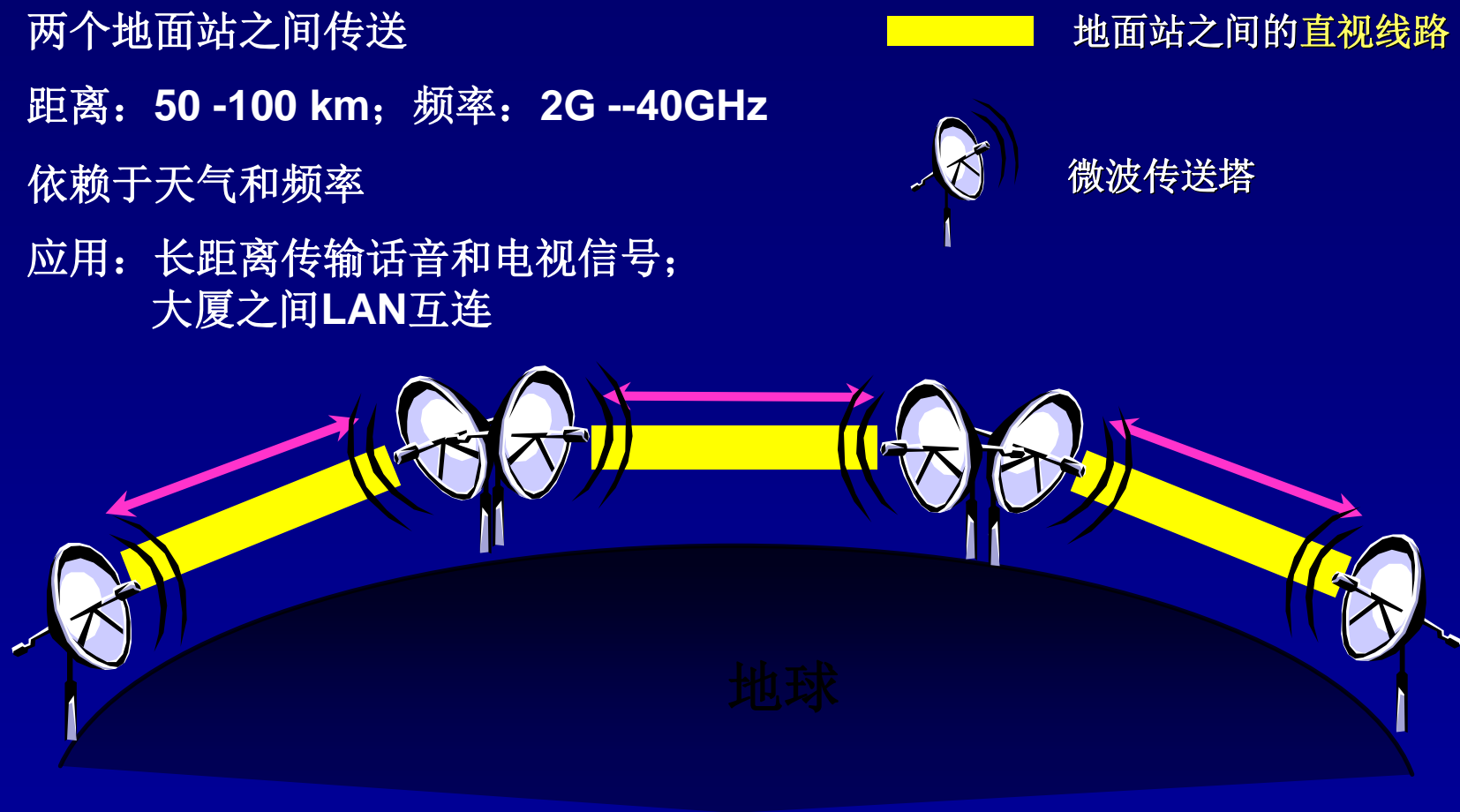
用户计算机和终端



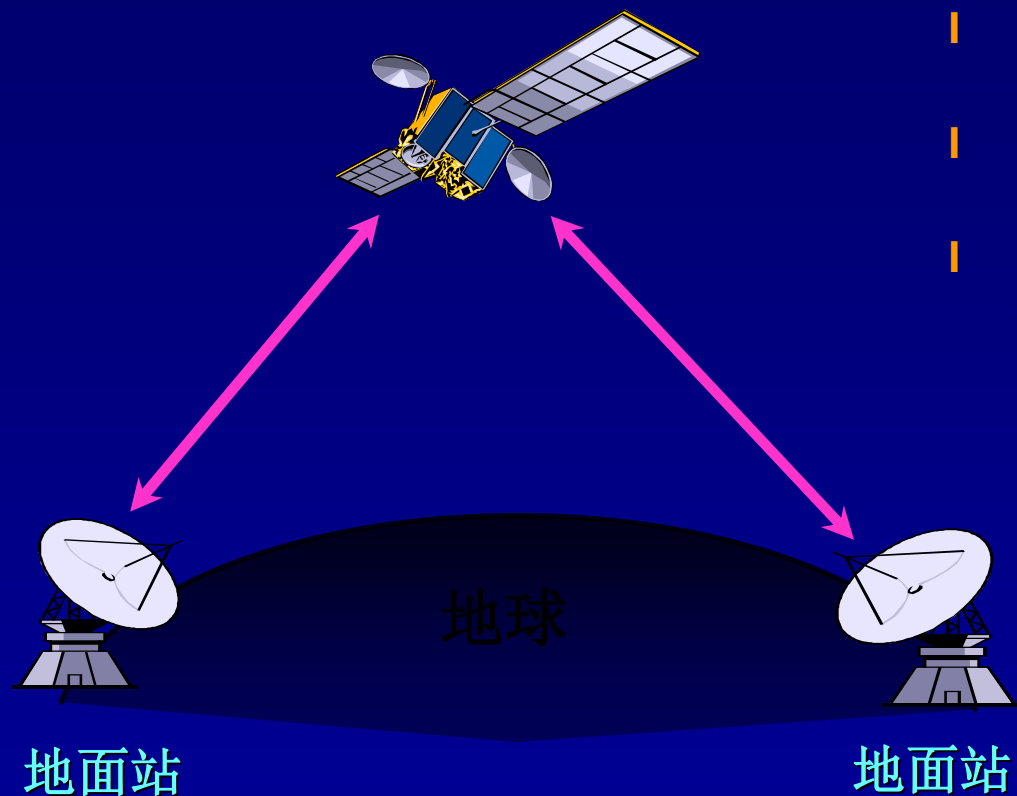
F_1, F_2, F_3 = 使用的频率

2、地面微波接力 (Microwave)

