

第 2 章 物理层

物理层的基本功能
数据通信基础知识

物理层基本概念和通信基础

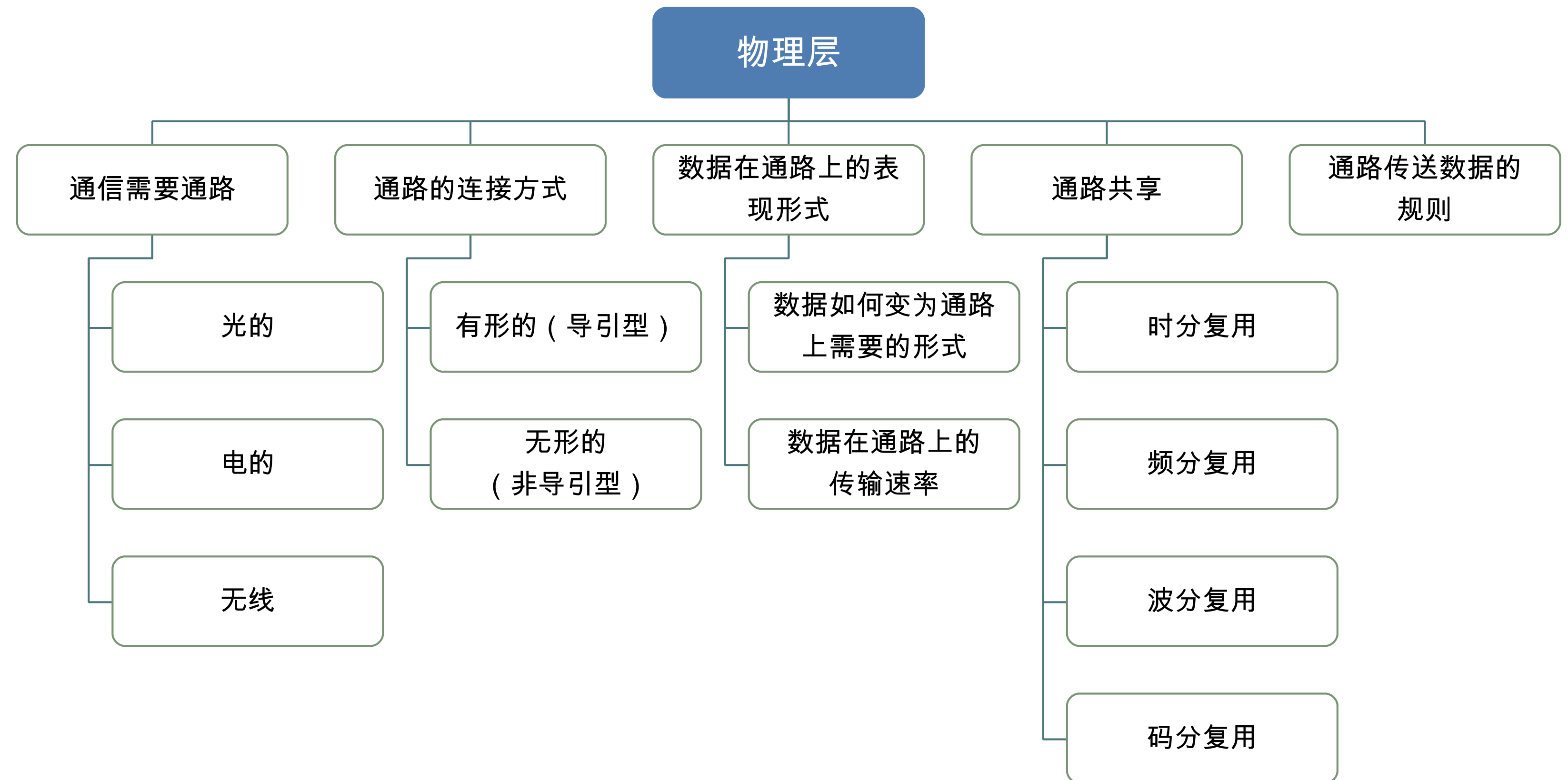
- 物理层
 - 物理层的功能
 - 信号类型
 - 标准的制定
 - 常用物理层标准

我们关心什么：

- 计算机间的通路是什么？
- 数据是如何传输的？
- 数据传输速率是多少？
-

为什么需要物理层

- 物理层
 - 物理层的功能
 - 信号类型
 - 标准的制定
 - 常用物理层标准



为什么需要物理层

- 物理层
 - 物理层的功能
 - 信号类型
 - 标准的制定
 - 常用物理层标准

- 物理层不包含物理媒介，而是确定与传输媒体的接口特性：
 - 机械特性：接口所用接线器的一些物理属性如接口形状，接口尺寸，引线数目及排列；
 - 电气特性：接口电缆的各条线上出现的电压的范围，阻抗匹配，传输速率，距离等；
 - 功能特性：某条线上出现的某一电平的电压的意义，接口部件信号线的用途；
 - 过程特性：对于不同功能的各种可能事件的出现顺序，定义各条物理线路的工作规程和时序关系。

物理层的功能和信号类型

- 物理层
 - 物理层的功能
 - 信号类型
 - 标准的制定
 - 常用物理层标准

- 主要功能：解决计算机间比特传输问题，即透明地传送比特流，关心的是点到点的问题：
 - 透明传输：指不管所传输的数据是什么样的比特组合，都能够链路上传输；
 - 要尽可能地屏蔽掉不同传输媒体和通信手段的差异。

- 信号类型：
 - 铜缆：基于电平（electrical signals）；
 - 光纤：基于光脉冲（light pluse）；
 - 无线：基于微波（Microwave）。

标准制定者

- 物理层
 - 物理层的功能
 - 信号类型
 - 标准的制定
 - 常用物理层标准

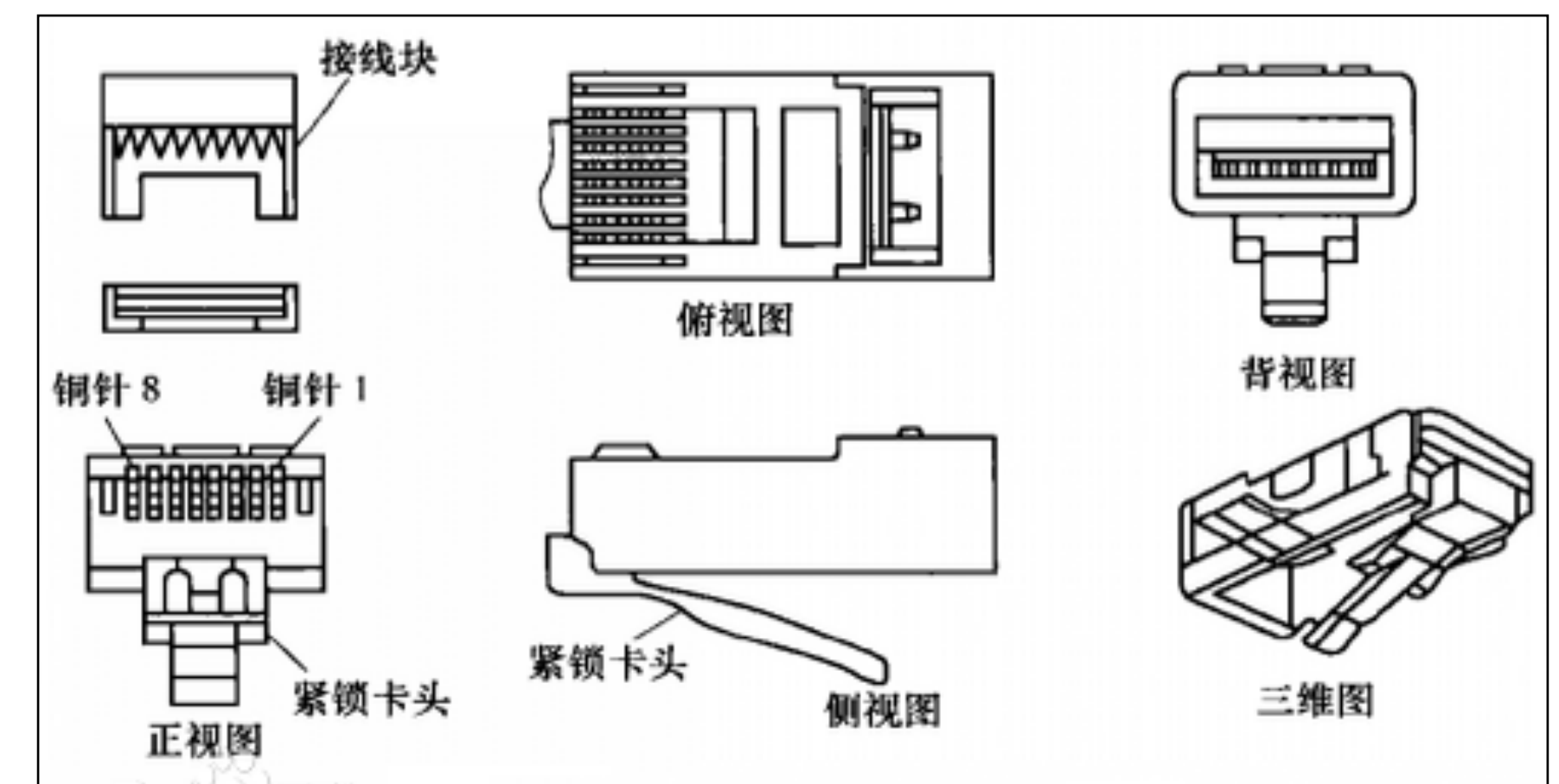
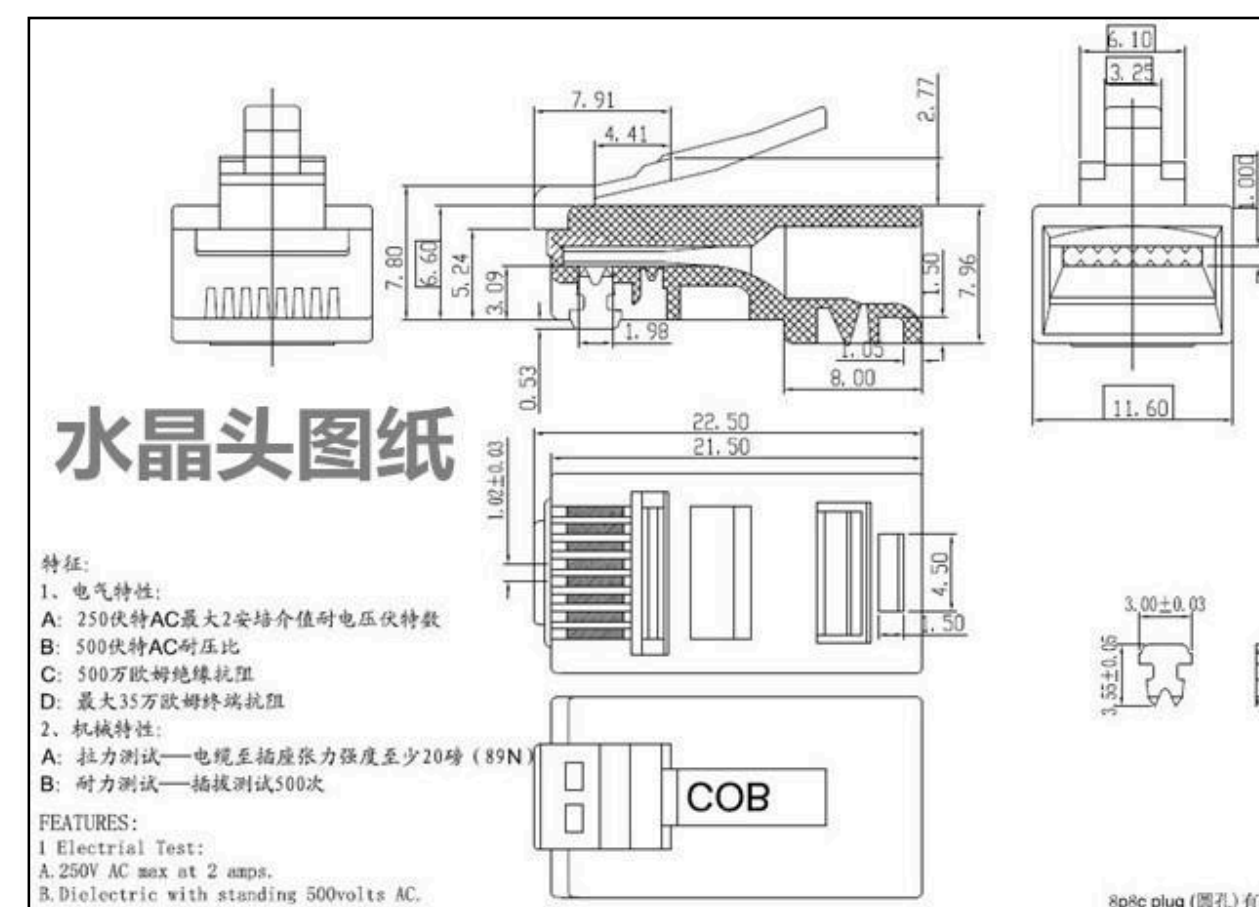
- **ISO**: 国际标准化组织，非政府组织。
- **IEEE**: 电气和电子工程师协会，世界上最大的非营利性专业技术学会。
- **ANSI**: 美国国家标准学会，民间团体。
- **ITU**: 国际电信联盟。
- **EIA/TIA**: 美国电子工业协会/电信工业协会。
- **FCC**: 美国联邦通信委员会。
- **IETF**: 国际互联网工程任务组。



常用物理层相关标准：RJ45机械特性

- 物理层
- 物理层的功能
- 信号类型
- 标准的制定
- 常用物理层标准

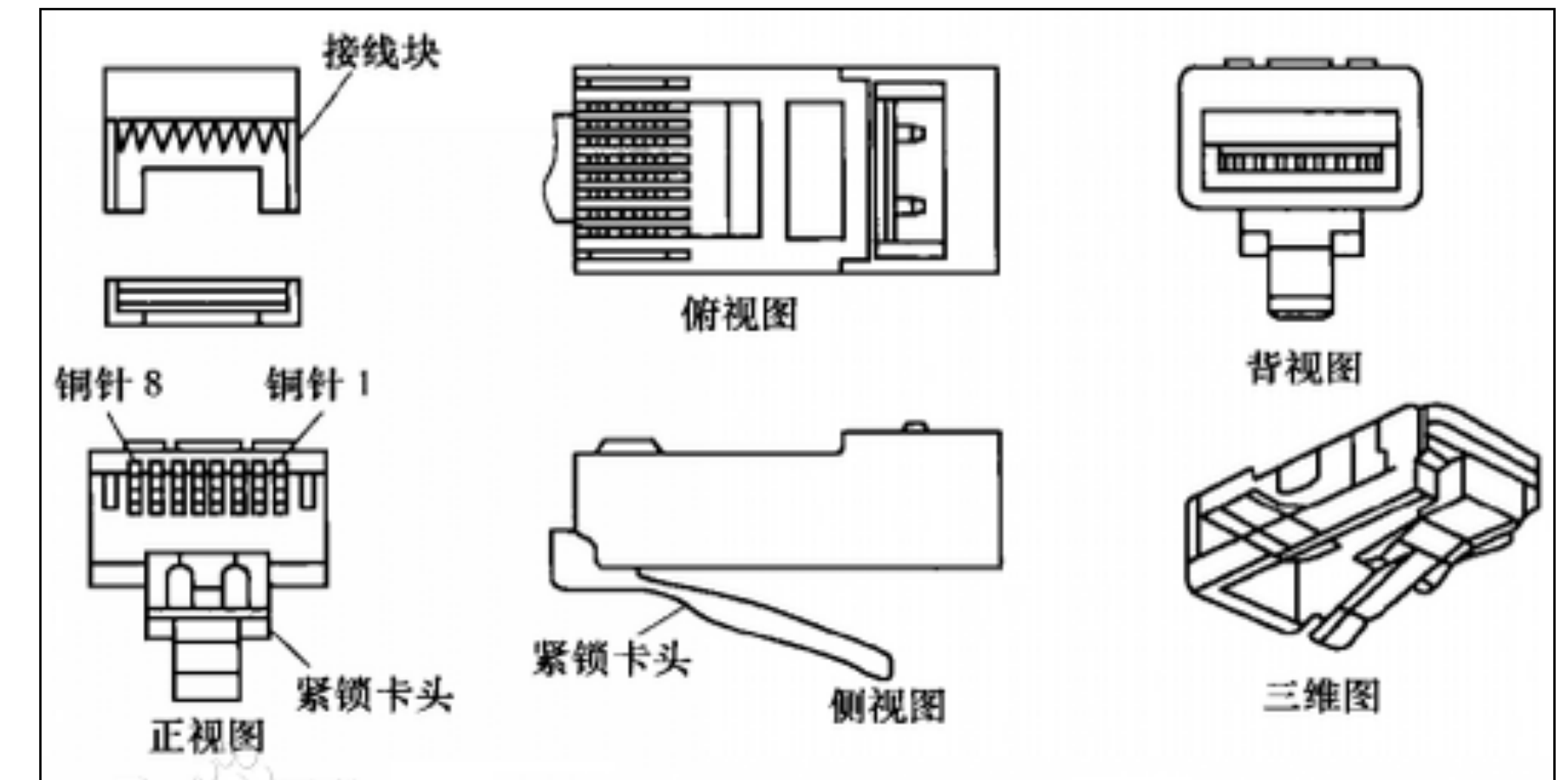
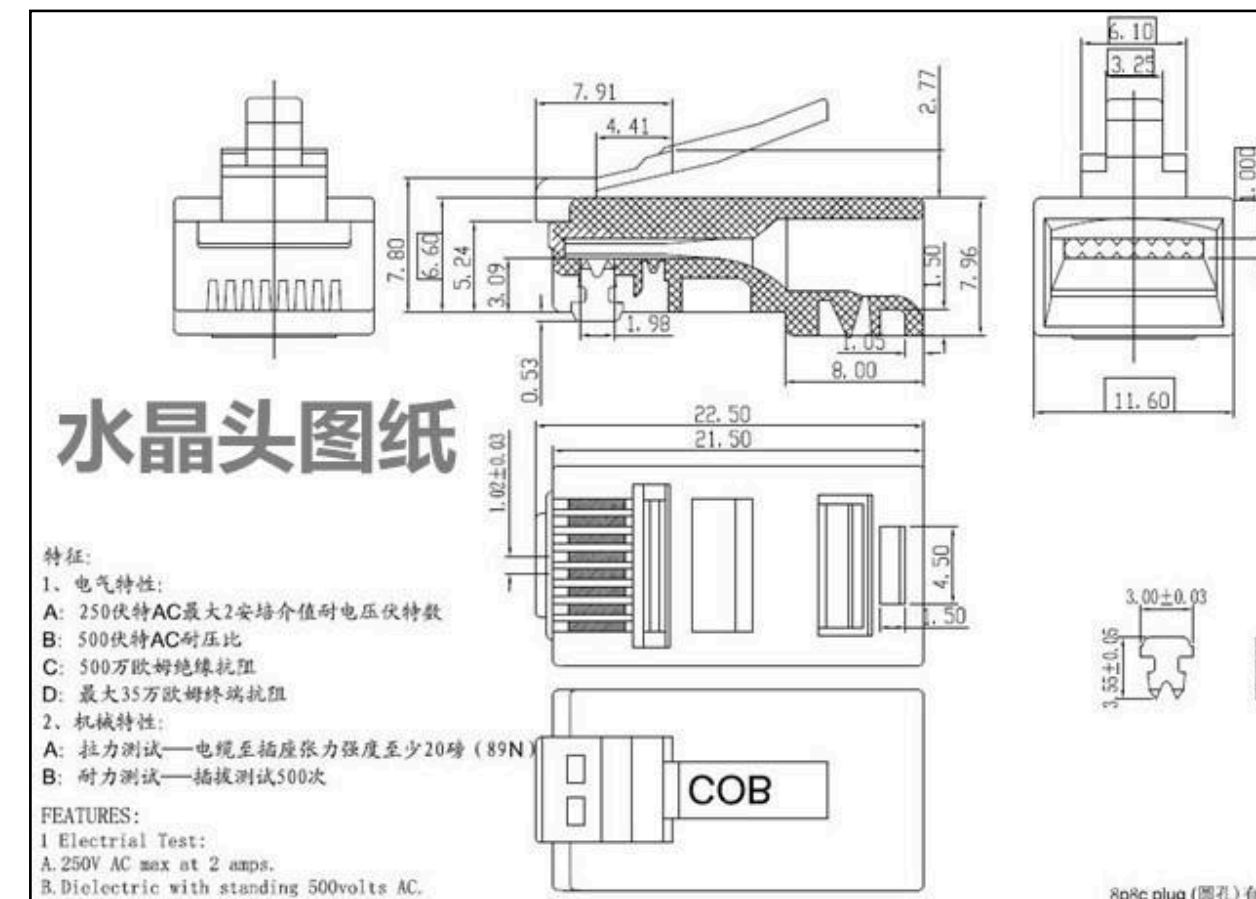
- **568B**: 橙白, 橙, 绿白, 蓝, 蓝白, 绿, 棕白, 棕
- **568A**: 绿白, 绿, 橙白, 蓝, 蓝白, 橙, 棕白, 棕



- 卡接簧片表面镀金或镀银, 可接线径为0.4mm~0.6mm。
- 插头插座可重复插拔次数不小于750次; 8线接触针镀金509 (inch) 。

常用物理层相关标准：RJ45电气特性

- 物理层
- 物理层的功能
- 信号类型
- 标准的制定
- 常用物理层标准



- 额定电流：1.5AMPS；额定电压：125VAC；
- 绝缘电阻：不小于500MΩ；工作环境温度：-40℃-85℃；
- 耐压强度：AC 1000V 50Hz或60 Hz；1分钟接触电阻：不大于20MΩ；
-

常用物理层相关标准：RJ45功能特性

- 物理层
 - 物理层的功能
 - 信号类型
 - 标准的制定
 - 常用物理层标准

Pin	Name	Description
1	TX+	Tranceive Data+（发信号+）
2	TX-	Tranceive Data-（发信号-）
3	RX+	Receive Data+（收信号+）
4	n/c	Not connected（空脚）
5	n/c	Not connected（空脚）
6	RX-	Receive Data-（发信号-）
7	n/c	Not connected（空脚）
8	n/c	Not connected（空脚）

- 差分信号：两根线都发送数据，振幅相同，相位相反；
- 两根线的电势差小于1.6V即可认为是“0”，两根线的电势差大于8V，就可确认为“1”。

常用物理层相关标准：RS-232-C标准

- 物理层
 - 物理层的功能
 - 信号类型
 - 标准的制定
 - 常用物理层标准

- 机械特性：
 - 25芯连接器，上排13根，下排12根（常用的9根）；
 - 9芯连接器，上排5根，下排4根；
 - DTE为插头，DCE为插座。
- 电气特性：
 - 采用负逻辑电平，逻辑“1”：-15V~-5V；逻辑“0”：+5V~+15V；
 - 数据传输速率不超过20Kbps；
 - 电缆长度不超过15m。
- 功能特性：
 - 4条数据线，11条控制线。
- 规程特性：
 - 3条定时线。

RS-232-C标准：常用的9个接口引脚定义（功能特性）

- 物理层
 - 物理层的功能
 - 信号类型
 - 标准的制定
 - 常用物理层标准

引脚	简写	功能说明
1	CD	载波侦测
2	RXD	接收数据
3	TXD	发送数据
4	DTE	数据终端设备
5	GND	地线
6	DSR	数据准备好
7	RTS	请求发送
8	CTS	清除发送
9	RI	振铃指示

小结

- 物理层
 - 物理层的功能
 - 信号类型
 - 标准的制定
 - 常用物理层标准

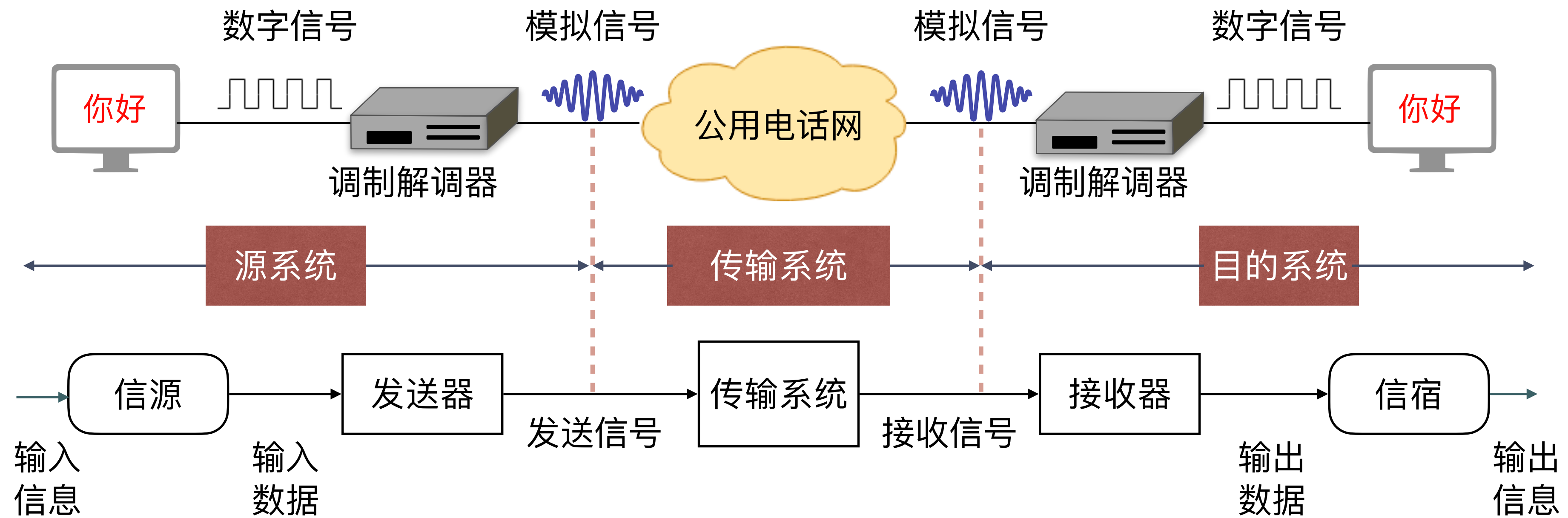
	描 述
主要功能	透明传输比特流
接口特性	机械特性，电气特性，功能特性，规程特性
实例	RS232-C，RJ45

数据通信基础

- 物理层
 - 通信基础知识
 - 通信模型
 - 基本术语
 - 基本带通调制
 - 正交振幅调制
 - 码元

- 数据通信模型。
- 基本的通信方式。
- 基本术语：
 - 调制；
 - 编码。

数据通信基础



数据通信系统的模型

一个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）。

基本术语：消息、数据

- 物理层
- 通信基础知识
 - 通信模型
 - 基本术语
 - 基本带通调制
 - 正交振幅调制
 - 码元

- 通信的目的是传送消息：
 - 消息：消息是客观物质运动或主观思维活动，以及事件发生状态的一种反映，它通过语言、文字、图像和数据等不同形式具体描述；
 - 消息不便于传送和交换，例如，古代人利用点燃烽火台而产生的滚滚狼烟，向远方军队传递敌人入侵的消息；当我们说话时，声波传递到他人的耳朵，使他人了解我们的意图；
 - 数据：运送消息的实体。信息在传输之前需要进行编码，编码后的消息就变成了数据（将消息存储到计算机中形成二进制比特流）。

基本术语：信号、信道

- 物理层
 - 通信基础知识
 - 通信模型
 - 基本术语
 - 基本带通调制
 - 正交振幅调制
 - 码元

- 信号：数据的电气的或电磁的表现。数据在通信线路上传递需要变成电信号或光信号：
 - 模拟信号 (analogous signal)：代表消息的参数的取值是连续的；
 - 数字信号 (digital signal)：代表消息的参数的取值是离散的；
 - 信源：产生和发送数据的源头；
 - 信宿：接收数据的终点；
 - 信道：信号传输的通道（传输媒介），一般来表示向某一个方向传送信息的介质，一端是发送信道，另一端是接收信道。一条传输介质上可以有多条信道（多路复用）。

信道	描述		
	传输信号	模拟信道：传输模拟信号	数字信道：传输数字信号
	传输介质	无线信道	有线信道

基本术语：三种通信方式

- 物理层
 - 通信基础知识
 - 通信模型
 - 基本术语
 - 基本带通调制
 - 正交振幅调制
 - 码元

通信方式	描述	例子
单工通信	只有一个方向上的通信而没有反方向的交互。	电视机、广播
半双工通信	通信双方可以发送或接收数据，但不能同时发送和接收。	对讲机
全双工通信	通信双方可以同时发送和接收信息。	电话

基本术语：基带信号、调制

- 物理层
 - 通信基础知识
 - 通信模型
 - 基本术语
 - 基本带通调制
 - 正交振幅调制
 - 码元

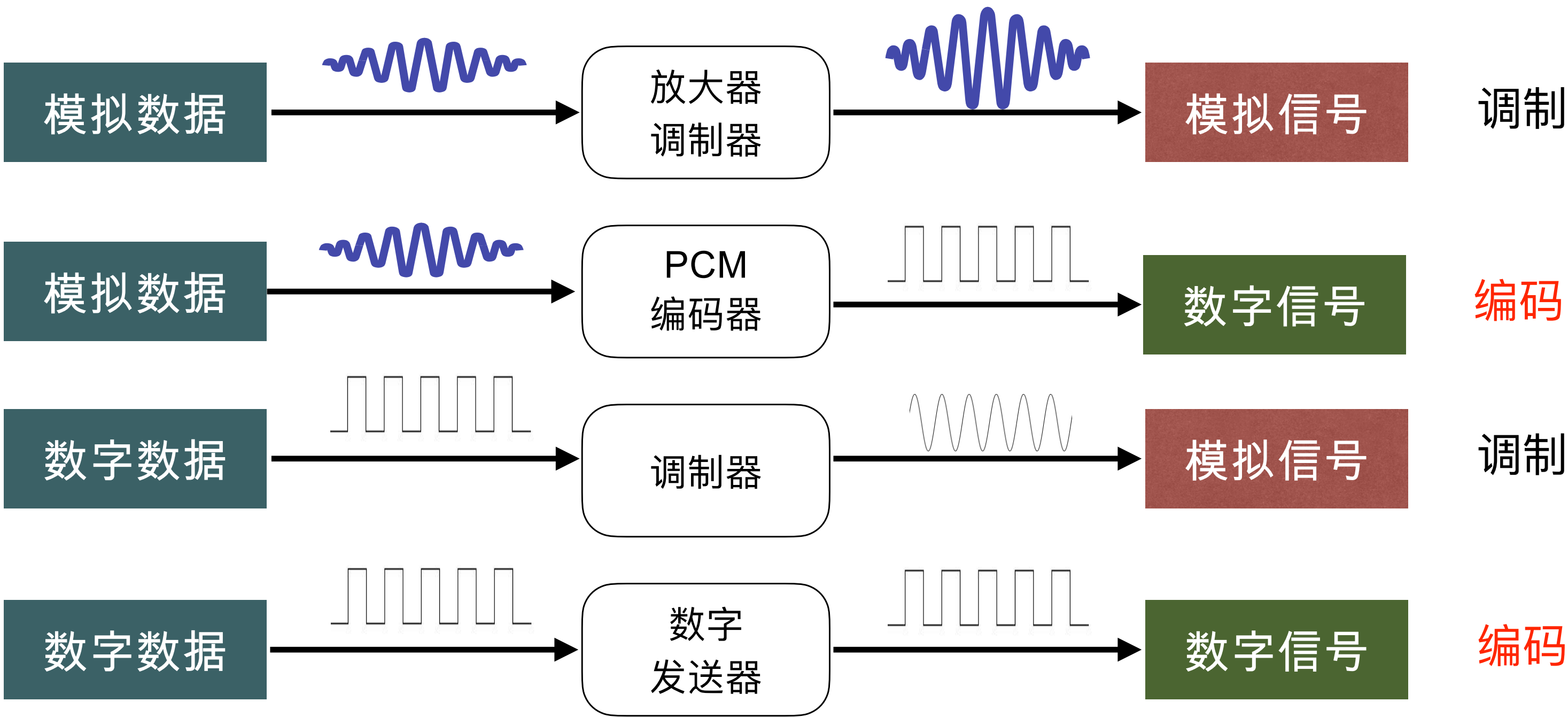
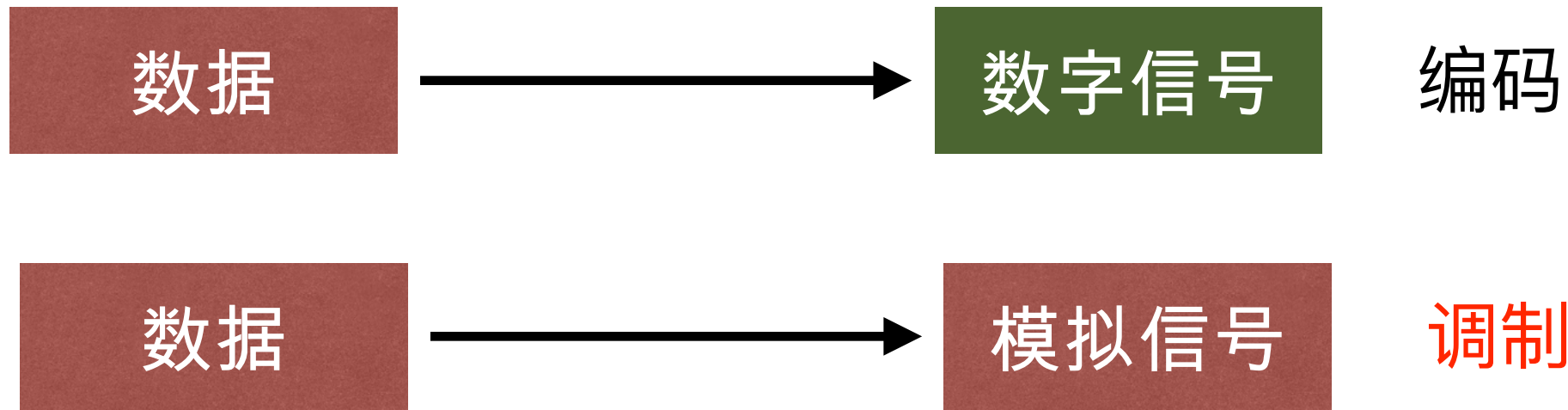
- 基带信号 (Baseband Signal) ，信源发出的没有经过调制的原始信号（直接表达了要传输的信息的信号）：
 - 基带信号往往包含有较多的低频成分，甚至有直流成分，而许多信道并不能传输这种低频分量或直流分量。因此必须对基带信号进行调制 (modulation)；
 - 由模拟信号源产生的信号成为模拟基带信号（说话的声波）；
 - 由计算机产生的二进制信号称为数字基带信号；
 - 无特别说明，我们一般指的是数字基带信号。

基本术语：基带传输、宽带传输

- 物理层
- 通信基础知识
 - 通信模型
 - 基本术语
 - 基本带通调制
 - 正交振幅调制
 - 码元

- **基带传输**，将基带信号（0和1用两种不同电压表示：**编码**）直接送到数字信道上传输方式：
 - 传输的是基带信号：**近距离传输**。
- **宽带传输**，将基带信号经过调制（带通调制）后送到模拟信道上传输方式，也称为**频带传输**；
 - 传输的是宽带信号（带通信号）：**远距离传输**；
 - **带通调制**，使用载波 (carrier) 进行调制，把基带信号的频率范围**搬到较高的频段**，并**转换为模拟信号**，这样就能够更好地在模拟信道中传输（即仅在一段频率范围内能够通过信道）。

编码与调制



基本术语：几种编码方式

- 物理层
- 通信基础知识
 - 通信模型
 - 基本术语
 - 基本带通调制
 - 正交振幅调制
 - 码元

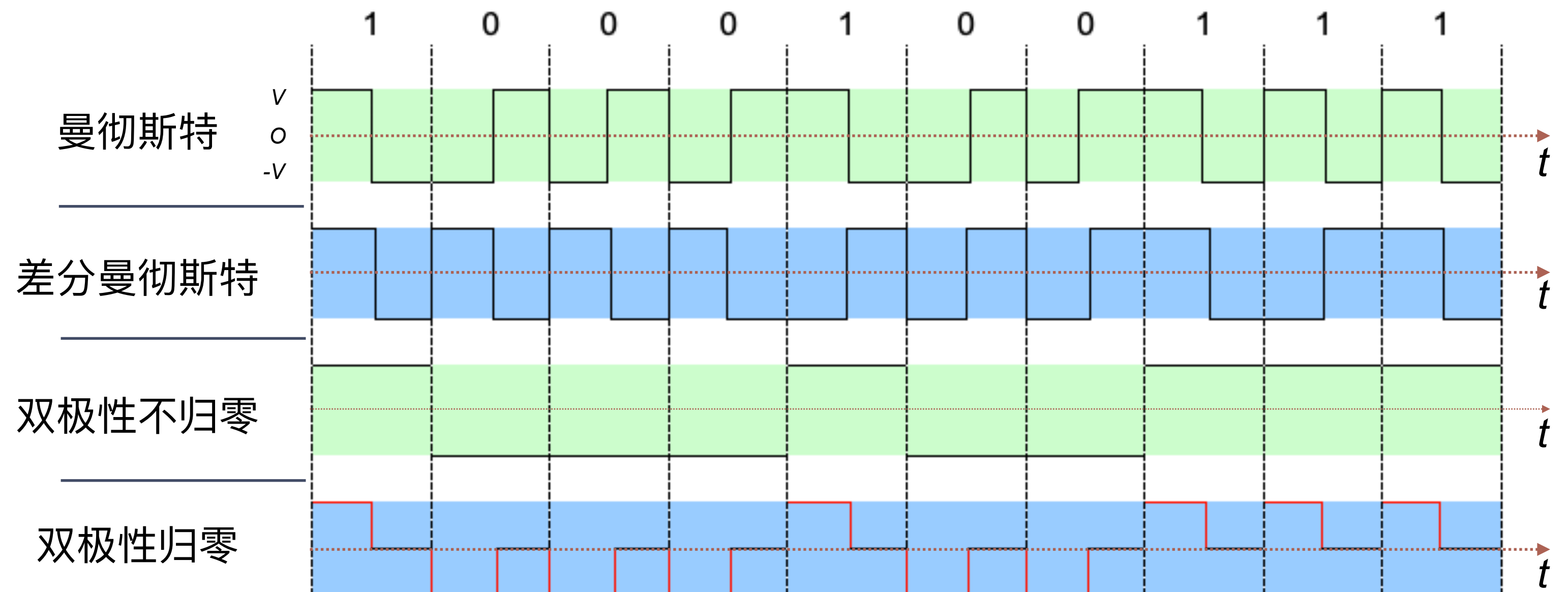
- 非归零编码 (NRZ)：正电平代表 1，负电平代表 0。
- 归零编码：正脉冲代表 1，负脉冲代表 0。
- 曼彻斯特编码：从高到低跳变表示“1”，从低到高跳变表示“0”，但也可反过来定义。
- 差分曼彻斯特编码：在每一位的中心处始终都有跳变。位开始边界有跳变代表 0，而位开始边界没有跳变代表 1。