- 两个地面站之间传送
- 距离：50 -100 km；频率：2G --40GHz
- 依赖于天气和频率
- 应用：长距离传输话音和电视信号；大厦之间LAN互连



3、通信卫星：微波中继站

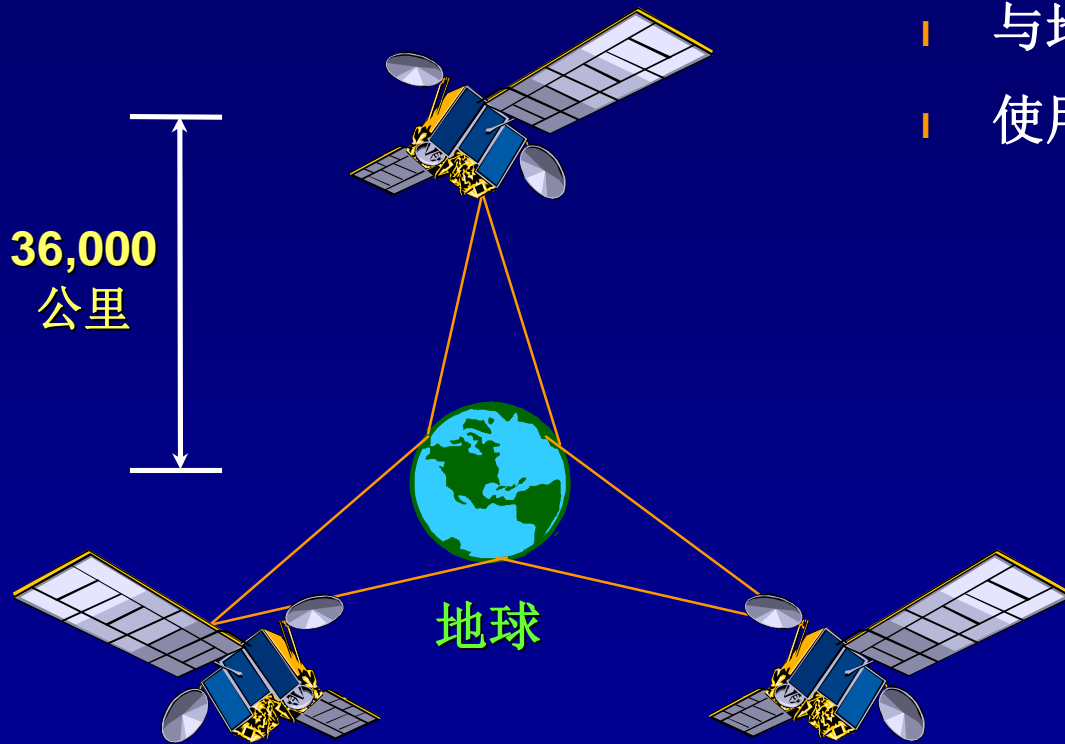


- 丨 使用微波
- 丨 使用转发器接收和转发
- 丨 可支持点到多点传送

- 应用：传输电视信号、远距离话音传输、组建专用网

4、地球同步卫星

- | 与地面站相对固定位置
- | 使用3个卫星覆盖全球



5、红外线(Infrared)和毫米波 (Millimeter Waves)