脉冲是指电压升高(或降低)后又降低(又升高)这一周期过程，相应称为正脉冲或负脉冲。

基本术语：几种编码方式

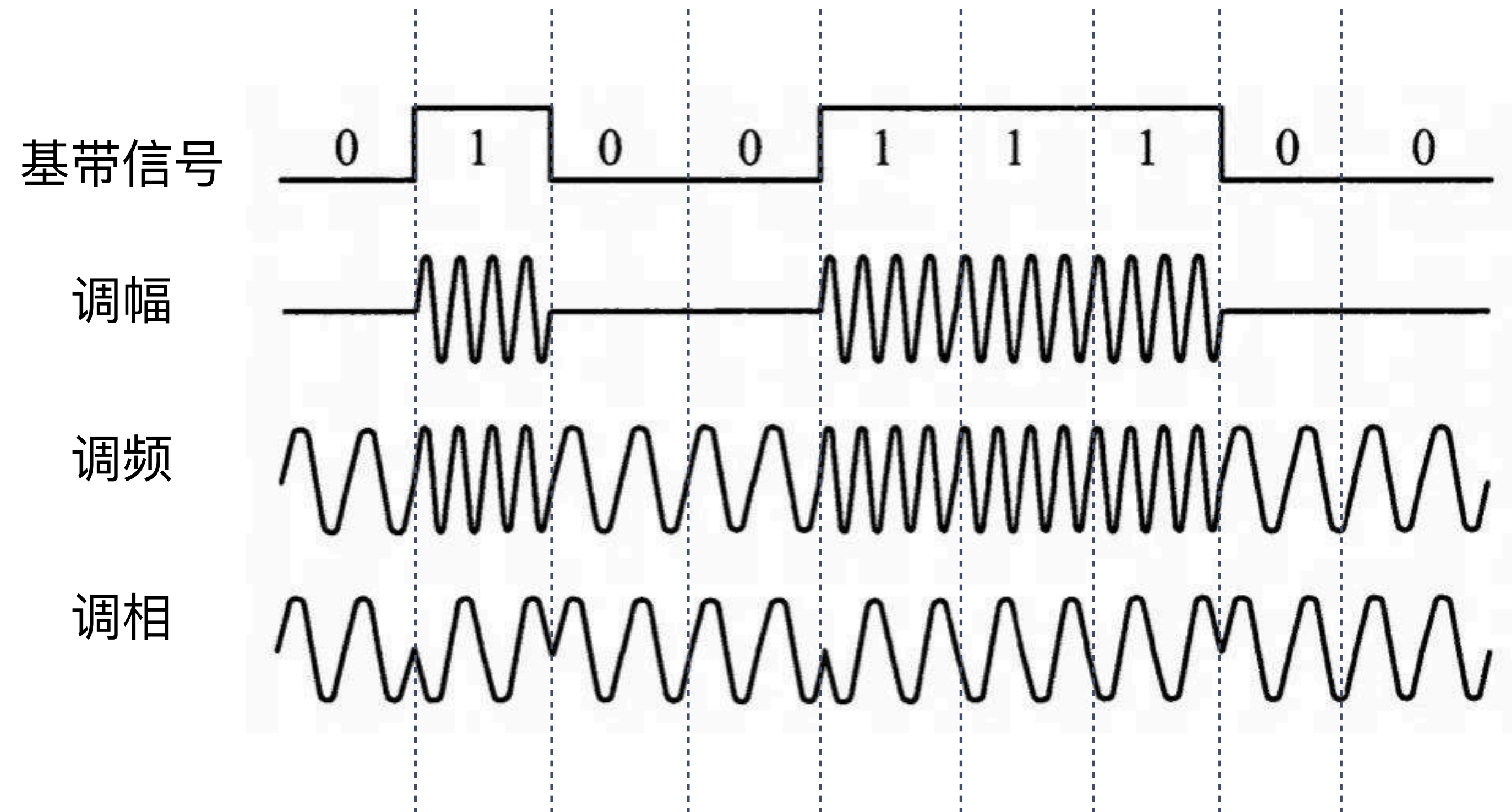
- 物理层
 - 通信基础知识
 - 通信模型
 - 基本术语
 - 基本带通调制
 - 正交振幅调制
 - 码元

- 曼彻斯特编码和差分曼彻斯特编码，产生的信号频率比不归零制高。
- 曼彻斯特编码和差分曼彻斯特编码具有自同步能力。

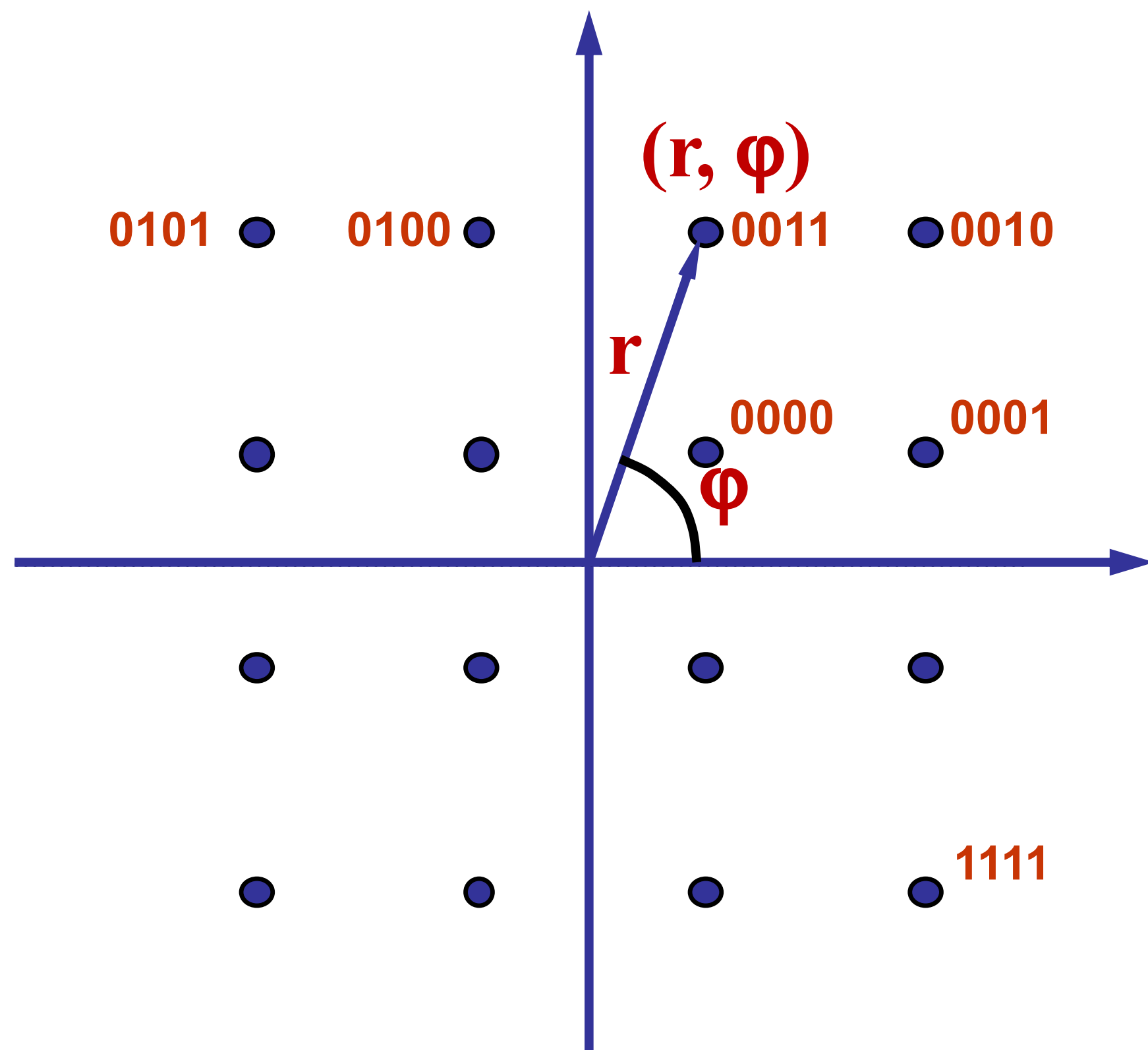


基本术语：基本的带通调制方法

- 物理层
- 通信基础知识
 - 通信模型
 - 基本术语
 - 基本带通调制
 - 正交振幅调制
 - 码元



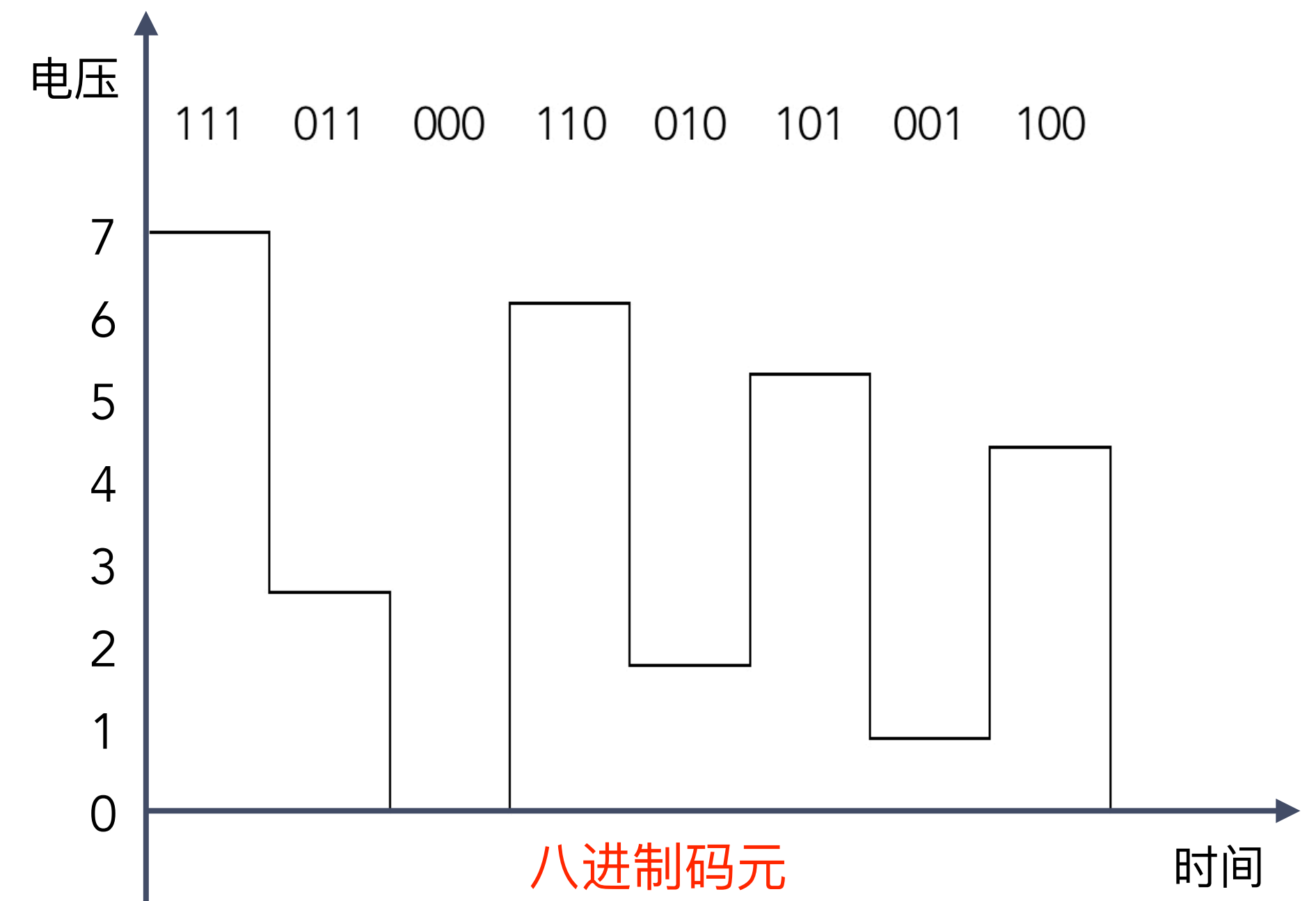
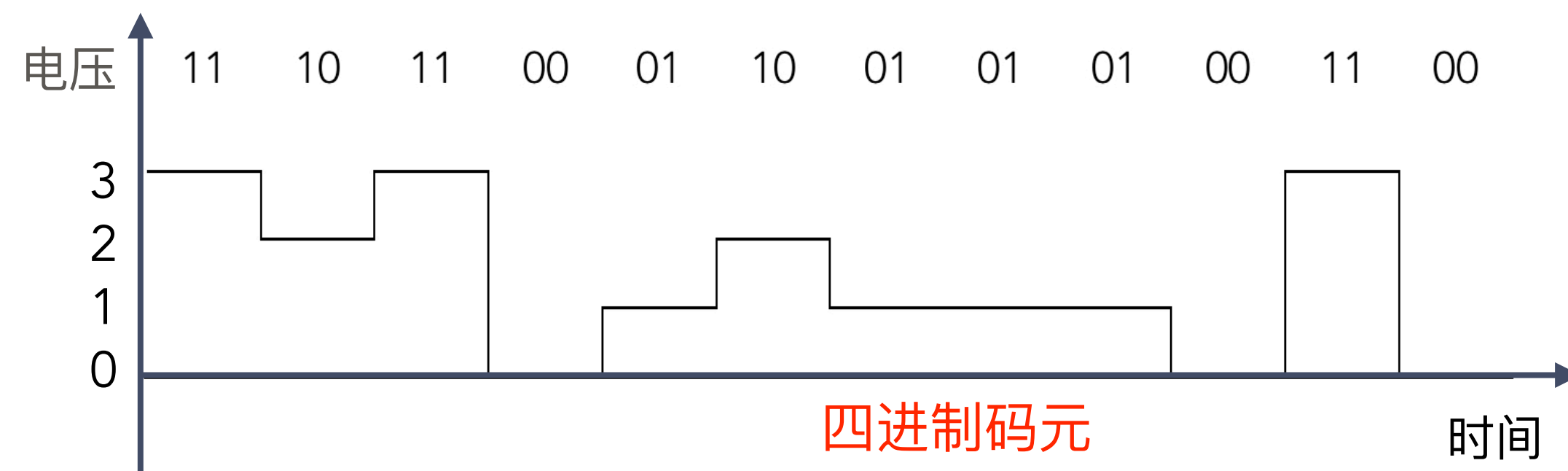
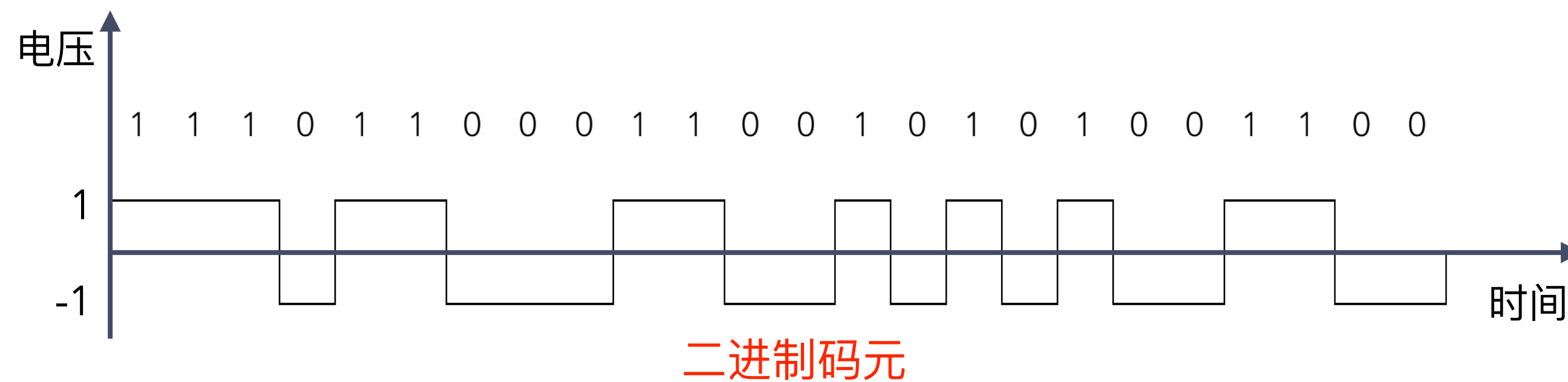
正交振幅调制 QAM (Quadrature Amplitude Modulation)



- 为了达到**更高的信息传输速率**，采用更为复杂的多元制的振幅相位**混合调制方法**：
- **16个点的含义**：不同的 (r, φ) 组合，表示不同的波形；
- 每个点对应于一种 4 bit 的编码；
- 即每个波形可以表示不同的 4 bit 组合；
- 传输速率可提高 4 倍；



码元的概念

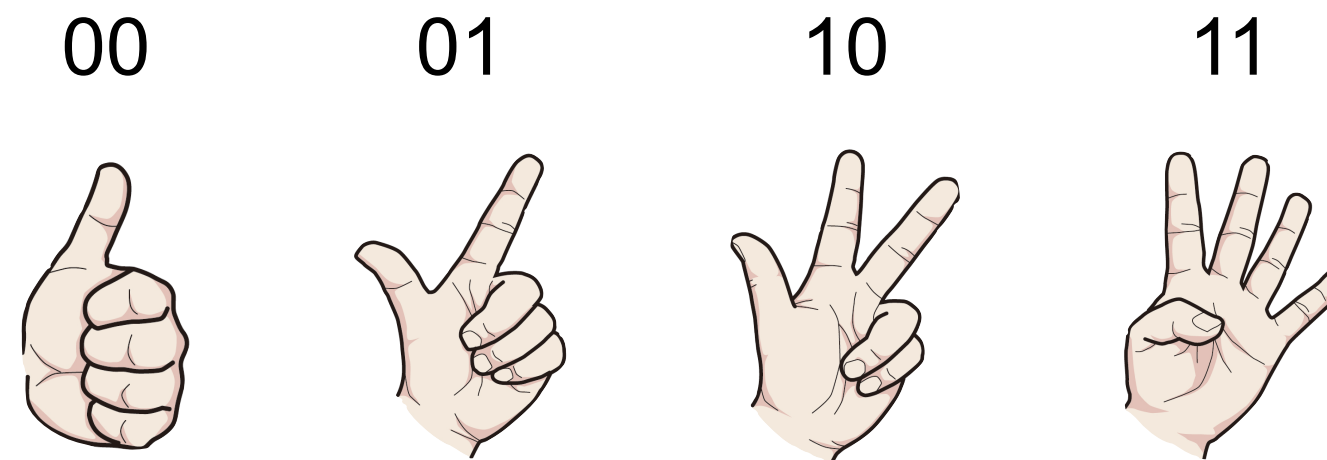
- 在使用时间域（或简称为时域）的波形表示数字信号时（固定时长的信号波形），代表不同离散数值的基本波形：
 - 1码元可以携带多个比特的信息量；
 - 当码元的离散状态有M个时（ $M > 2$ ），此时码元称为M进制码元。



四进制码元的例子

- 物理层
- 通信基础知识
 - 通信模型
 - 基本术语
 - 基本带通调制
 - 正交振幅调制
 - 码元

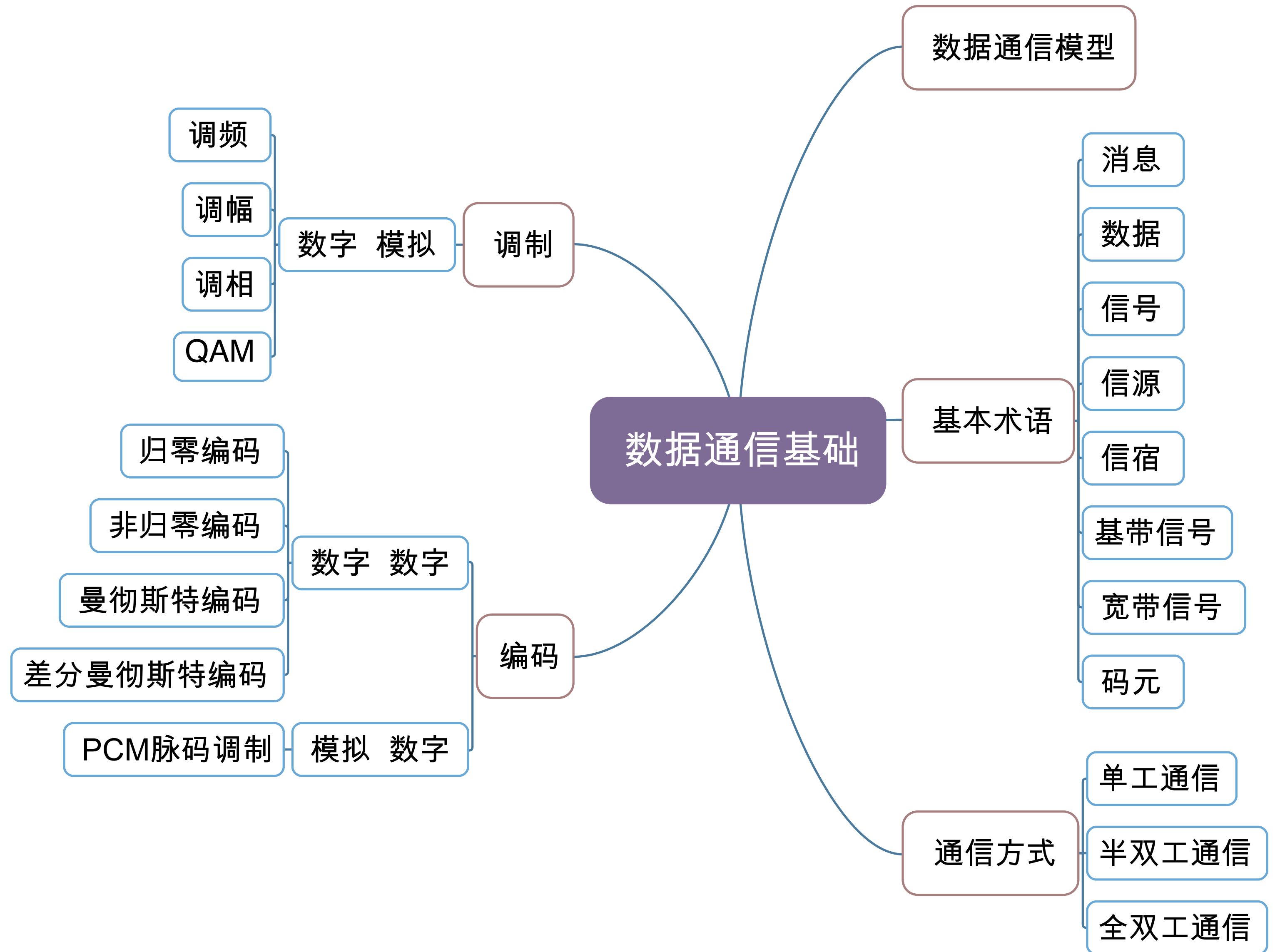
- 告诉对方8位二进制位串：00011011：
 - 如果用  (码元) 表示0,  表示1 (1码元表示1比特)，传送上述二进制位串需要 8 次手势 (发送8个码元)。
 - 如果我们规定：



传送上述二进制位串需要 4 次手势 (发送4个码元)。

小结

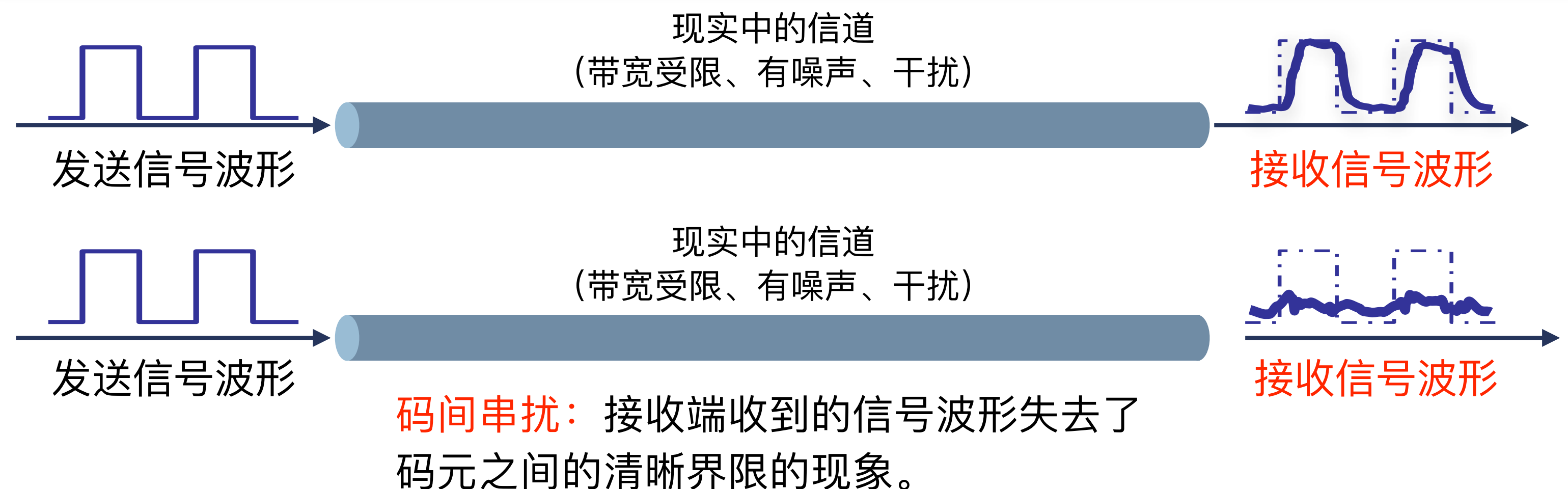
- 物理层
- 通信基础知识
 - 通信模型
 - 基本术语
 - 基本带通调制
 - 正交振幅调制
 - 码元



信道的极限容量

- 物理层
 - 信道的极限容量
 - 信道带宽
 - 奈奎斯特定理
 - 信噪比
 - 香农定理
 - 两个定理比较

- 任何实际的信道都不是理想的，在传输信号时会产生各种失真以及带来多种干扰。失真的原因：
 - 码元传输速率高；
 - 信号传输的距离远；
 - 传输媒体质量越差；
 - 噪声干扰。



码间串扰的例子

汽车速度太快（单位时间内汽车数量太多），无法识别，无法计数

信道带宽：信道能够通过的频率范围

- 物理层
 - 信道的极限容量
 - **信道带宽**
 - 奈奎斯特定理
 - 信噪比
 - 香农定理
 - 两个定理比较



信道的**频带越宽**，也就是能够通过的信号**高频分量越多**，那么就可以**用更高的速率传送码元**而不出现码间串扰。

1924年，奈奎斯特 (Nyquist) 就推导出了著名的奈氏准则

- 物理层
 - 信道的极限容量
 - 信道带宽
 - 奈奎斯特定理
 - 信噪比
 - 香农定理
 - 两个定理比较

- 码元速率是有上限的，传输速率过限，会出现码间串扰：
 - 信道带宽越宽（能通过的高频分量越多），可用更高的速率进行码元的有效传输。
 - 奈氏准则给出了码元传输速率的限制，没有对信息传输速率给出限制。
 - 要提高比特传输速率，采用多元调制方法（如QAM），使每个码元能携带更多比特。

假定的理想低通条件（无噪声、带宽受限）下，为了避免码间串扰：

码元的传输速率的上限值 = $2W \text{ Baud}$ （波特）

理想低通信道下的极限数据传输率 = $2W \log_2 v (b/s)$

W 是信道的带宽，单位是 Hz 。

例子

- 物理层
 - 信道的极限容量
 - 信道带宽
 - 奈奎斯特定理
 - 信噪比
 - 香农定理
 - 两个定理比较

- 在无噪声的情况下，若某通信链路的带宽为4kHz，采用4个相位，每个相位具有4种振幅的QAM调制技术，求该通信链路的最大数据传输率？
 - 信号有 $4 \times 4 = 16$ 种变化，最大数据传输率：

$$\begin{aligned} S_{dmax} &= 2W \log_2 v(b/s) \\ &= 2 \times 4000 \times \log_2 16 \\ &= 8000 \times 4 \\ &= 32(kb/s) \end{aligned}$$

信噪比

- 物理层
 - 信道的极限容量
 - 信道带宽
 - 奈奎斯特定理
 - 信噪比
 - 香农定理
 - 两个定理比较

- 噪声存在于所有的电子设备和通信信道中：
 - 噪声是随机产生的，它的瞬时值有时会很大。因此噪声会使接收端对码元的判决产生错误；
 - 但噪声的影响是相对的。如果信号相对较强，那么噪声的影响就相对较小；
 - 信噪比就是信号的平均功率和噪声的平均功率之比。常记为 S/N ，并用分贝 (dB) 作为度量单位。即：

$$dB = 10 \times \log_{10}(S/N) \quad (dB)$$

例如，当 $S/N = 10$ 时，信噪比为 10 dB ；而当 $S/N = 1000$ 时，信噪比为 30 dB 。

香农定理

- 1984年，香农 (Shannon) 用信息论的理论推导出了带宽受限且有高斯白噪声干扰的信道的极限、无差错的信息传输速率。
- 信道的极限信息传输速率 C 可表达为：

$$C = W \log_2(1 + S/N) \quad (bit/s)$$

其中： W 为信道的带宽（以 Hz 为单位）；
 S 为信道内所传信号的平均功率；
 N 为信道内部的高斯噪声功率。

- 信道的带宽或信道中的信噪比越大，则信息的极限传输速率就越高。
- 只要信息传输速率低于信道的极限信息传输速率，就一定可以找到某种办法来实现无差错的传输。
- 若信道带宽 W 或信噪比 S/N 没有上限，则信道的极限信息传输速率 C 也就没有上限。
- 实际信道上能够达到的信息传输速率要比香农的极限传输速率低不少。

香农定理：例子

- 物理层
 - 信道的极限容量
 - 信道带宽
 - 奈奎斯特定理
 - 信噪比
 - 香农定理
 - 两个定理比较

- 电话系统的信道带宽为 $3kHz$ ，信噪比为 $30dB$ ，则系统的最大数据传输速率是多少？

$$30dB = 10 \log_{10}(S/N)$$

$$S/N = 1000$$

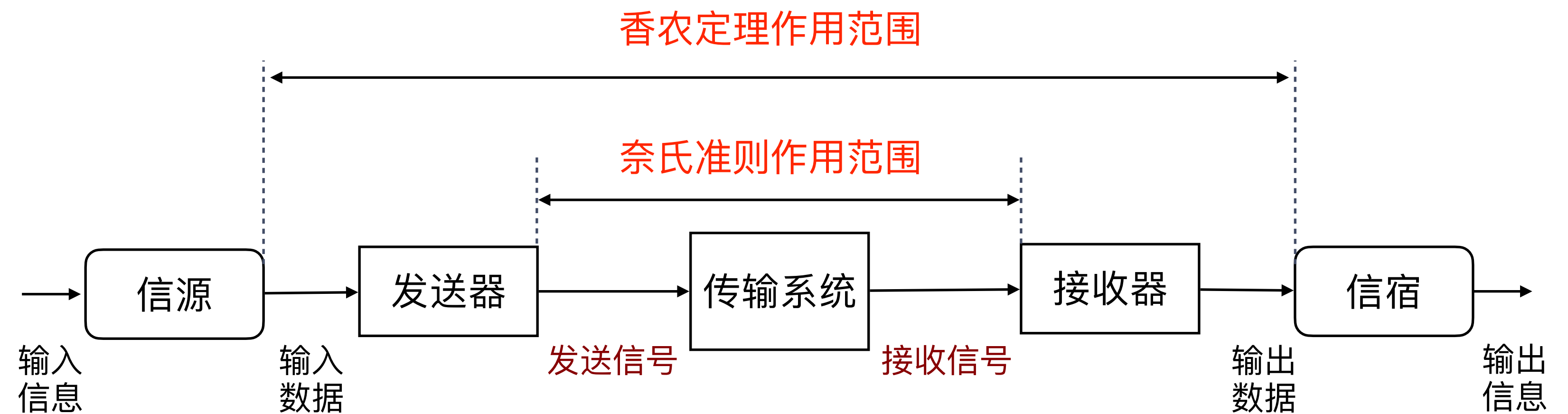
信道的极限数据传输速率：

$$\begin{aligned} D_{max} &= W \log_2(1 + S/N) \\ &= 3000 \times \log_2(1 + 1000) \\ &\approx 30(kb/s) \end{aligned}$$

奈氏准则与香农定理

- 物理层
 - 信道的极限容量
 - 信道带宽
 - 奈奎斯特定理
 - 信噪比
 - 香农定理
 - 两个定理比较

- 对于频带宽度已确定的信道，如果信噪比不能再提高了，并且码元传输速率也达到了上限值，那么还有办法提高信息的传输速率吗？
 - 用**编码的方法**让每一个**码元携带更多比特**的信息量。



例子

- 物理层
 - 信道的极限容量
 - 信道带宽
 - 奈奎斯特定理
 - 信噪比
 - 香农定理
 - 两个定理比较

- 二进制信号在信噪比为127/1的4kHz的信道上传输，最大的数据速率是多少？若改为十六进制信号结果如何？

奈氏准则：

$$\begin{aligned}D_{smax} &= 2W \log_2 v(b/s) \\&= 2 \times 4000 \times \log_2 2 \\&= 8000(b/s)\end{aligned}$$

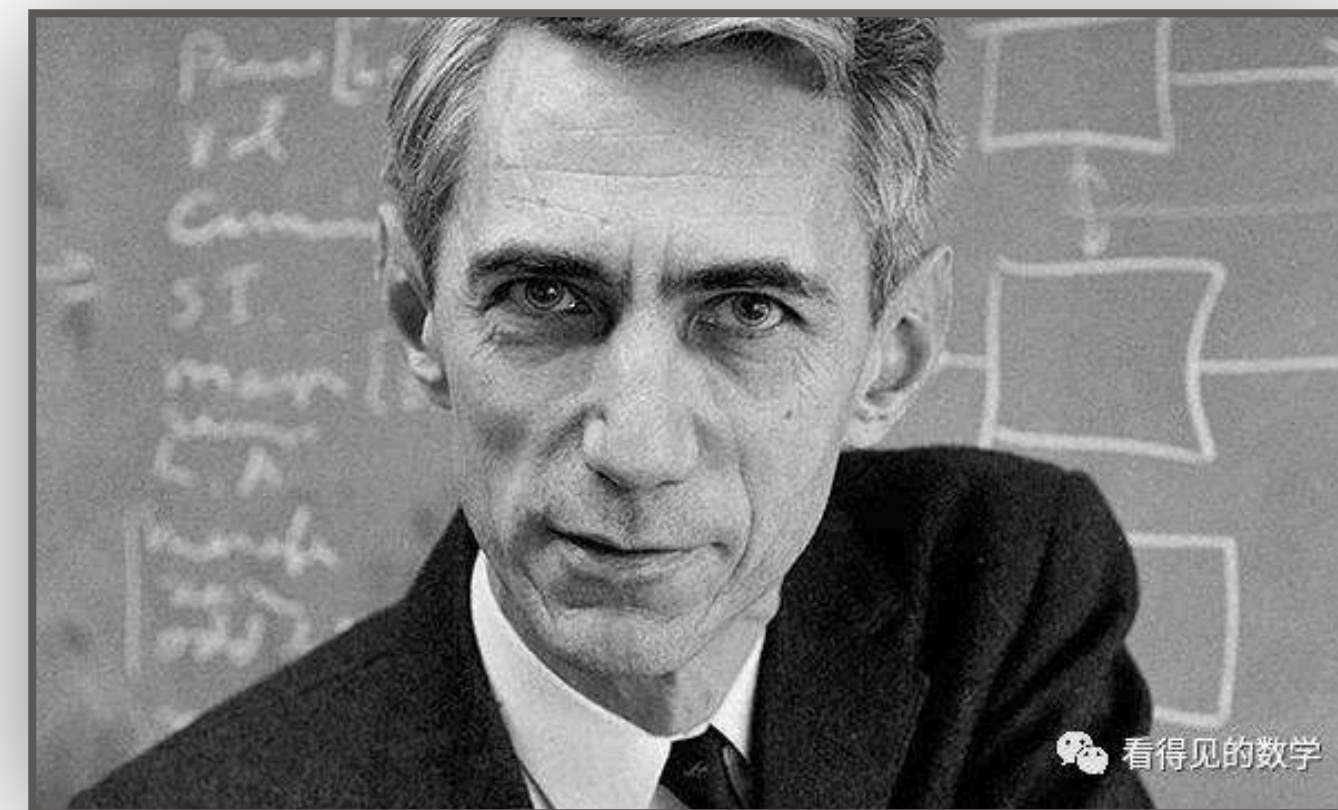
香农定理：

$$\begin{aligned}D_{smax} &= W \log_2(1 + S/N) \\&= 4000 \times \log_2(1 + 127/1) \\&= 28000(b/s)\end{aligned}$$

小结

- 物理层
 - 信道的极限容量
 - 信道带宽
 - 奈奎斯特定理
 - 信噪比
 - 香农定理
 - 两个定理比较

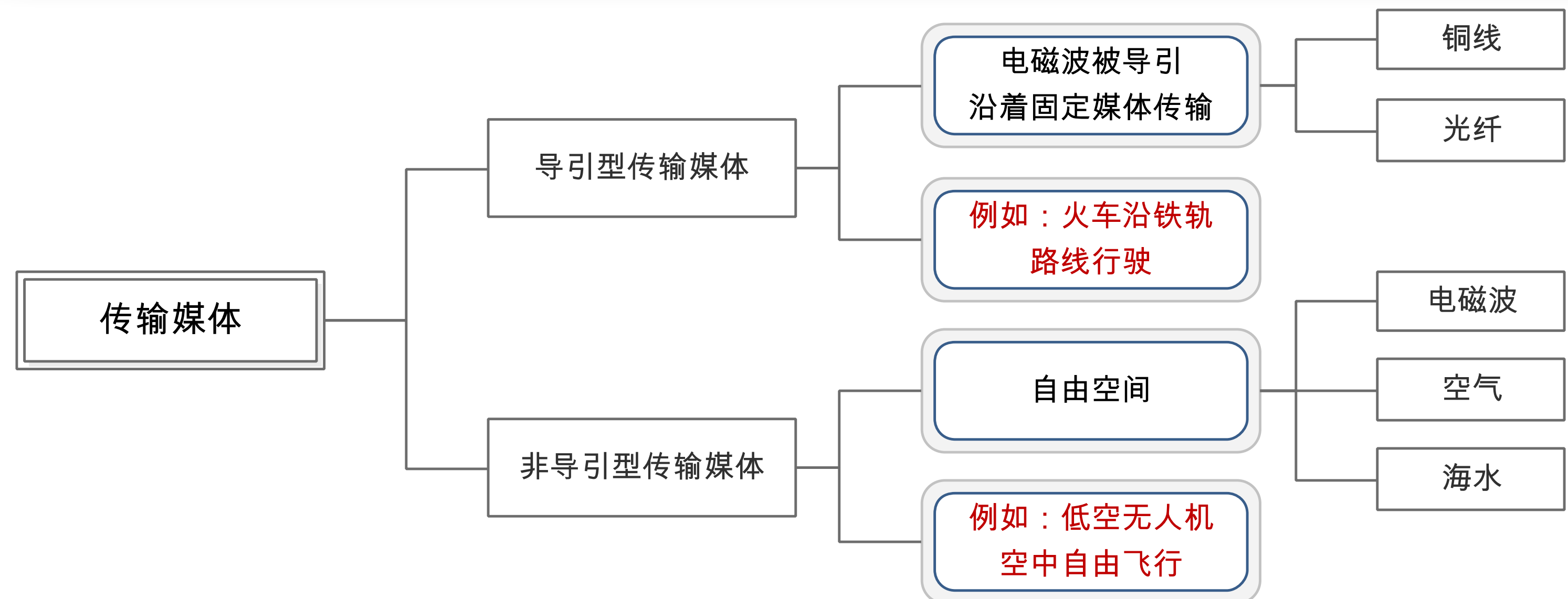
- 带宽：最高频率与最低频率之差。
- 奈氏准则：理想低通条件下，码元极限传输速率。
- 信噪比的概念。
- 香农定理：噪声、干扰条件下，信息极限传输速率。