用于短距离通信，如电视、录象机等遥控
也可用于无线LAN

缺点：不能穿透固体

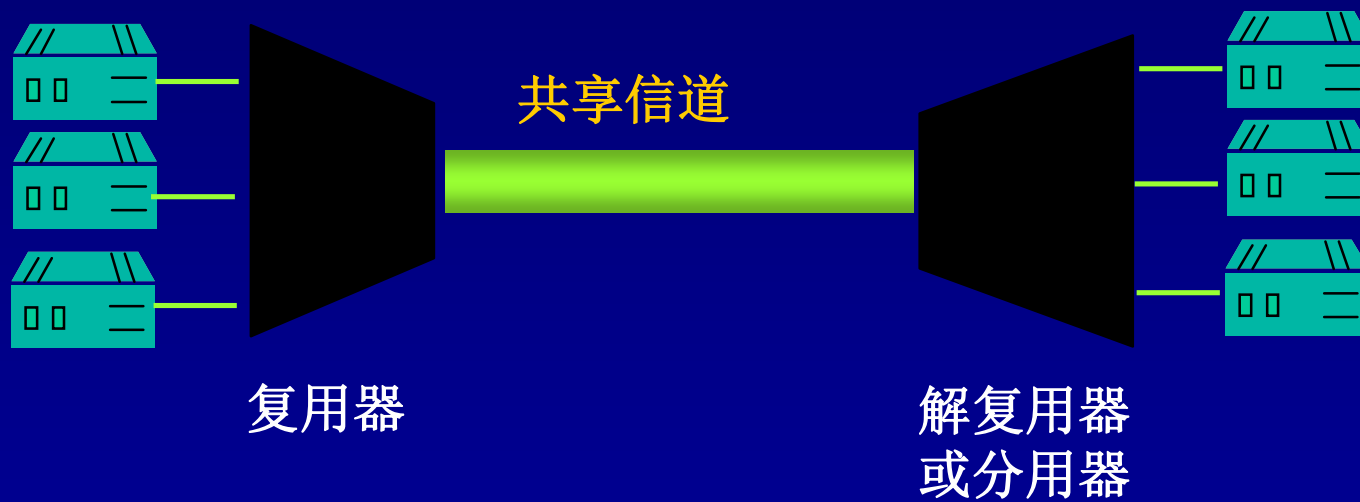
6、光波(lightwave)传输

应用：在屋顶用激光连接两个建筑物的LAN

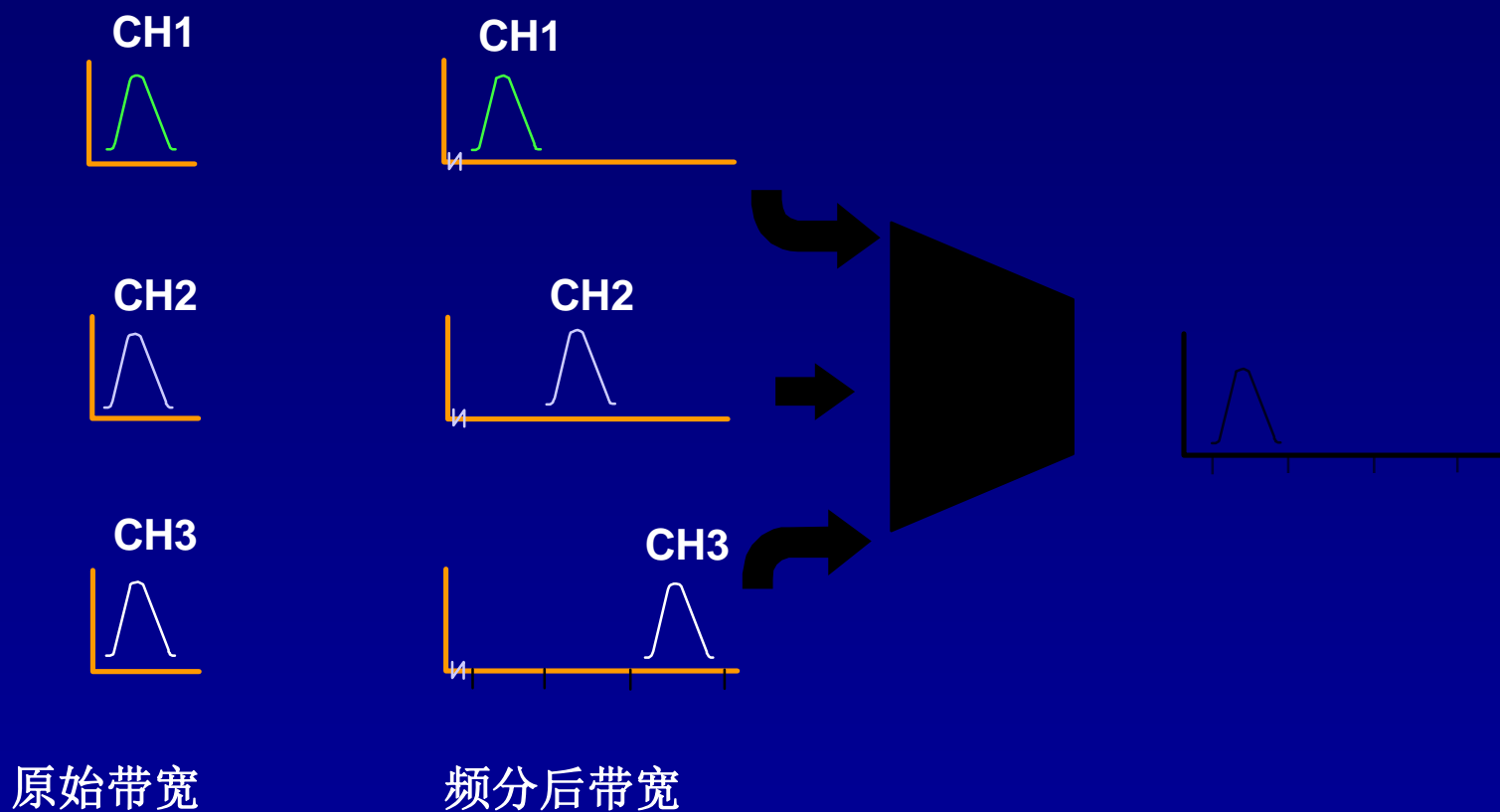
缺点：不能穿透雨和浓雾，易受天气影响

2.4

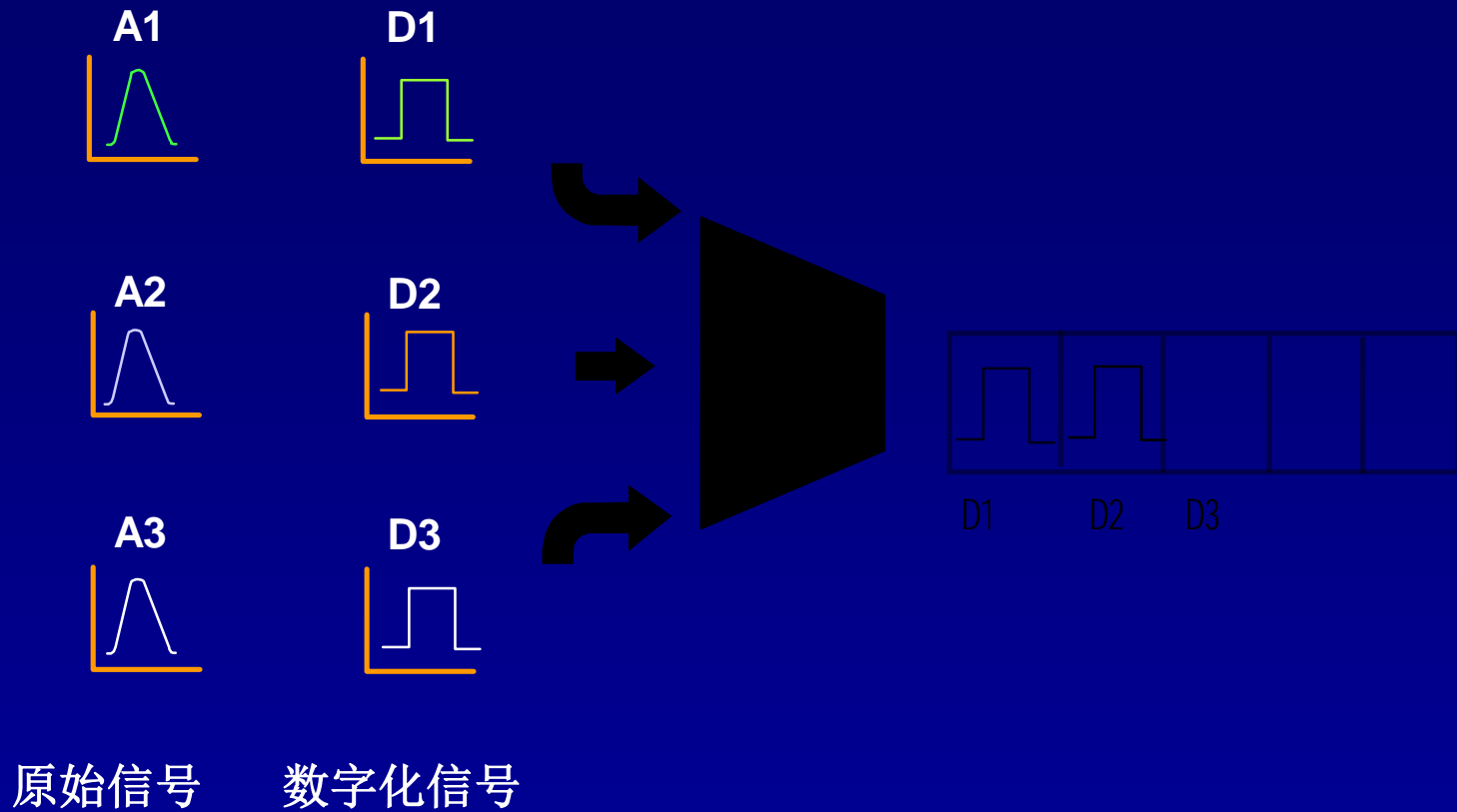
信道复用技术



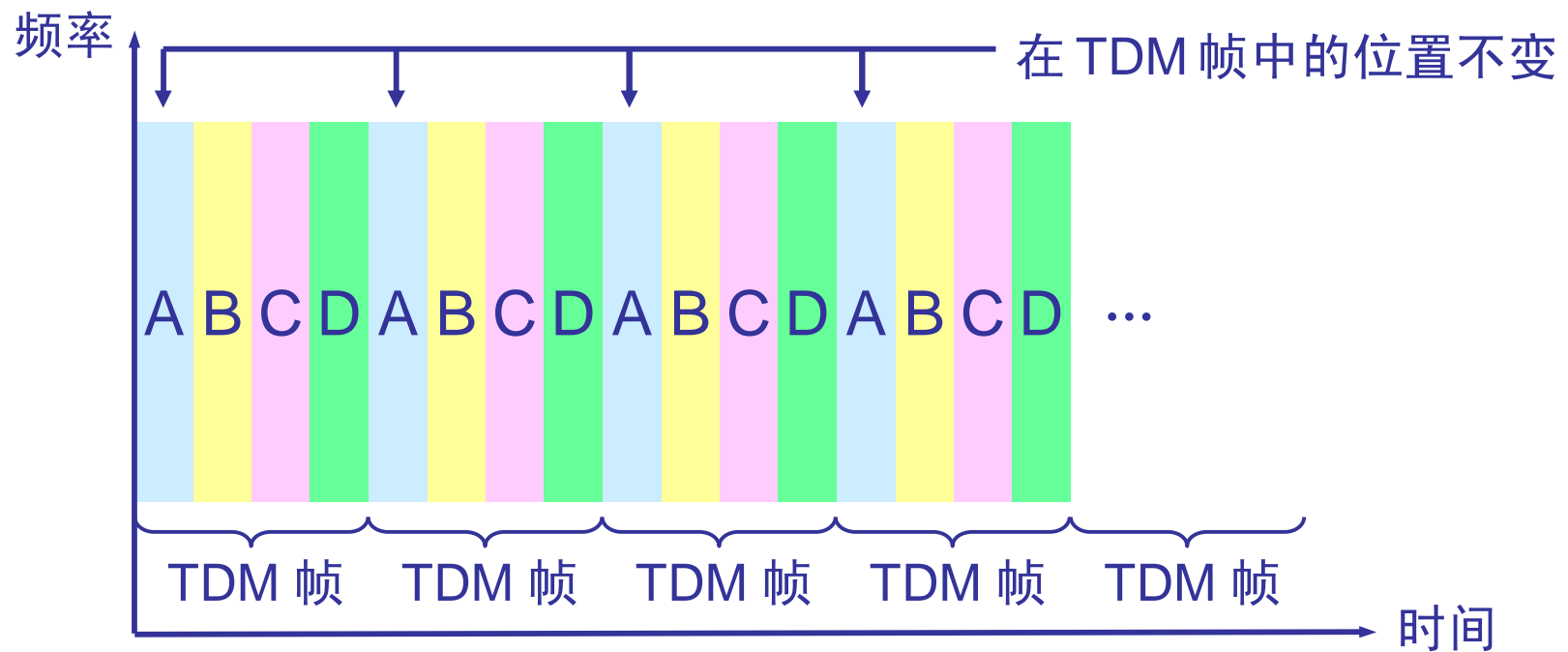
一、 FDM (Frequency Division Multiplexing 频分复用)