传输媒体（导引型和非导引型传输媒体）

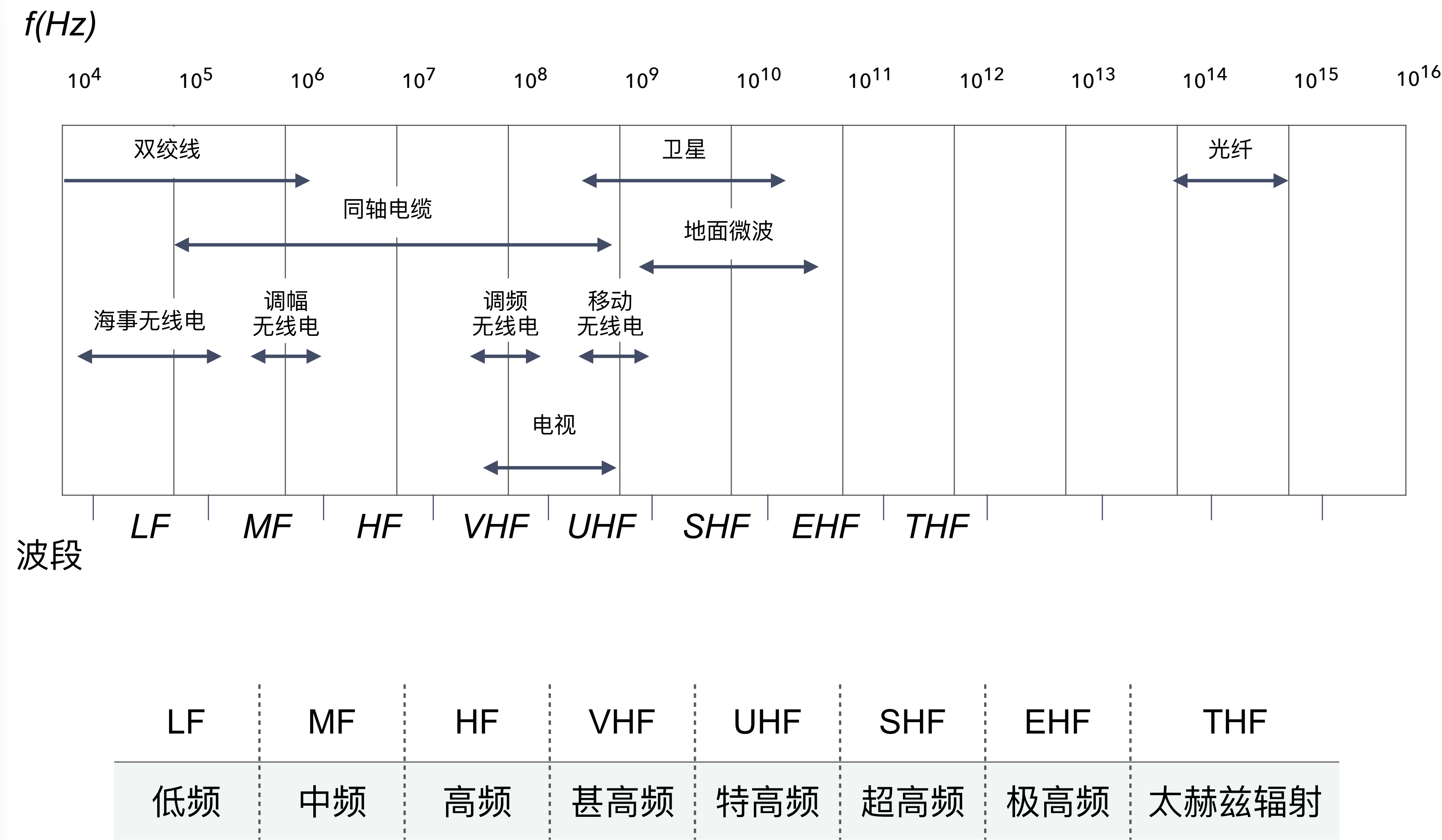
- 物理层
 - 传输媒体分类
 - 电磁波频谱
 - 双绞线
 - 同轴电缆
 - 光纤
 - 非导引型传输媒体

- 信道是传输系统的逻辑通路。
- 传输介质也称传输媒体/传输媒介，是数据传输系统中在发送设备和接收设备之间的物理通路：
 - 传输介质可认为是第0层，它传输的是信号，但不知道信号是什么意思，根据规定的电气特性来识别比特。



电信领域使用的电磁波的频谱

- 物理层
 - 传输媒体分类
 - 电磁波频谱
 - 双绞线
 - 同轴电缆
 - 光纤
 - 非导引型传输媒体



双绞线

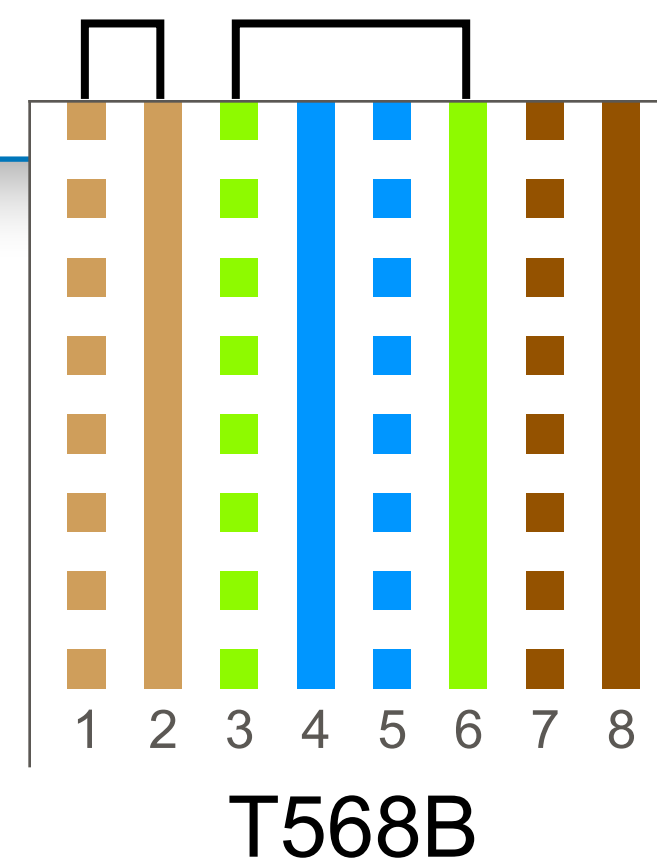
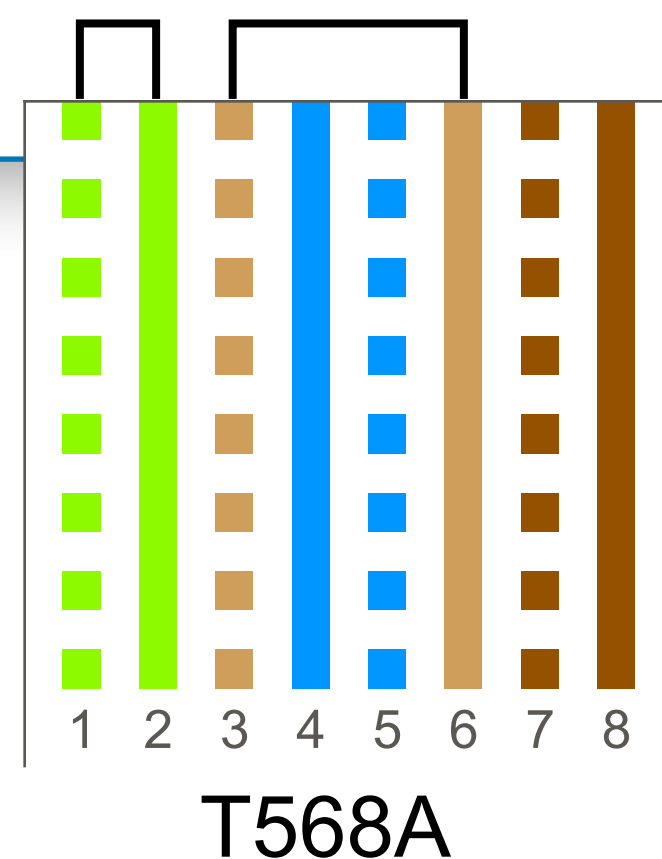
- 物理层
 - 传输媒体分类
 - 电磁波频谱
 - 双绞线
 - 同轴电缆
 - 光纤
 - 非导引型传输媒体

- 最常用的传输媒体，模拟传输和数字传输都可以使用双绞线，其通信距离一般为几到十几公里：
 - 屏蔽双绞线 STP；
 - 带金属屏蔽层
 - 无屏蔽双绞线 UTP。

双绞线标准

- 物理层
 - 传输媒体分类
 - 电磁波频谱
 - 双绞线
 - 同轴电缆
 - 光纤
 - 非导引型传输媒体

- 1991年，美国电子工业协会 EIA 和电信行业协会联合发布了一个用于室内传送数据的无屏蔽双绞线和屏蔽双绞线的标准 EIA/TIA-568。
- 1995年将布线标准更新为 EIA/TIA-568.A（已被淘汰）。
- 2001年，TIA/EIA-568发布了第三个版本，即ANSI/TIA/EIA-568.B
- 此标准规定了 5 个种类的 UTP 标准（从 1 类线到 5 类线）。
- 对传送数据来说，现在最常用的 UTP 是5类线（Category 5 或 CAT5）。



双绞线类别

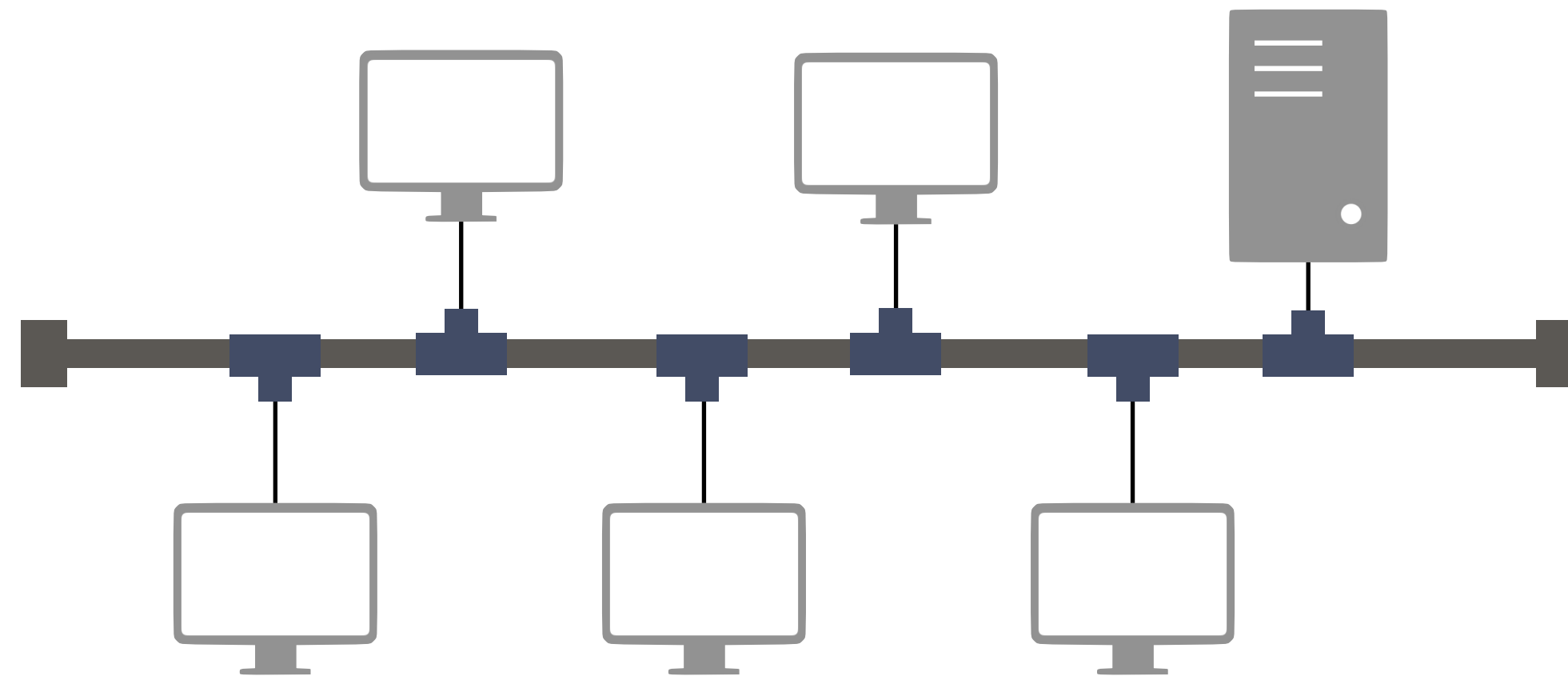
- 物理层
 - 传输媒体分类
 - 电磁波频谱
 - 双绞线
 - 同轴电缆
 - 光纤
 - 非导引型传输媒体

类别	带宽	特点	典型应用
3	16 MHz	2对4芯双绞线	模拟电话，曾用于传统以太网
4	20 MHz	4对8芯双绞线	曾用于令牌局域网
5	100 MHz	与4类相比增加了绞合度	传输速率≤100Mb/s的应用
5E	125 MHz	与5类相比衰减更小	传输速率≤1Gb/s的应用
6	250 MHz	与5类相比改善了串扰等性能	传输速率>1Gb/s的应用
7	600 MHz	使用屏蔽双绞线	传输速率>10Gb/s的应用

同轴电缆

- 物理层
 - 传输媒体分类
 - 电磁波频谱
 - 双绞线
 - 同轴电缆
 - 光纤
 - 非导引型传输媒体

- 同轴电缆有很好的抗干扰特性，广泛用于传输较高速率的数据。
- 同轴电缆的带宽取决于电缆的质量：
 - 50 Ω 同轴电缆 —— LAN / 数字传输常用（基带同轴电缆）；
 - 75 Ω 同轴电缆 —— 有线电视 / 模拟传输常用（宽带同轴电缆）。

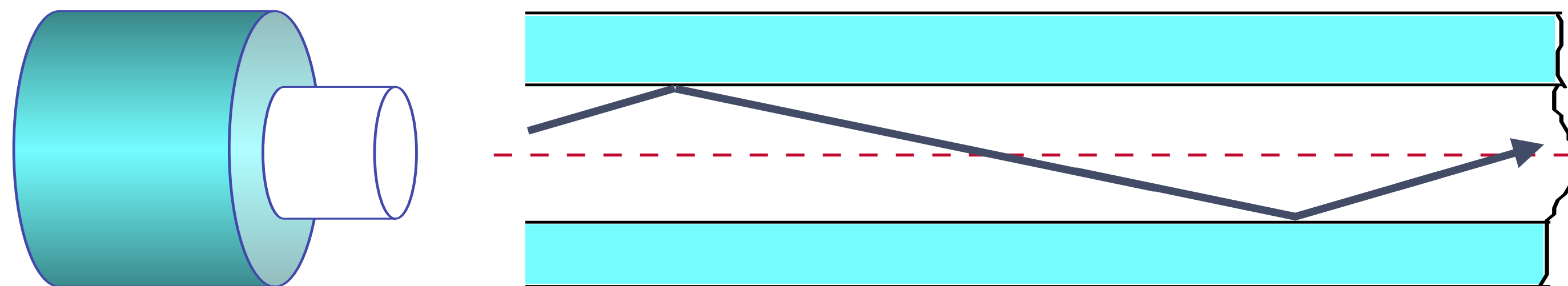
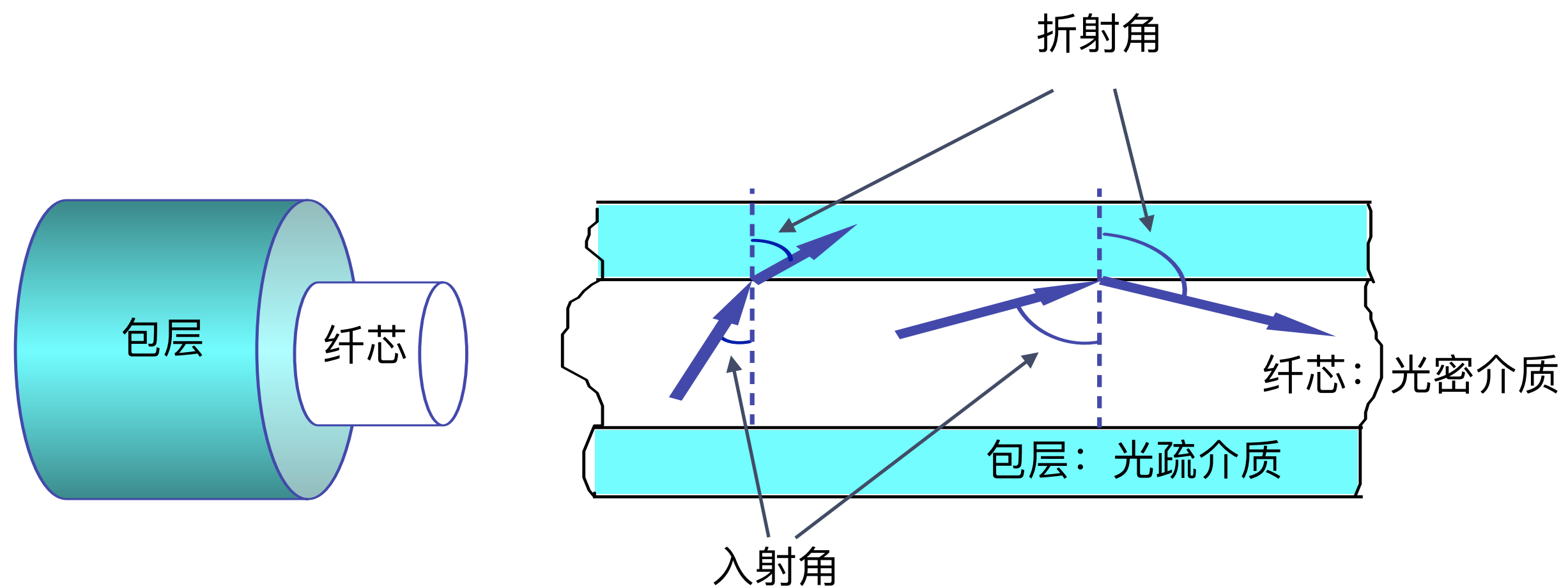


光纤

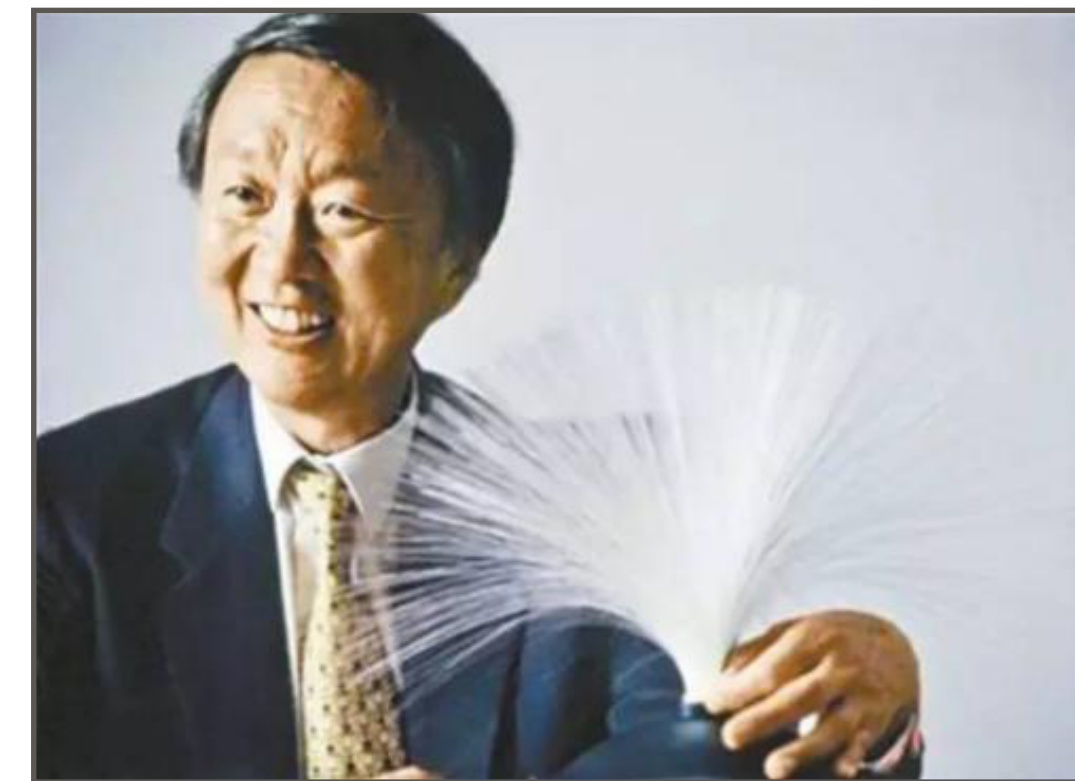
- 物理层
 - 传输媒体分类
 - 电磁波频谱
 - 双绞线
 - 同轴电缆
 - 光纤
 - 非导引型传输媒体

- 光纤（光导纤维）是光纤通信的传输媒体：
 - 光纤通信是利用光导纤维（光纤），传递光脉冲进行通信，有光脉冲表示 1，无光脉冲表示 0。由于可见光的频率非常高，约为 10^8 MHz 的量级，因此一个光纤通信系统的传输带宽远远大于目前其他各种传输媒体的带宽；
 - 发送端和接收端有光电转换器。

光线在光纤中的折射



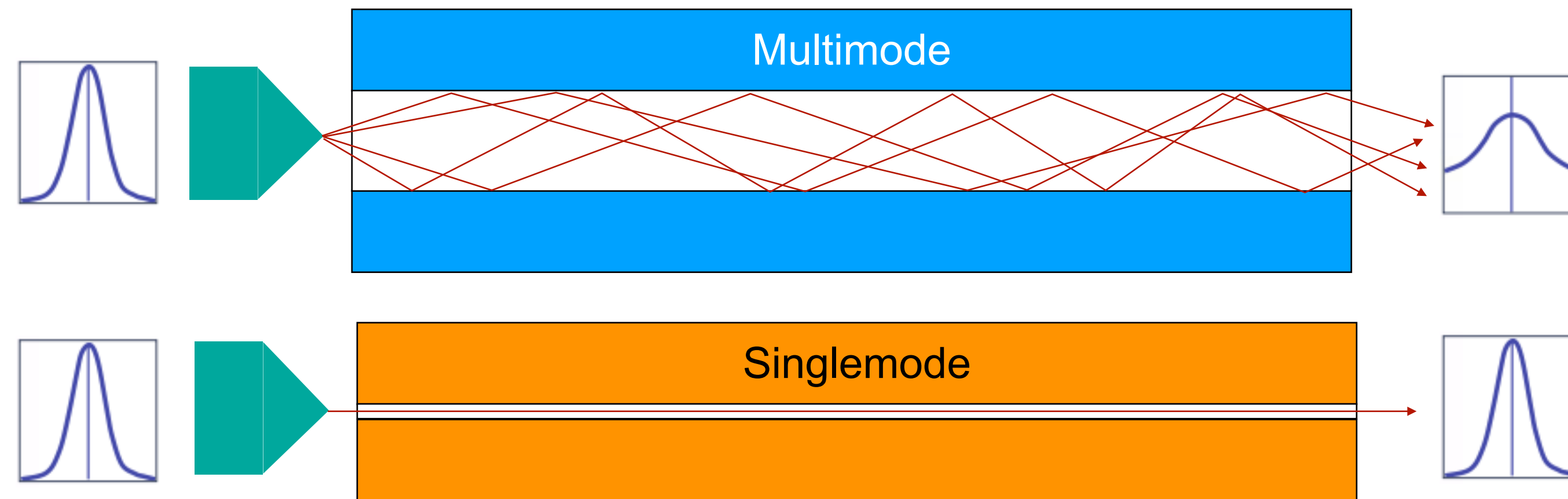
光线在纤芯中传输的方式是不断地全反射



光纤之父高锟

- 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**。
- 因此，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。

多模与单模光纤



- 在光纤数据传输领域，术语“**模式**”用于描述光信号在光纤玻璃纤芯内的**传播方式**——即**模式**是光的**传播路径**：
 - **单模光线**（SMF, Single Mode Fiber），光沿着一条路径传播；
 - **多模光纤**（MMF, Multi Mode Fiber），光在多条路径中传播。

光纤波长

- 物理层
 - 传输媒体分类
 - 电磁波频谱
 - 双绞线
 - 同轴电缆
 - 光纤
 - 非导引型传输媒体

- 常用的波段的中心分别位于 850 nm, 1300 nm 和 1550 nm：
 - 这三种波长的光信号在光纤当中传输的时候损耗最小；
 - 因此它们最适合作为可用光源来在光纤中传输；
 - 所有这三个波段都具有 25000~30000 GHz 的带宽，可见光纤的通信容量非常大。

	波长(nm)	纤芯直径(μm)	光源	传输距离(10Gb/s)
单模光纤	1300,1550	8/125,10/125	激光器做光源	240km
多模纤	850	50/125,62.5/125	发光二极管做光源	550m

光纤的优缺点

- 物理层
 - 传输媒体分类
 - 电磁波频谱
 - 双绞线
 - 同轴电缆
 - 光纤
 - 非导引型传输媒体

优点	通信容量大	传输损耗小 中继距离长	抗干扰性能好	体积小，重量轻	保密性好
缺点	质地脆，机械强度差	连接困难	光纤光缆的弯曲半径不能过小（>20cm）	分路、耦合不灵活	怕水

非导引型传输媒体

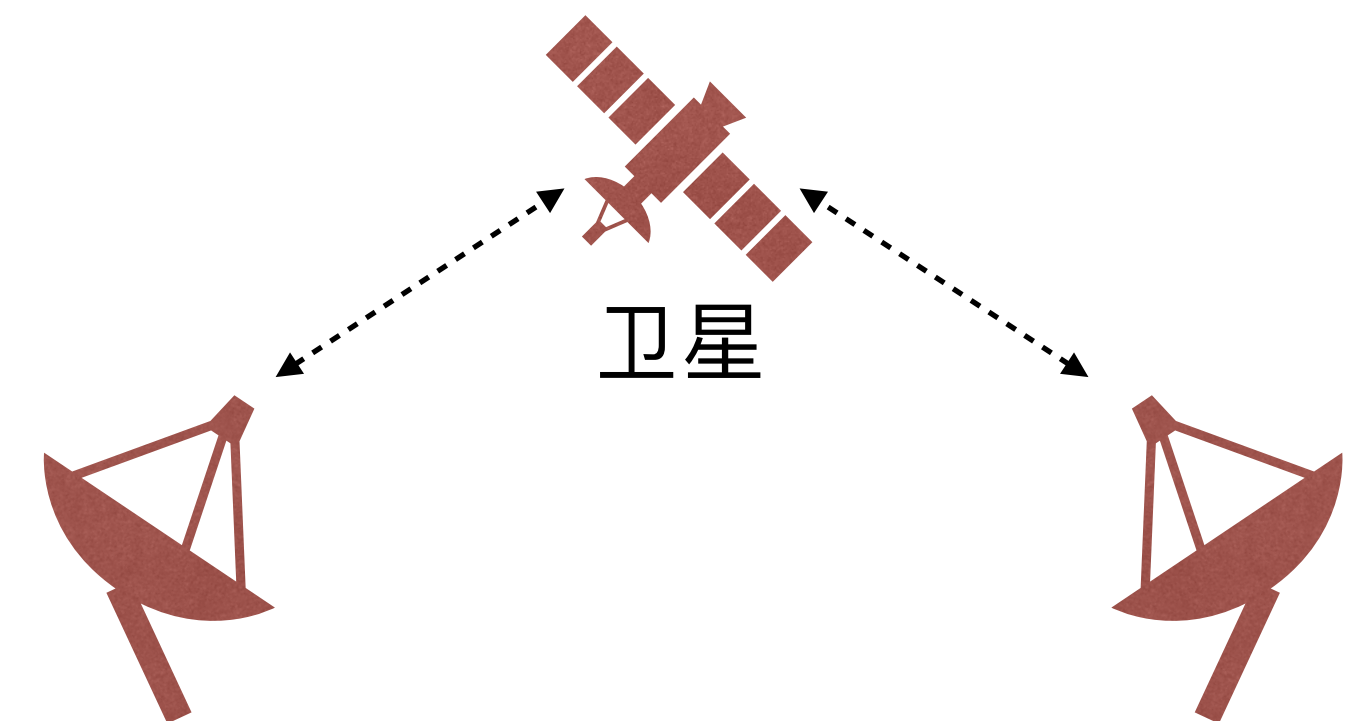
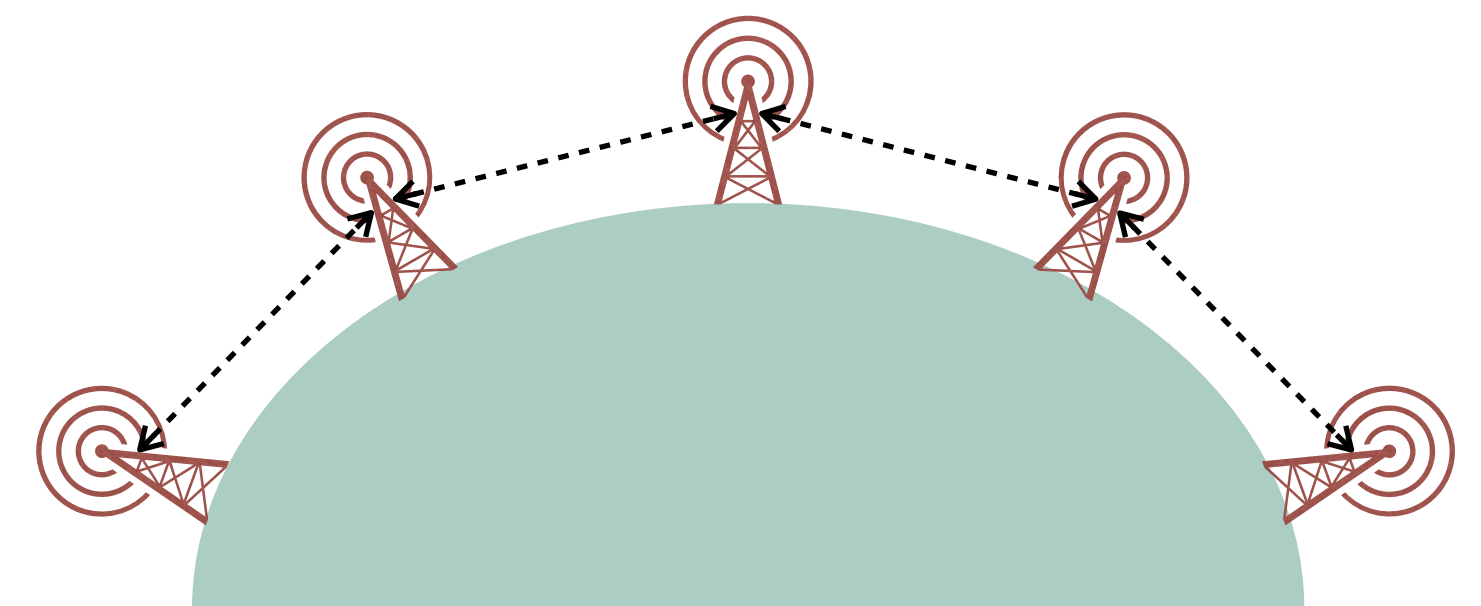
- 物理层
 - 传输媒体分类
 - 电磁波频谱
 - 双绞线
 - 同轴电缆
 - 光纤
 - 非导引型传输媒体

- 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：
 - 短波通信（即高频通信）主要是靠电离层的反射，但短波信道的通信质量较差，传输速率低；
 - 微波在空间主要是直线传播。
- 传统微波通信有两种方式：
 - 地面微波接力通信；
 - 卫星通信。

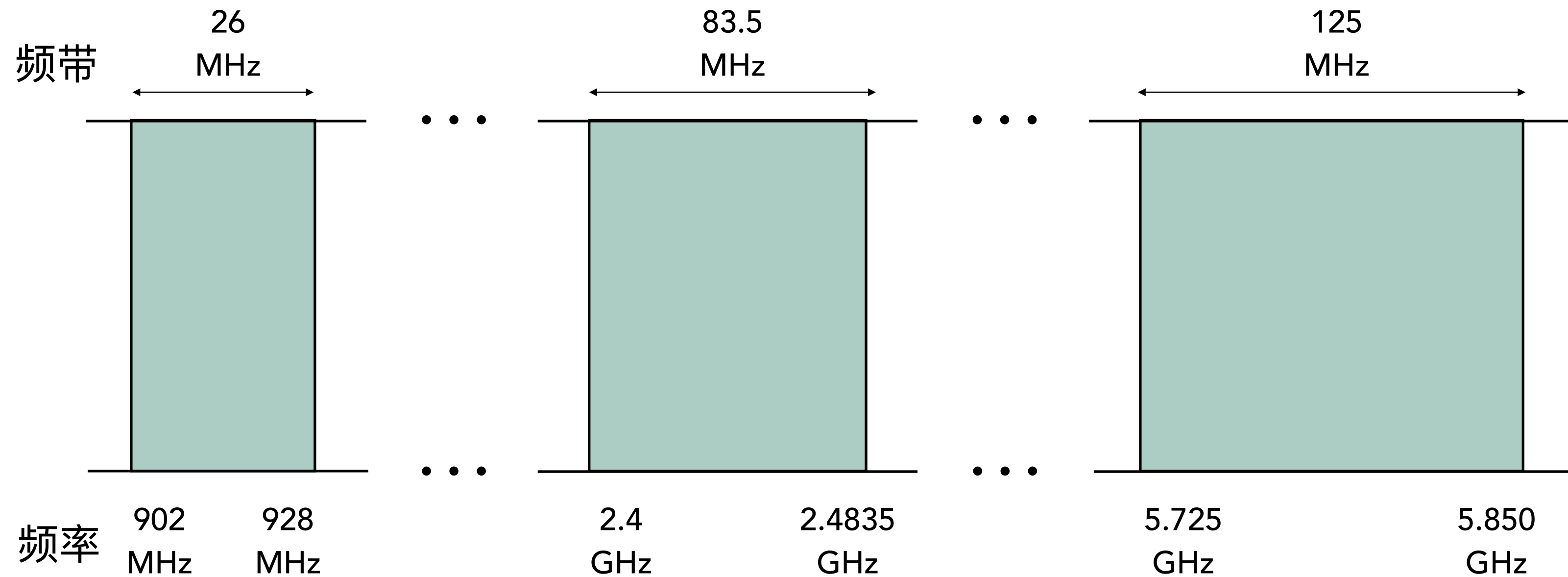
无线电波传输：距离远；开放性，保密性差，显易受干扰

微波通信的两种方式

- **地面微波接力：**
 - 靠地面视距**接力站**转换信号来实现远距离通信；
 - 每隔50公里左右，就需要设置中继站；
 - **受气候影响大。**
- **卫星通信：**
 - 以**高轨同步卫星**作为**中继**，实现微波信号远距离通信；
 - **三颗**同步卫星可实现**全球覆盖**；
 - 容量大，时延长，通信质量好于地面微波接力。
- **成功案例：**
 - 中国北斗卫星导航系统（BDS）；
 - 美国全球定位系统（GPS）；
 - 俄罗斯全球卫星导航系统（GLONASS）；
 - 欧盟伽利略卫星导航系统（Galileo satellite navigation system）。



无线局域网使用的 ISM 频段



- 无线电频谱的使用，必须得到本国政府有关无线电频谱管理机构的许可证：
- 可以自由使用的无线电频段：ISM（Industrial Scientific Medical：工业、科研、医疗）；
- 各国的 ISM 标准有可能略有差别（2.4GHz，各国共同的ISM频段）。

小结

- 物理层
 - 传输媒体分类
 - 电磁波频谱
 - 双绞线
 - 同轴电缆
 - 光纤
 - 非导引型传输媒体

传输媒体	导引型传输媒体	双绞线	非屏蔽双绞线
			屏蔽双绞线
		同轴电缆	50Ω基带传输，75Ω宽带传输
		光纤	多模光纤
			单模纤
	非导引型传输媒	无线电波	长波、中波、短波超短波和微波
		微波	地面微波接力通信
			卫星通信
		红外	遥控器、手机

信道复用技术

- 物理层
 - 信道复用
 - 频分多路复用
 - 时分多路复用
 - 统计时分复用
 - 波分多路复用
 - 码分复用技术

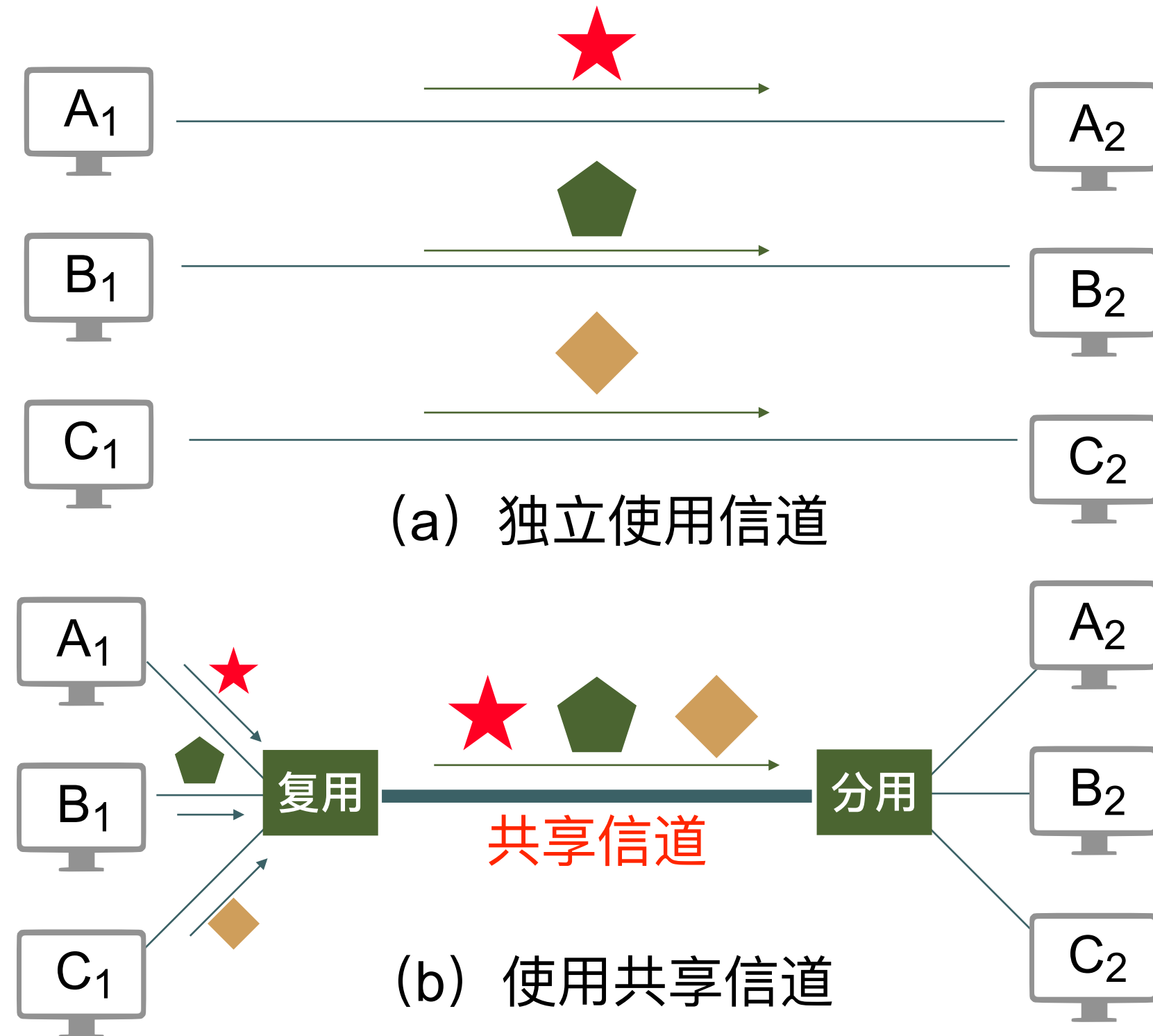
频
分
多
路
复
用

时
分
多
路
复
用

波
分
多
路
复
用

码
分
多
路
复
用

复用 (Multiplexing) 是通信技术中的基本概念



- **多路复用技术：**
 - 把多个信号组合在一条物理信道上进行传输，使得多个计算机或终端设备共享信道资源，提高信道利用率；
 - 把一条**广播信道**，逻辑上**分成几条**用于两个结点之间通信的**互不干扰的信道**，就是把**广播信道转变为点对点信道**。