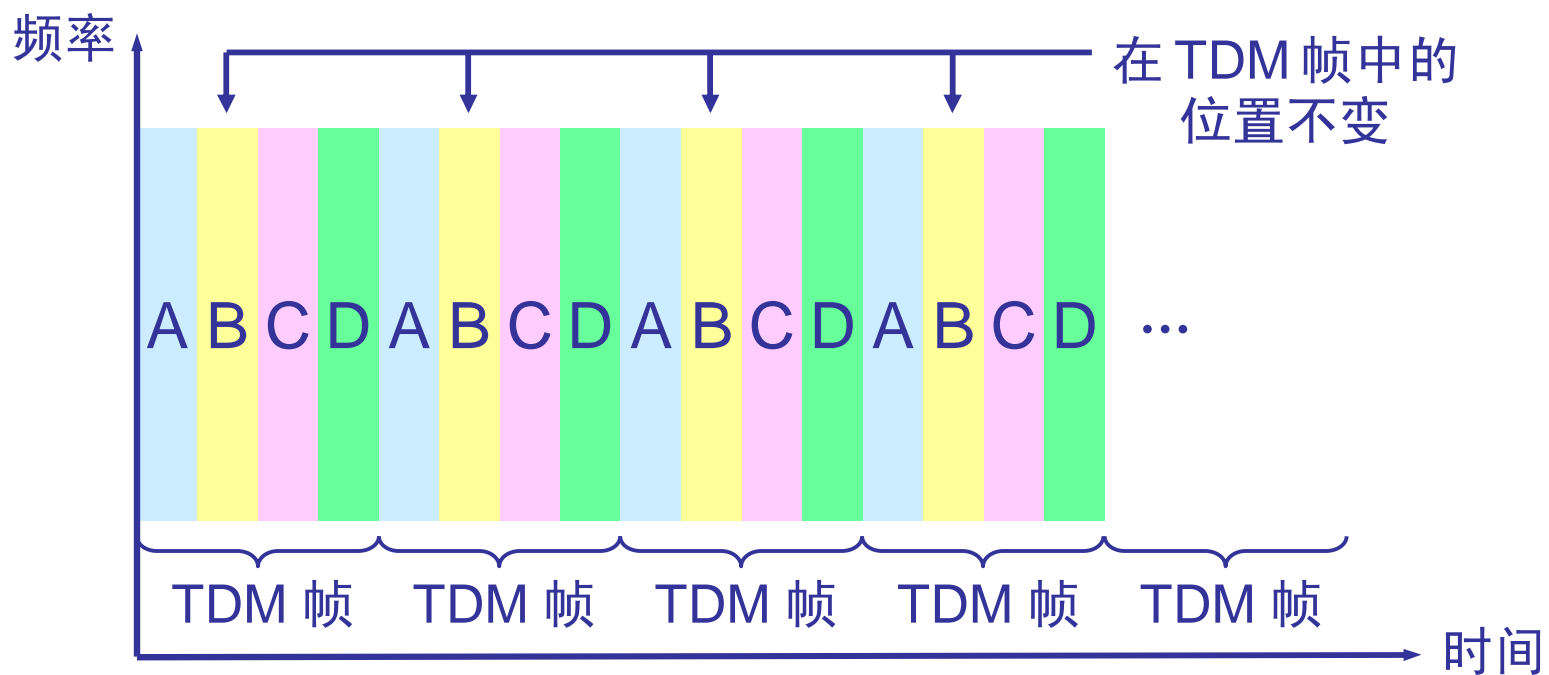
二、TDM (Time Division Multiplexing时分复用)