- 它**允许用户**使用一个**共享信道**进行通信，降低成本，提高利用率。
- 将使用介质的每个设备与来自同一信道上的其他设备的**通信隔离开**，把**时域和频域**资源合理地分配给网络上的设备。

频分多路复用 (Frequency Division Multiplexing)

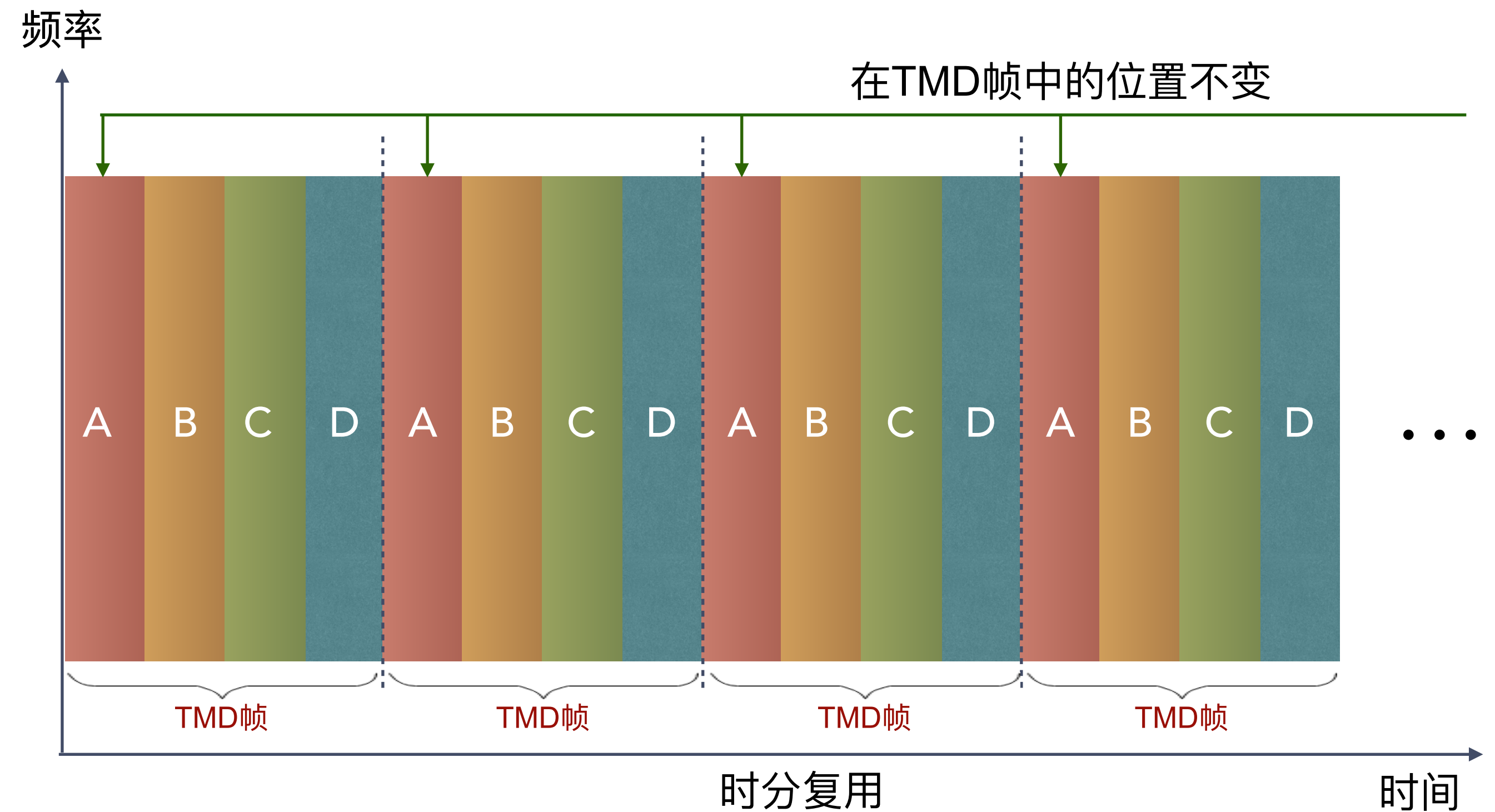
- 将**整个带宽分为多份**，用户在**分配到一定的频带后**，在通信过程中自始至终都**占用这个频带**。
- 频分复用的所有用户在**同样的时间占用不同的带宽资源**。（这里的“**带宽**”是频率带宽）。



- 频分复用要求**总频率宽度**大于各个子信道**频率之和**。各子信道之间设立**隔离带**，这样就保证了各路信号互不干扰：
- 频分复用技术的特点是所有子信道传输的信号以**并行的方式工作**；
- 例：广播、有线电视；
- 充分利用带宽，效率较高；
- 技术成熟，实现容易。

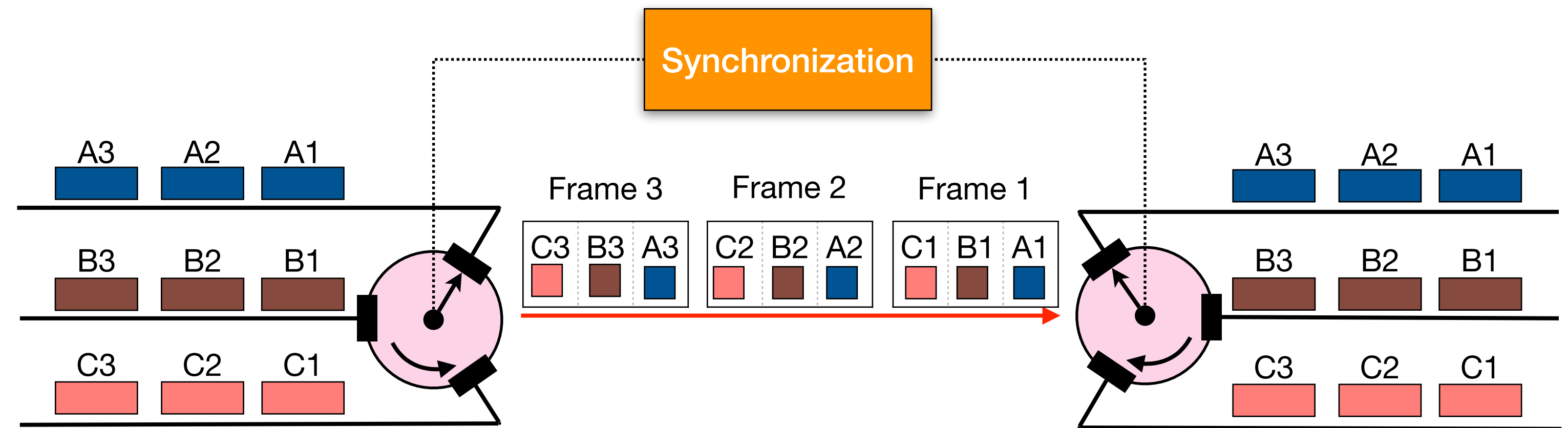
时分多路复用(Time Division Multiplexing)

- 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。



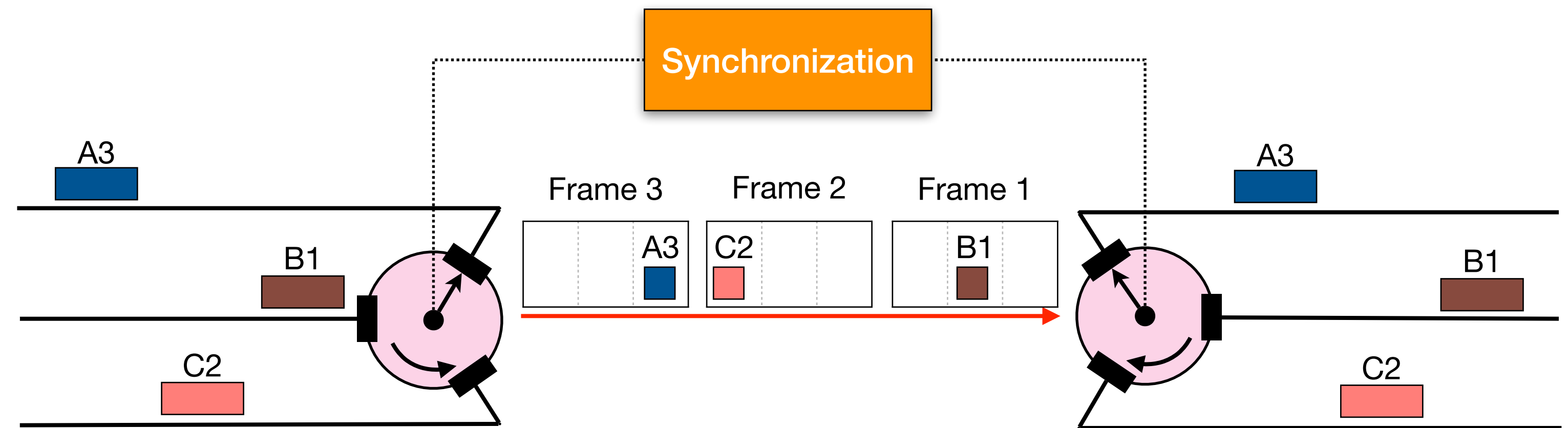
时分多路复用

- 物理层
- 信道复用
 - 频分多路复用
 - 时分多路复用
 - 统计时分复用
 - 波分多路复用
 - 码分复用技术



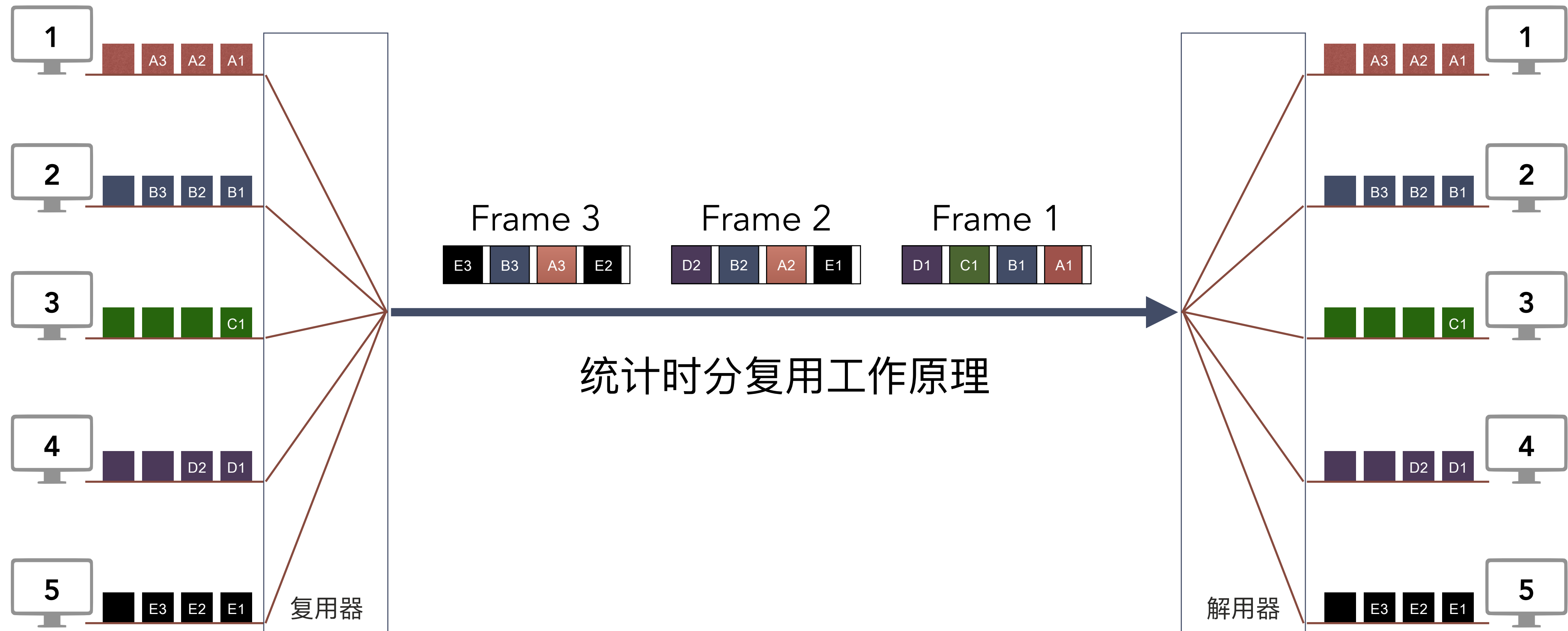
时分复用利用率有时不高

- 物理层
 - 信道复用
 - 频分多路复用
 - 时分多路复用
 - 统计时分复用
 - 波分多路复用
 - 码分复用技术



由于计算机数据的突发性质，使用时分复用系统传输数据，子信道的利用率一般是不高。

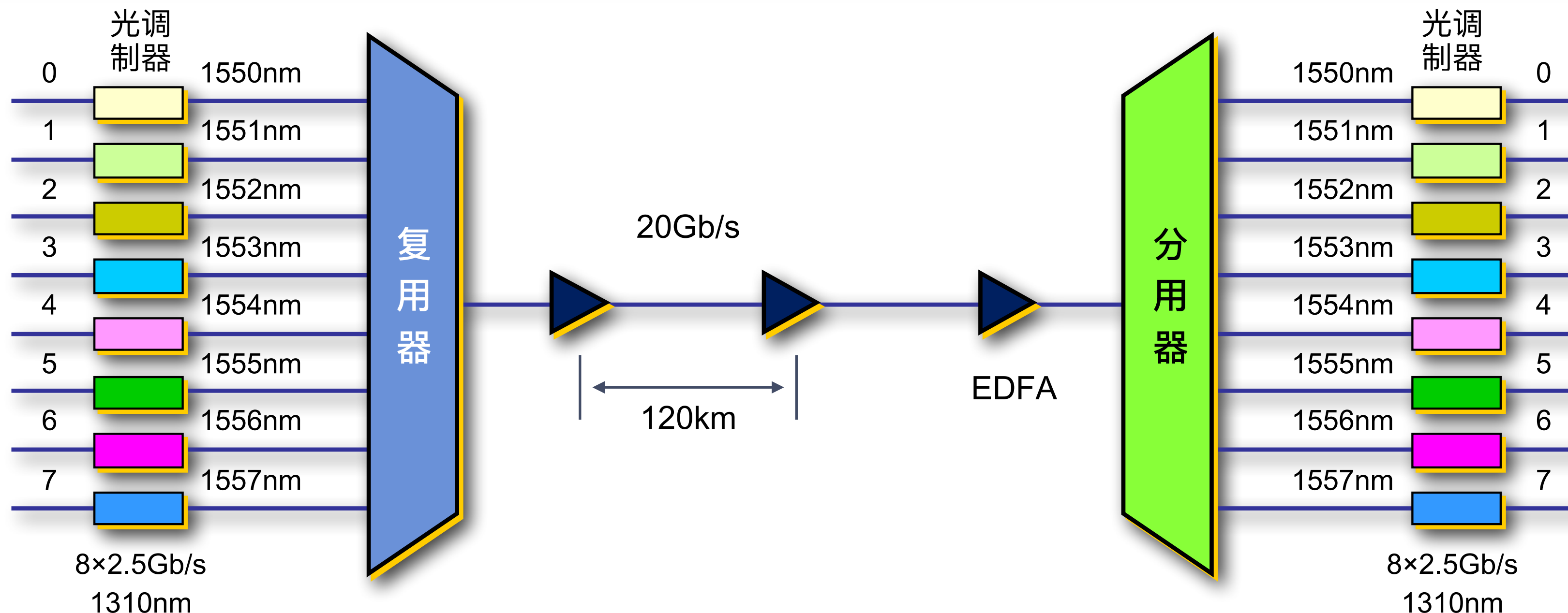
统计时分复用 (Statistic TDM)



- 数据发往复用器，复用器按顺序扫描，把复用器中的数据放入STDM帧中，一个**STDM帧满**了就发出。
- **STDM不是固定分配时隙**，而是按需**动态分配时隙**。
- **注意STDM帧的时隙数少于终端数，并且有站标识开销。**

波分复用 (Wavelength Division Multiplexing)

- 光波分复用是将两种或多种不同波长的光载波信号，在发送端经复用器把这些光载波信号汇合在一起，并耦合到光线路中同一根光纤中进行传输；
- 接收端经分用器将各种波长的光载波进行分离，这种复用方式称为波分复用。
- 可以是单向传输，也可以是双向传输。光的波分复用可理解为光的频分复用。



码分复用技术(Code Division Multiplexing)

- 物理层
 - 信道复用
 - 频分多路复用
 - 时分多路复用
 - 统计时分复用
 - 波分多路复用
 - 码分复用技术

- 码分多址 CDMA (Code Division Multiple Access) 是码分复用的一种方式：
 - 各用户使用经过特殊挑选的不同码型，因此彼此不会造成干扰；
 - 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。

码片序列(Chip Sequence)

- 物理层
- 信道复用
 - 频分多路复用
 - 时分多路复用
 - 统计时分复用
 - 波分多路复用
 - 码分复用技术

- 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。
- 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： $(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)$ 。

码片序列实现了扩频

- 物理层
 - 信道复用
 - 频分多路复用
 - 时分多路复用
 - 统计时分复用
 - 波分多路复用
 - 码分复用技术

- 假定S站要发送信息的数据率为 b 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 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 (DSSS) 。
 - 直接序列扩频DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum);
 - 跳频扩频FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)，依据跳频码，使载波的频率不停地跳变。