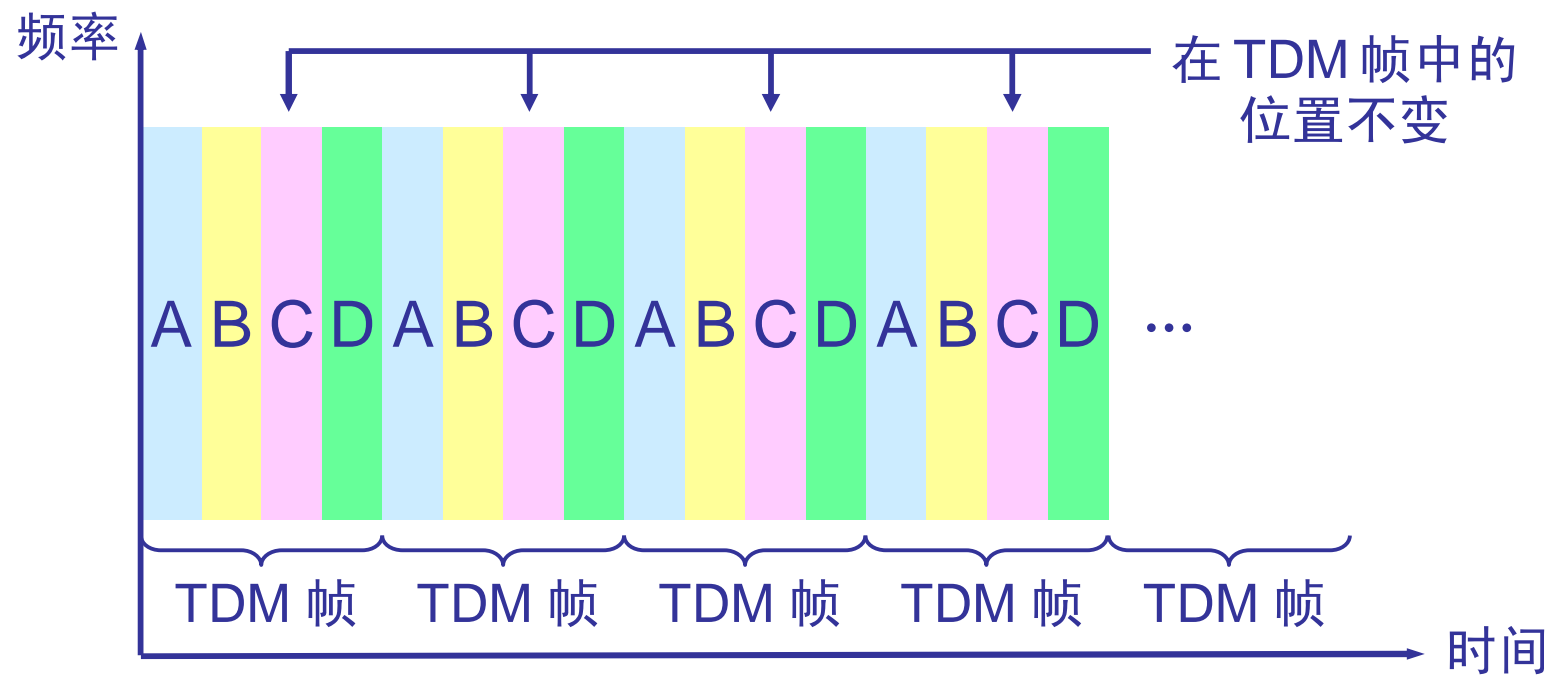
时分复用



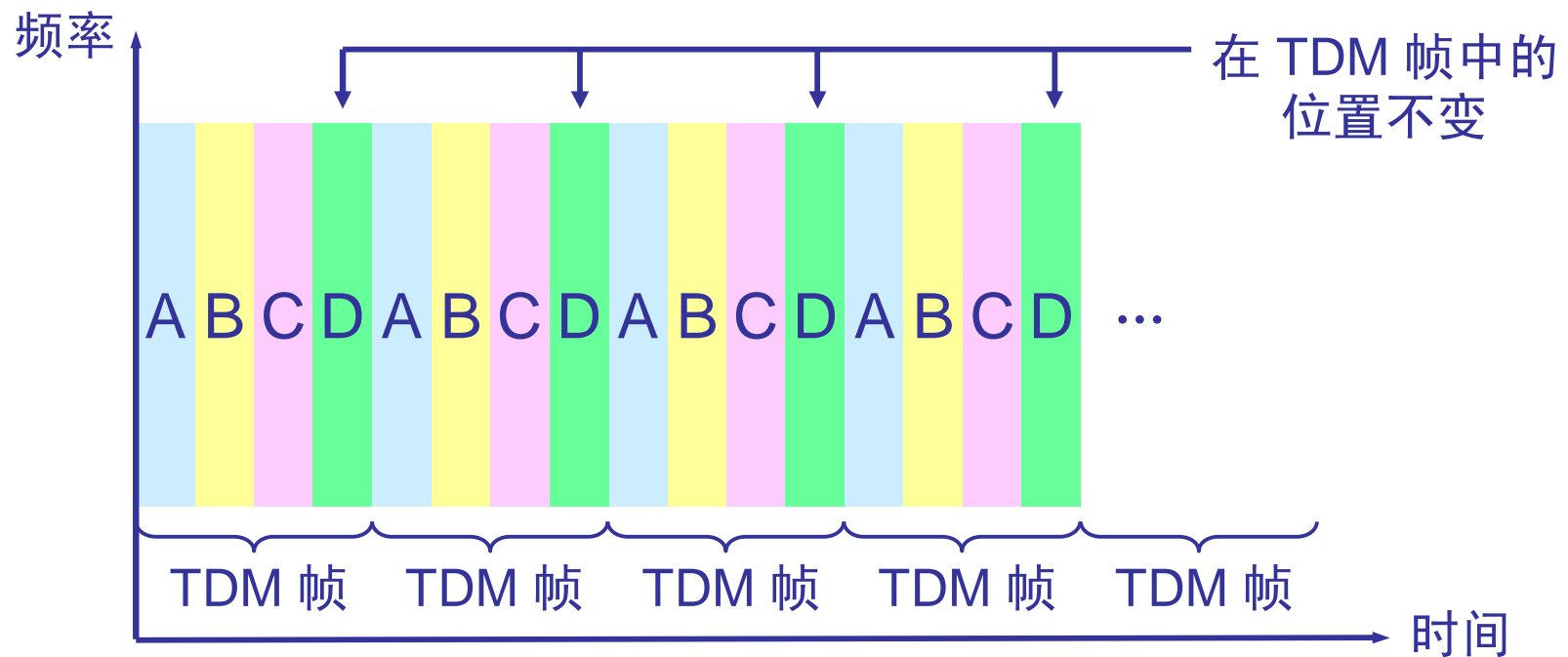
时分复用



时分复用

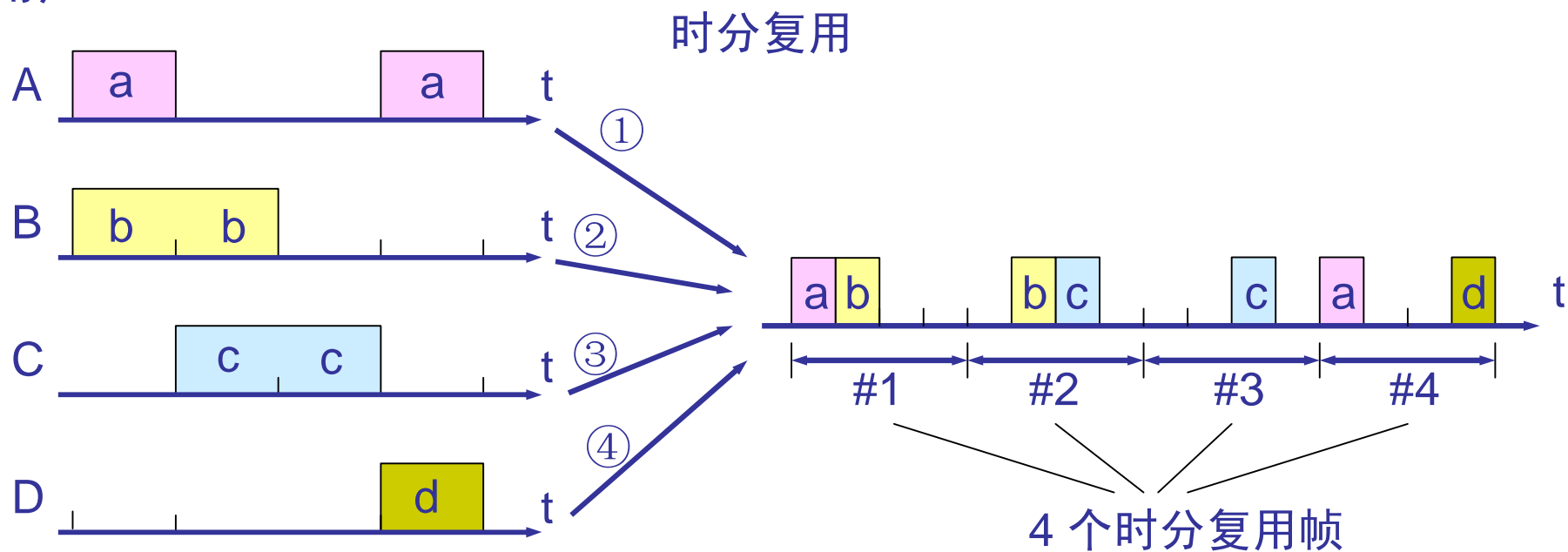


时分复用



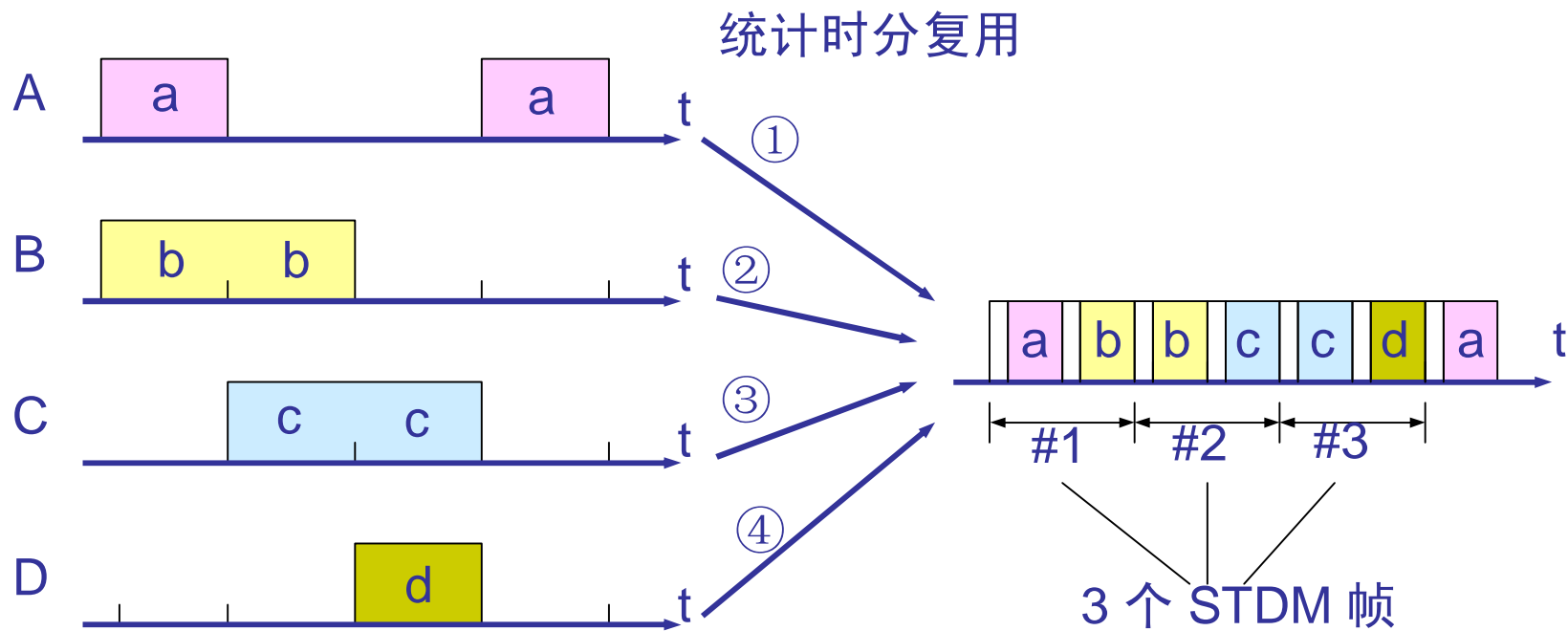
时分复用可能会造成线路资源的浪费

用户



三、统计时分复用 STDM

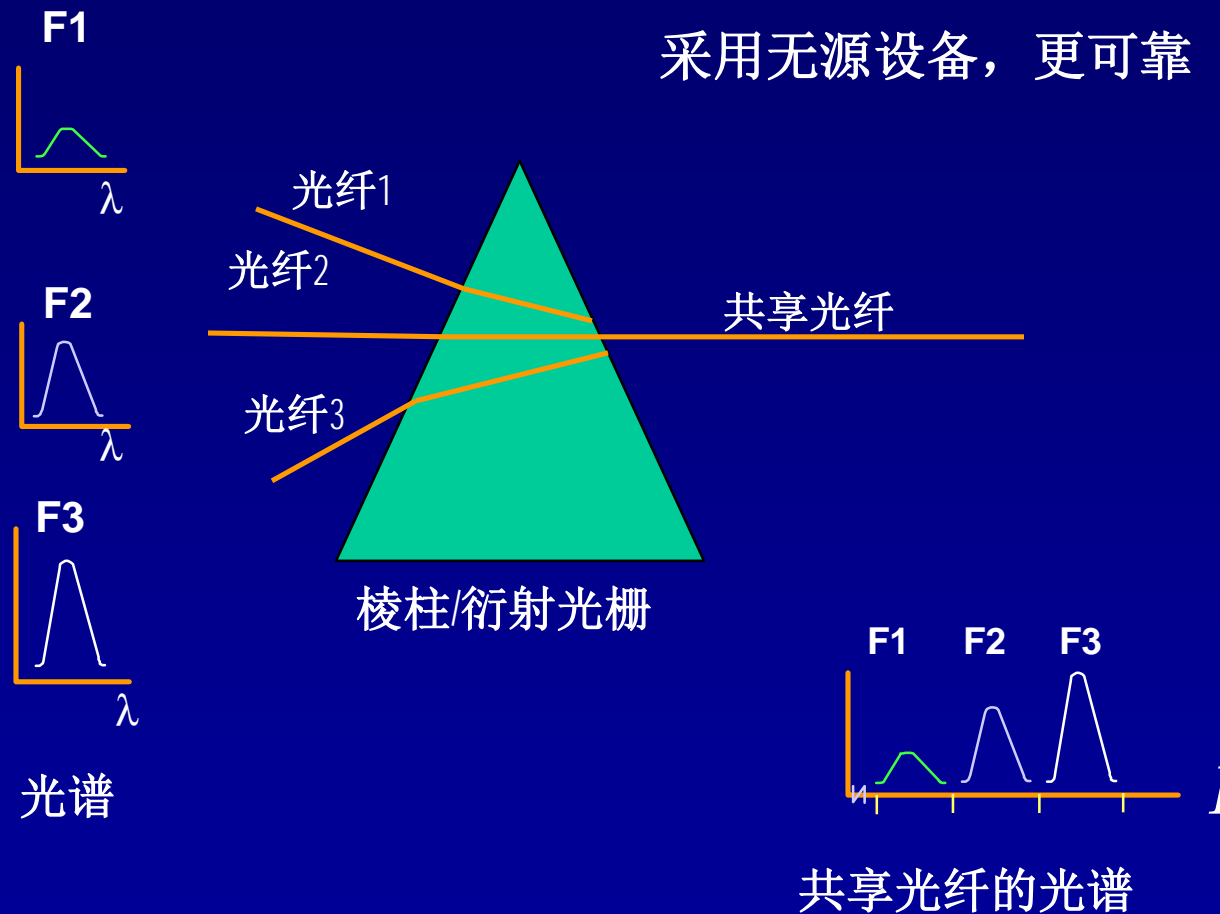
用户



四、 WDM (Wavelength Division Multiplexing波分复用) :

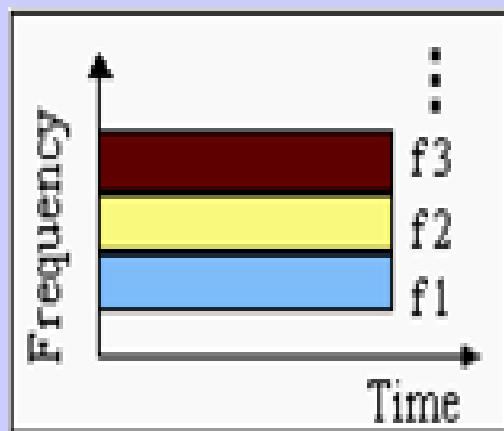
FDM的变形

采用无源设备，更可靠

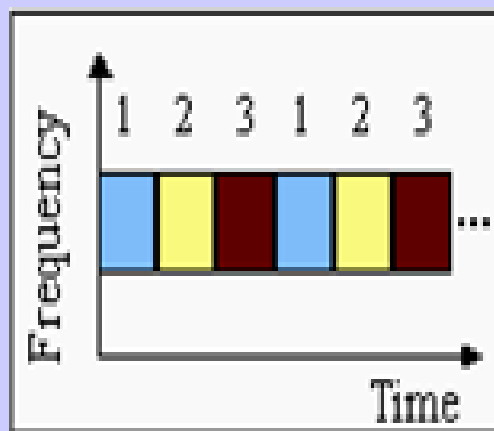


五、CDM (Code Division Multiplexing码分复用)

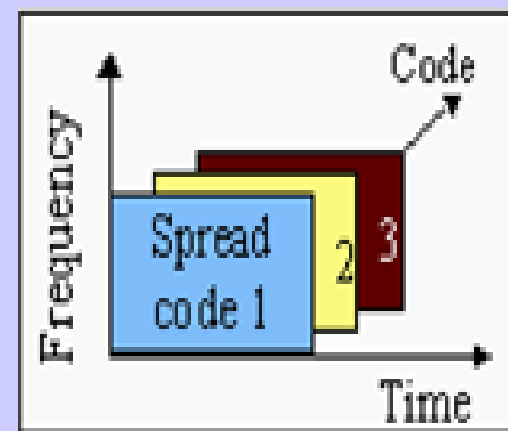
FDMA
(Frequency Division
Multiple Access)



TDMA
(Time Division
Multiple Access)



CDMA
(Code Division
Multiple Access)



CDMA的工作原理

1、码片序列：

在CDMA中，将每一比特时间划分为 m 个短的间隔，称为码片。通常 m 取64或128。

在CDMA系统中，为每一个站点指定一个唯一的 m 比特码片序列。
站点要发送比特1时，则发送该 m 比特码片序列；
站点要发送比特0时，则发送该 m 比特码片序列的二进制反码。
通常将0写为 -1 ，将1写为 $+1$ 。

例如：设S站的8 bit 码片序列是00011011。

则：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： $(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)$

CDMA的工作原理

2、规格化内积：

在CDMA系统中，为每一个站点指定的m比特码片序列必须各不相同，同时必须互相正交。

用一向量表示该站点的m比特码片序列向量，这样任何两向量的规格化内积定义为：

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

CDMA的工作原理

推论:

- 在CDMA系统中，一码片向量与其它各站点码片序列反码向量的内积为0；
- 任一码片序列向量与该码片序列向量的规格化内积为1：

$$S \bullet S = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i S_i = 1$$

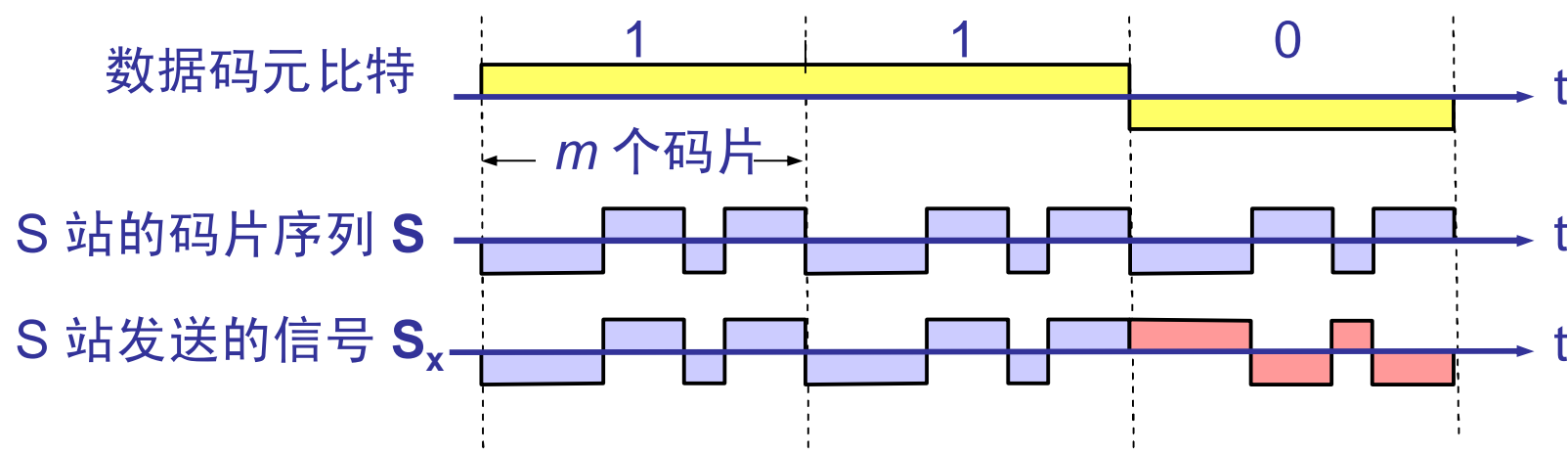
- 任一码片序列向量与该码片序列向量反码的规格化内积为-1。

CDMA的工作原理

3、发送端数据处理：

(1) S站点要发送比特1时，则发送该 m 比特码片序列；

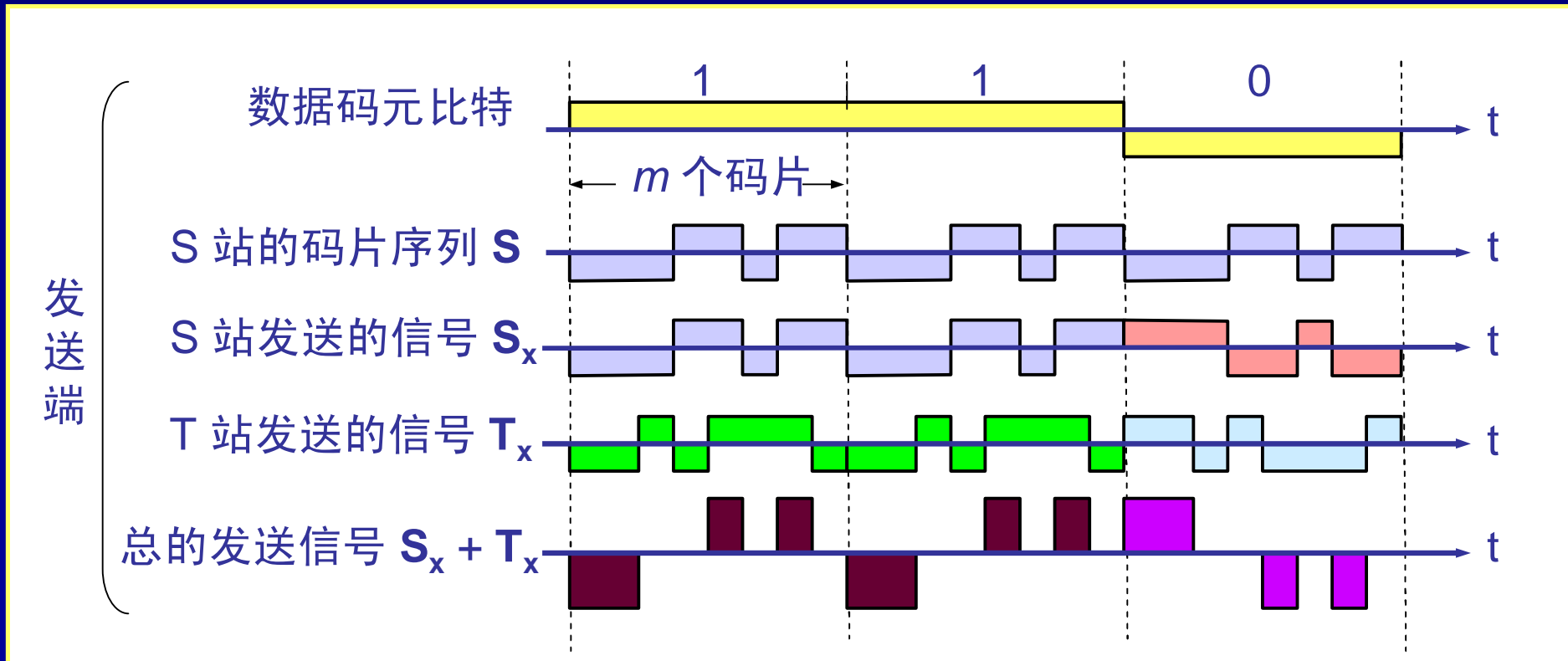
发送比特0时，则发送该 m 比特码片序列的二进制反码。



CDMA的工作原理

3、发送端数据处理:

(2)T站点要发送比特时，操作相同。这样在发送端发送的信号为两者的叠加:



CDMA的工作原理

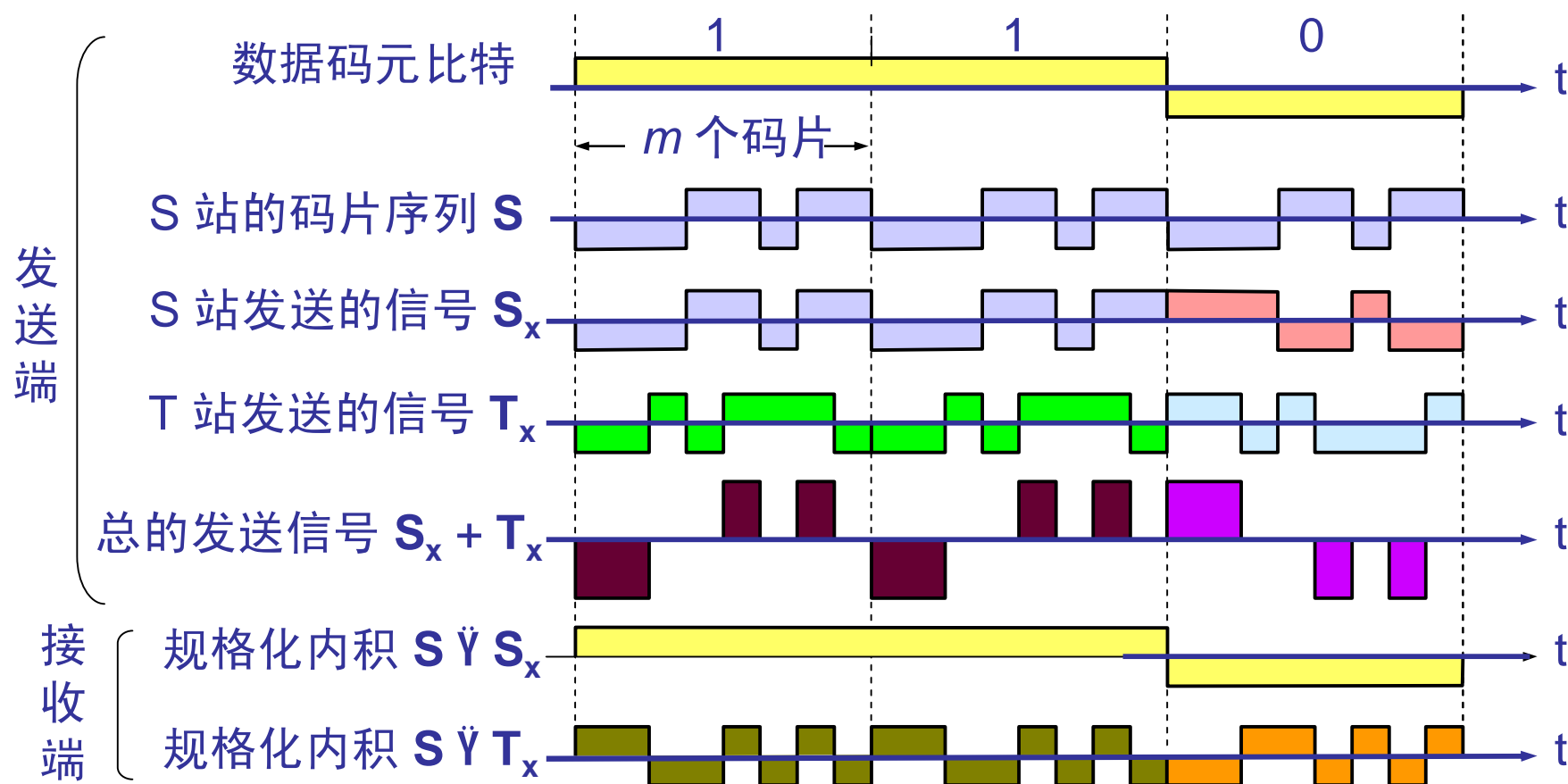
4、接收端数据处理：

当接收端准备接收S站点发送的比特时，就用S站的码片序列与收到的信号求规格化内积。即分别求：

$$S \bullet S_x = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i S_{xi}$$

$$S \bullet T_x = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_{xi} = 0$$

CDMA的工作原理图示



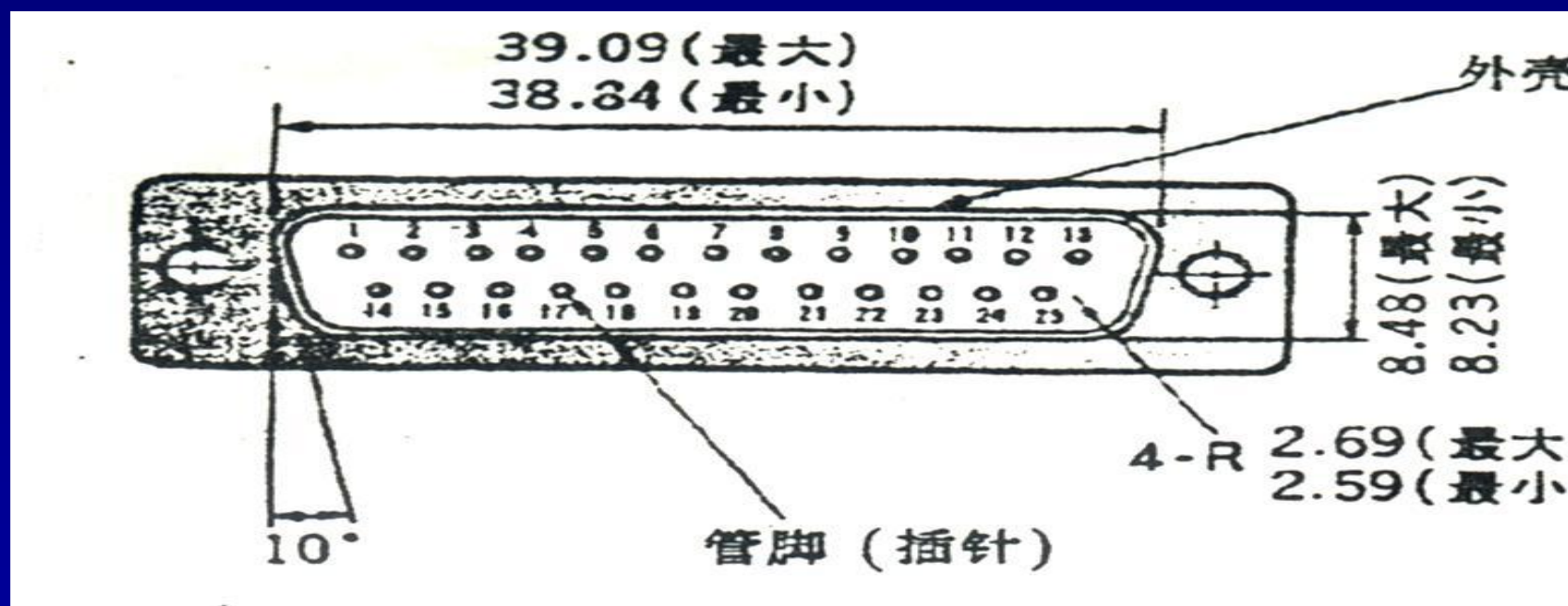
2.5 物理层标准举例

一、EIA -232标准 (ITU—T V.24)

- DTE (数据终端设备): 具有一定数据处理能力及收发数据能力的设备, 如计算机。
- DCE (数据电路端接设备): 在DTE和传输线路之间提供信号变换和编码功能, 并负责建立、保持和释放数据链路的连接, 如MODEM
 - 机械特性: 25针插座 (ISO 2110)
 - 电气特性: 低于-3伏表示“1”, 高于3伏表示“0”, 最大速率20Kbps, 最大电缆长度为15米 (V.28)
 - 功能特性: 引脚信号的含义, 如DTR表示DTE通电, DSR表示DCE通电 (V.24)
 - 规程特性: 动作的顺序 (V.24)

EIA -232-E标准

🕒 **机械特性：** RS-232使用25根引脚的DB-25插头座。引脚分为上、下两排，分别有13和12根引脚，其编号分别规定为1至13和14至25,方向是从左到右。异步通信时比较简单，采用DB-9。



EIA -232-E标准

● **电气特性：**采用负逻辑，+3V--+12V表示逻辑“0”，相当于数据的空号或控制线的“接通”状态；

-12V-- -3V表示逻辑“1”，相当于数据的传号或控制线的“断开”状态；

最大速率为20Kbps，最大电缆长度为15米。

● **功能特性：**引脚信号的含义，如DTR表示DTE通电，DSR表示DCE通电

○ 规程特性：动作的顺序



EIA-232/V.24

- 1 DTE-A将20“DTE就绪”置为ON，同时通过2“发送数据”向DCE-A发送电话号码
- 2.1 DCE-B将22“振铃指示”置为ON，通知DTE-B有呼叫到达。
- 2.2 DTE-B此时将20“DTE就绪”置为ON
- 2.3 DCE-B产生载波信号，并将6“DCE就绪”置为ON
- 3 DCE-A检测到载波信号后，将8“载波检测”和6“DCE就绪”置为ON，以通知DTE-A通信电路已经建立
- 4 DCE-A向DCE-B发送载波信号，DCE-B接收到载波信号后，将8“载波检测”置为ON
- 5.1 DTE-A发送数据时，将4“请求发送”置为ON。
- 5.2 DCE-A作为响应，将5“允许发送”置为ON。
- 5.3 DTE-A通过2“发送数据”发送数据。
- 5.4 DCE-A将数字信号转换成模拟信号并向DCE-B发送
- 6 DCE-B将接收到地模拟信号转换成数字信号并通过3“接收数据”向DTE-B发送。



EIA-232/V.24

作业

P60

2—5(无差分) 2—10 2—11 2—12部分 2—14