CDMA 的重要特点

- 物理层
- 信道复用
 - 频分多路复用
 - 时分多路复用
 - 统计时分复用
 - 波分多路复用
 - 码分复用技术

- 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。
- 码序列：结构可以预先确定，可重复产生和复制，具有某种随机序列的序列码：
 - “随机码”：就是无论这个码有多长都不会出现循环的现象；
 - “伪随机码”：在码长达到一定程度时会从其第一位开始循环。由于出现的循环长度相当大，例如CDMA采用42的伪随机码，重复的可能性为4.4万亿分之一，所以可以当成随机码使用。

码片序列的正交关系

- 物理层
- 信道复用
 - 频分多路复用
 - 时分多路复用
 - 统计时分复用
 - 波分多路复用
 - 码分复用技术

- 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)** 等于 0：

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

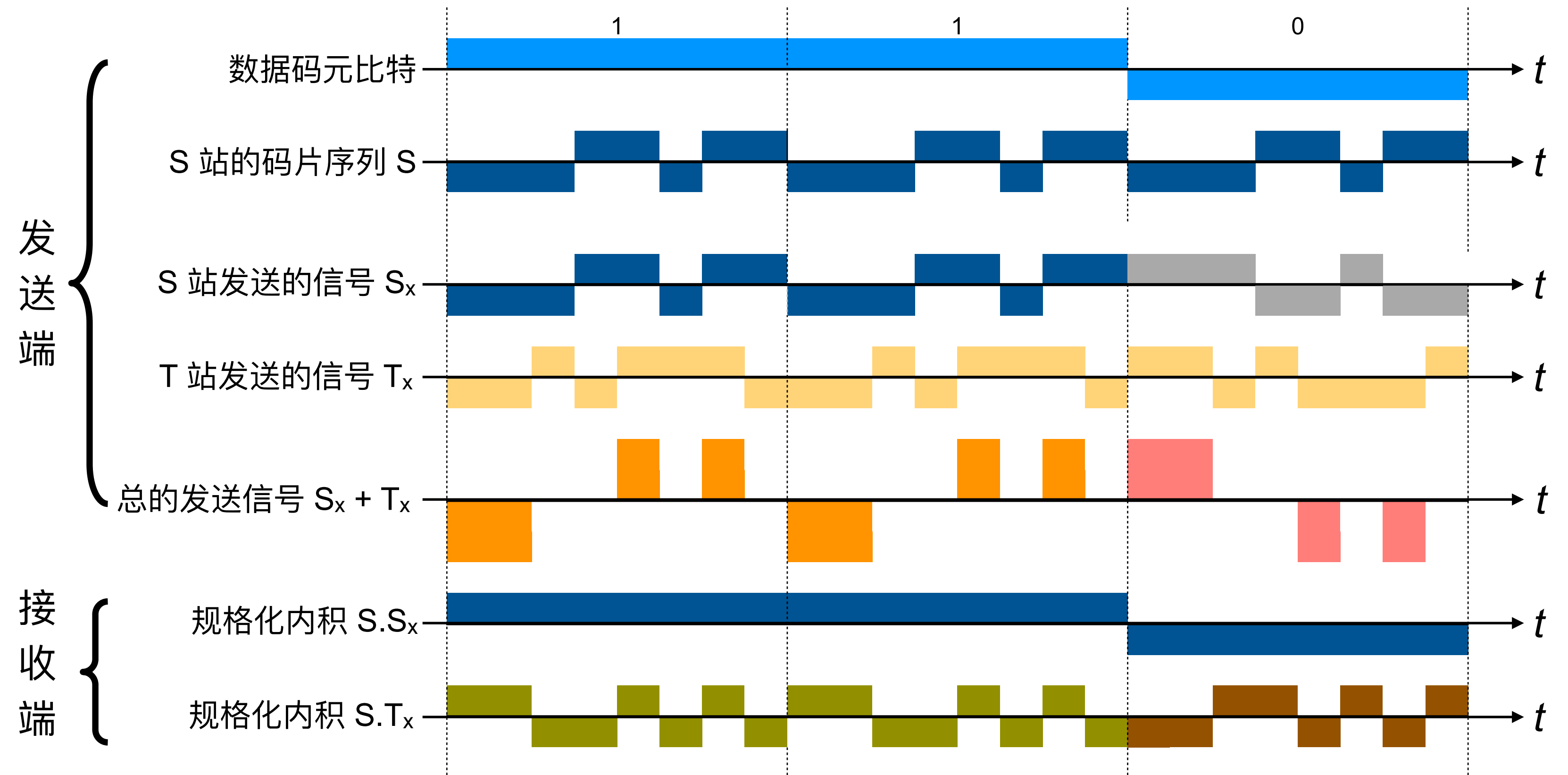
- 任何一个码片向量和该码片向量自己的规格化内积都是 1：

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

- 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

- 物理层
- 信道复用
 - 频分多路复用
 - 时分多路复用
 - 统计时分复用
 - 波分多路复用
 - 码分复用技术



例题

共有四个站进行码分多址CDMA通信。四个站的码片分别为：

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：

E: (-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1还是0？

想接收哪个站的数据，就用哪个站的码片与收到的结果求内积。

收到的码片序列和各班码片进行规格化内积运算：

$$A \cdot E \equiv \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 AE = \frac{1}{8} (1 - 1 + 3 + 1 - 1 + 3 + 1 + 1) = 1$$

$$B \cdot E \equiv \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 BE = \frac{1}{8} (1 - 1 - 3 - 1 - 1 - 3 + 1 - 1) = -1$$

$$C \cdot E \equiv \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 CE = \frac{1}{8} (1 + 1 + 3 + 1 - 1 - 3 - 1 - 1) = 0$$

$$D \cdot E \equiv \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 DE = \frac{1}{8} (1 + 1 + 3 - 1 + 1 + 3 + 1 - 1) = 1$$

结果：A发送了1，B发送了0，C没有发送，D发送了1。

小结

- 物理层
 - 信道复用
 - 频分多路复用
 - 时分多路复用
 - 统计时分复用
 - 波分多路复用
 - 码分复用技术

频分复用：不同用户，相同时间，不同频带

时分复用：不同用户，不同时间，相同频带

波分复用：不同用户，相同时间，不同波长

码分复用：不同用户，相同时间，不同码片

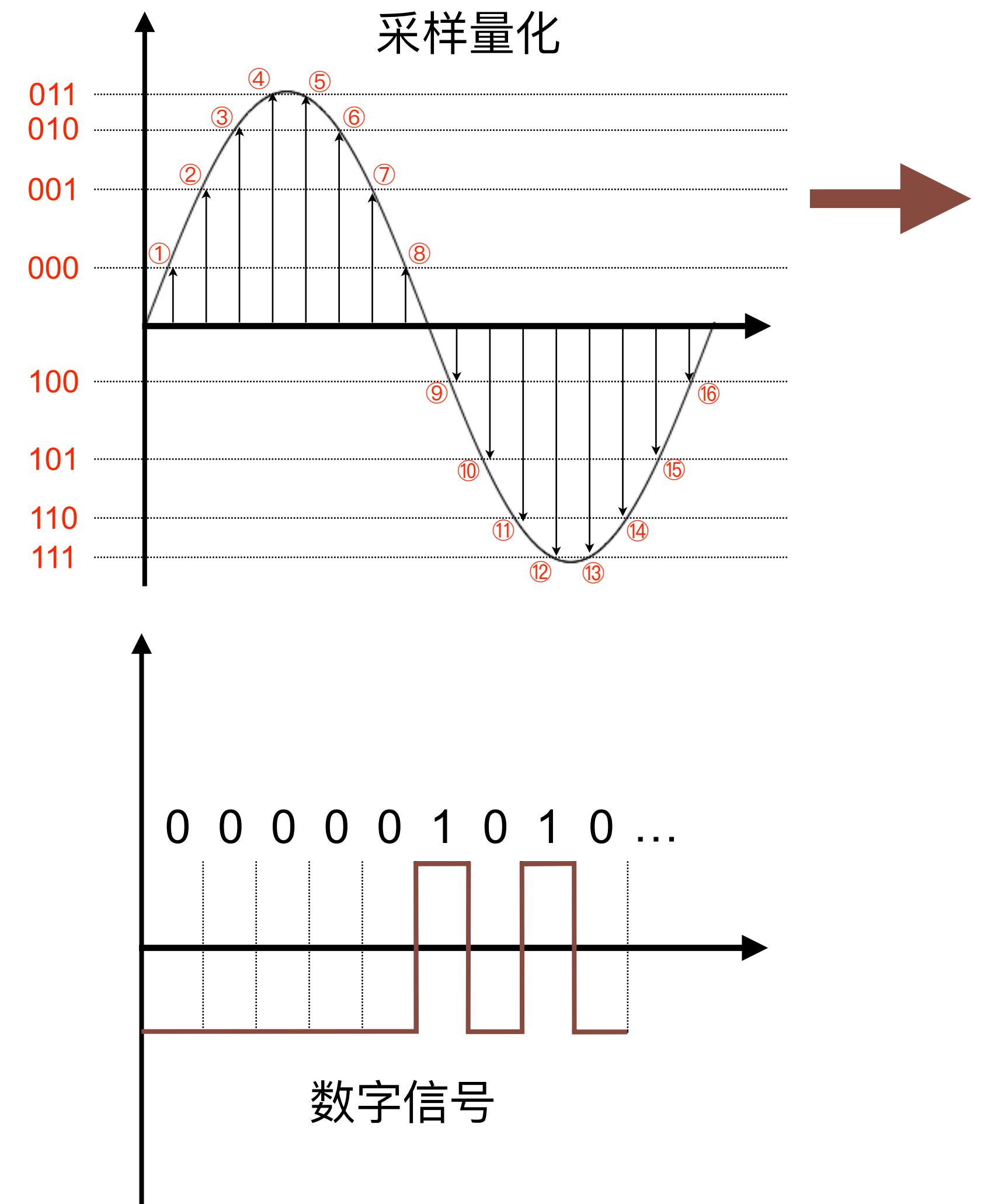
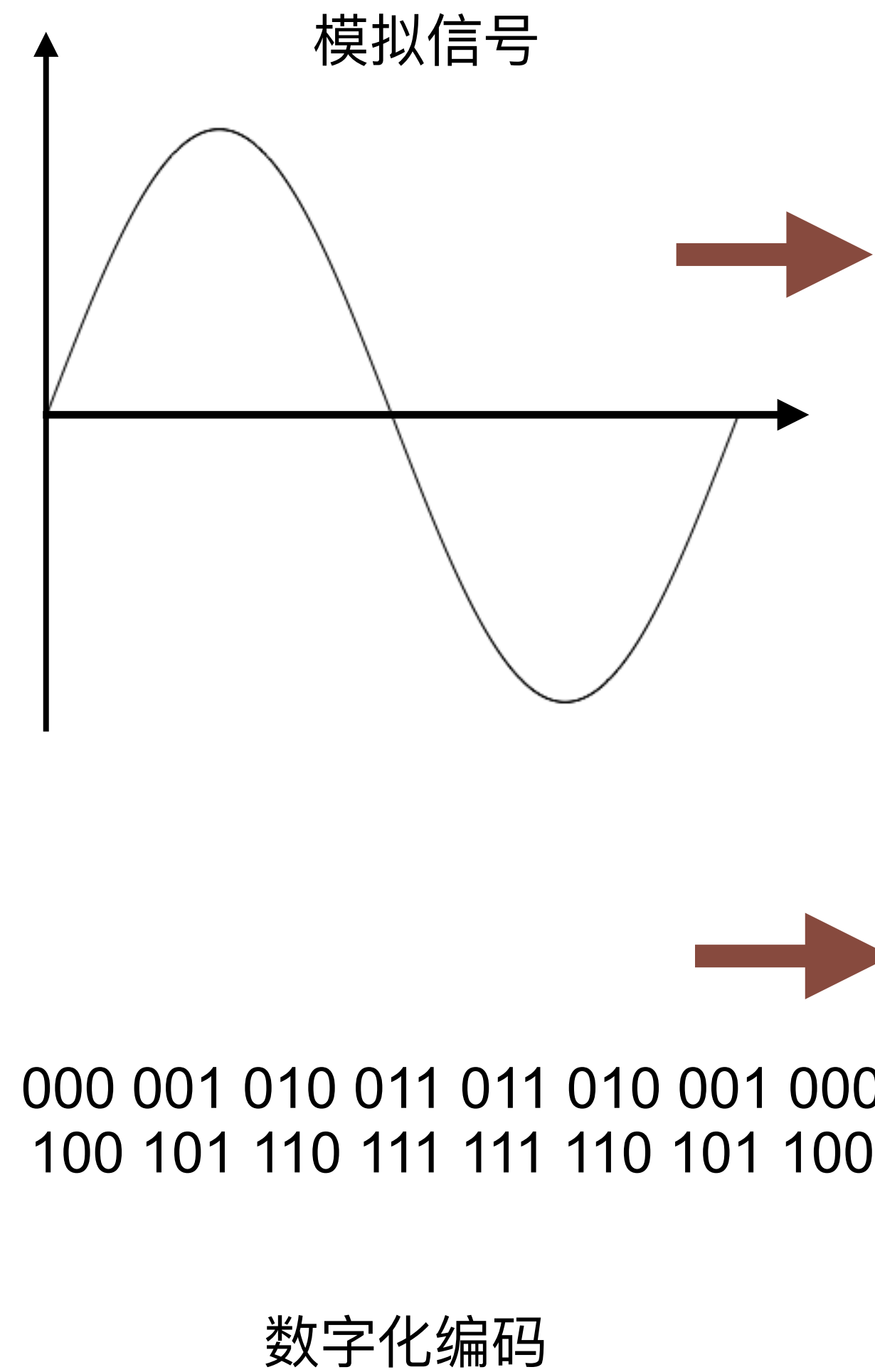
数字传输系统

- 物理层
 - 数字传输系统
 - PCM脉码调制
 - E1与T1
 - 存在的缺点
 - SONET
 - SDH

- 在早期电话网中，市话局到用户电话机的用户线是双绞线电缆，长途干线采用的是频分复用 FDM 的模拟传输方式。
- 数字通信无论是在传输质量上还是经济上都有明显的优于模拟通信。
- 目前，长途干线大都采用时分复用 PCM 的数字传输方式：
 - 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脉码调制

- 物理层
 - 数字传输系统
 - **PCM脉码调制**
 - E1与T1
 - 存在的缺点
 - SONET
 - SDH



E1与T1（时分复用）

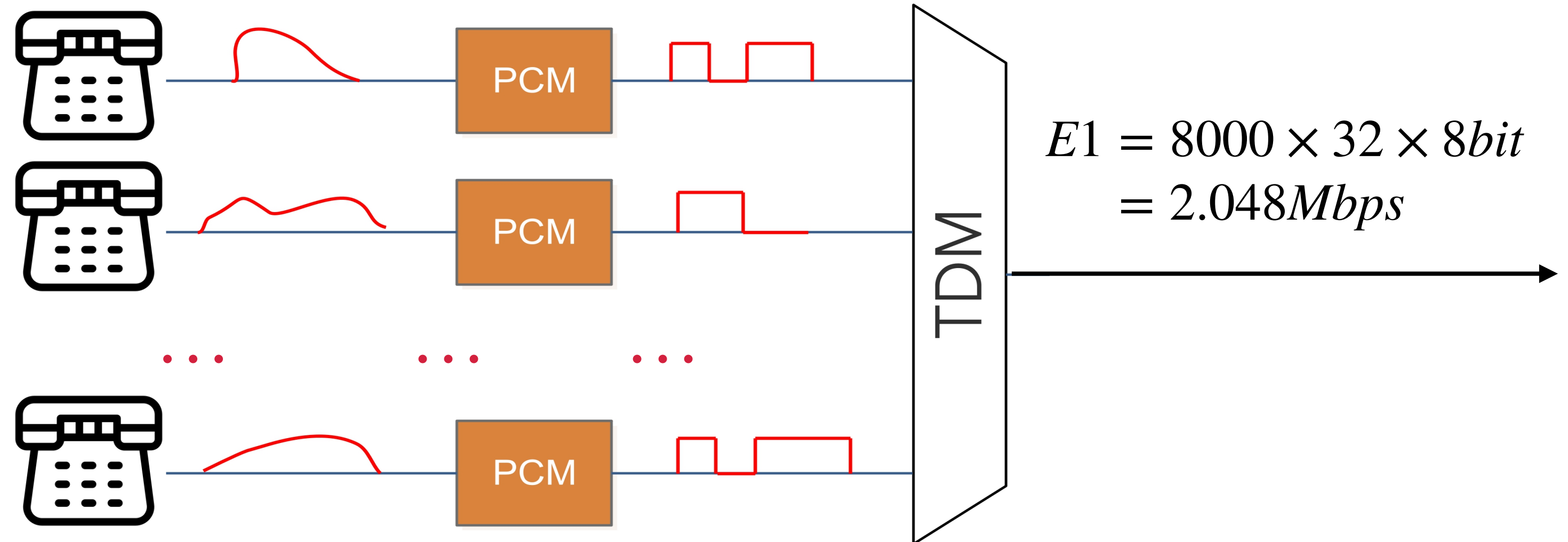
- 物理层
 - 数字传输系统
 - PCM脉码调制
 - E1与T1
 - 存在的缺点
 - SONET
 - SDH

- 由于历史上的原因，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）；
 - E1 的速率是 2.048 Mbit/s；
 - T1 的速率是 1.544 Mbit/s。
- 我国采用的是欧洲的 E1 标准。
- 当需要有更高的数据率时，可采用复用的方法。

E1速率计算

- 物理层
 - 数字传输系统
 - PCM脉码调制
 - E1与T1
- 存在的缺点
- SONET
- SDH

- 每秒8000个帧，每个帧32个时隙（30个语音时隙，1个同步时隙，1个信令时隙），每个时隙8bit。



T1速率计算

- 物理层
 - 数字传输系统
 - PCM脉码调制
 - E1与T1
 - 存在的缺点
 - SONET
 - SDH

- 电话带宽4kHz，每秒采样8000次，并用128级量化，即 2^7 ，也就是7bit表示一个采样（一个语音帧），实际编码时，每个采样加了1bit信令位。因此，每个采样的数据为：8 bit。

- T1用24路话音复用，复用后的帧加1bit帧同步，故一个帧的数据为：

$$8bit \times 24 + 1bit = 193bit$$

- 采样频率为8MHz，每秒产生8000个帧（采样周期为125μs），故T1信道的数据率为：

$$193bit \times 8000 = 1.544Mbps$$

旧的数字传输系统存在许多缺点

- 物理层
 - 数字传输系统
 - PCM脉码调制
 - E1与T1
 - 存在的缺点
 - SONET
 - SDH

- 以下两个方面的缺点：
 - 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，国际范围的基于光纤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，各国的数字网主要采用准同步方式。当数据传输的速率很高时，收发双方的时钟同步就成为很大的问题。

同步光纤网 SONET

- 物理层
 - 数字传输系统
 - PCM脉码调制
 - E1与T1
 - 存在的缺点
 - SONET
 - SDH

- 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。SONET 为光纤传输系统定义了同步传输的线路速率等级结构：
 - 对电信信号称为第 1 级同步传送信号 STS-1 (Synchronous Transport Signal), 其传输速率是 51.84 Mbit/s。
 - 对光信号则称为第 1 级光载波 OC-1 (OC 表示 Optical Carrier)。
 - 现已定义了从 51.84 Mbit/s (即 OC-1) 一直到 9953.280 Mbit/s (即 OC-192/STS-192) 的标准。

同步数字系列 SDH

- 物理层
 - 数字传输系统
 - PCM脉码调制
 - E1与T1
 - 存在的缺点
 - SONET
 - 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。**其主要不同点是：**
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级 / 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

- 物理层
 - 数字传输系统
 - PCM脉码调制
 - E1与T1
 - 存在的缺点
 - SONET
 - SDH

- 使不同的数字传输体制在 STM-1 等级上获得了统一。
- 第一次真正实现了数字传输体制上的世界性标准。
- 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。

本章总结

