

## 第二章 物理层

# 调制技术



- 调制机制使用信号来传输比特

- **Baseband Transmission**（基带传输）：信号的传输占据了传输介质从零到最大值之间的全部频率。这是有线传输介质普遍采用的一种方法，比如以太网。

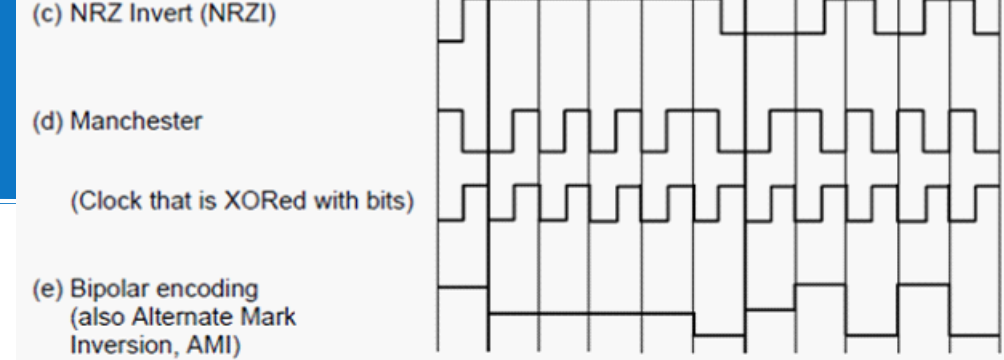
- **Passband Transmission**（**通带**传输）：通过调节信号的振幅、相位或频率来传输比特

- 特点：信号占据了以载波信号频率为中心的一段**频带**



# 基带传输

- ❑ 直接将数据比特转化为信号，比如用高电压表示1。。。
- ❑ 实际上，出于工程考虑，很少采用这样简单的方式，需要更复杂的表示方法。
- ❑ 这就是Line codes（线路编码）：发送 **symbols**（样本、符号），一个样本可传送1个或多个比特



## □ 这张图展示了几种线路编码方法

- 不归零NRZ：高电平表示“1”，低电平表示“0”，非常简单，但是很少使用，如果出现连续的“0”或连续的“1”，随着时间漂移的累计，可能接收方完全无法分辨出到底是几个“1”或“0”
- 不归零逆转NRZI：做了改进，在比特时间中间做电压的跳变，表示“1”，无跳变，则表示“0”。连续1问题得到了解决，连续0问题仍然存在。在USB采用。

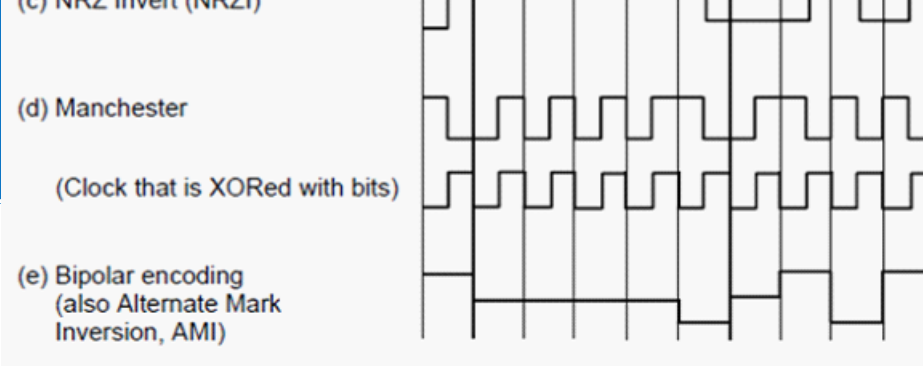
## ➤ 曼彻斯特编码

✓ 在比特时间中间，电压从高跳变到低，表示“1”，反之从低跳变到高，则表示“0”。解决了连续0和连续1的问题。

✓ 在10Base以太网中采用。但因为在比特时间中跳变，编码效率只有50%。

## ➤ 双极编码（交替标记逆转AMI）

- 两级电压的交替出现表示“1”，不出现则表示“0”
- 实现了信号的平衡





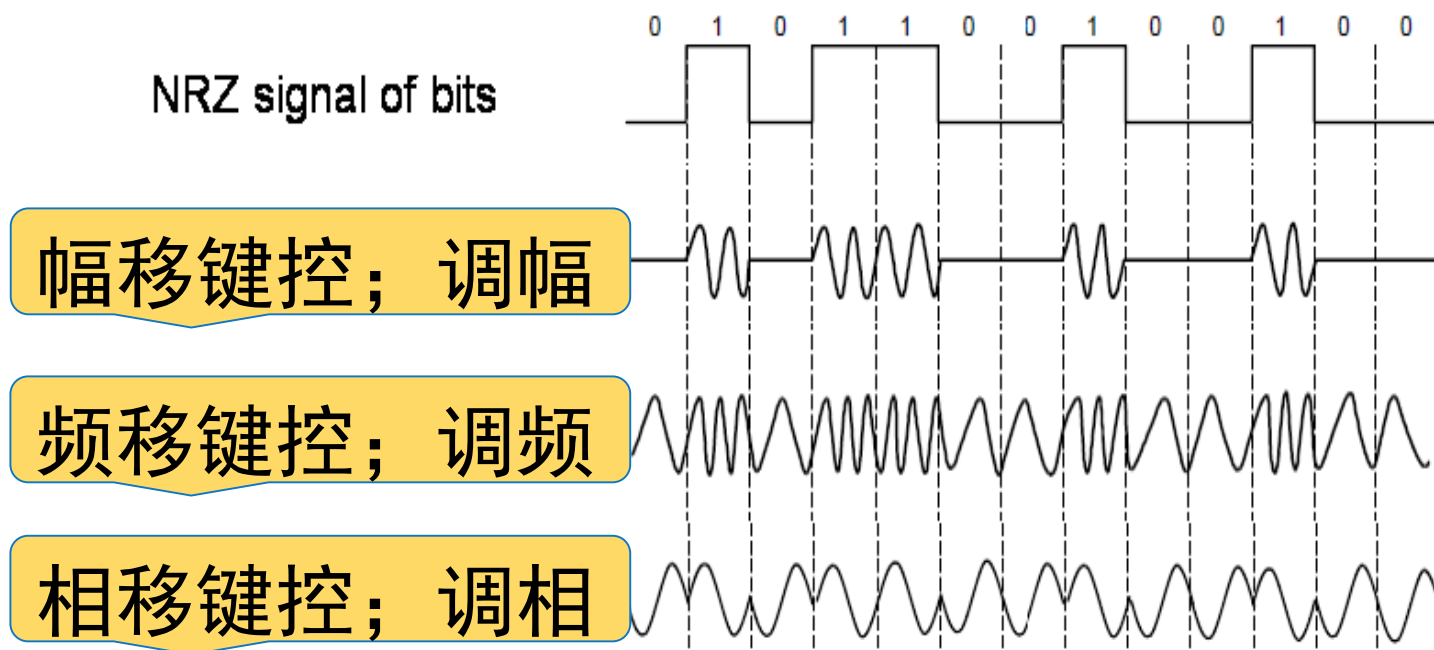
## 还有一种知名的编码叫

- 4B/5B：4比特数据被映射为1个5比特模式（抛开连续0的组合，解决了连续零问题）
- 相比曼彻斯特编码，编码效率提高到80%



# 通带传输

- 一般情况下，我们在一个信道上发送信息所使用的频率范围并不是从零开始的，而是在某个频段上通过调节信号的**振幅、相位或频率**来传输比特。这就是通带传输。





- ❑ 单独采用上述调制方法，一个符号只有两种形式或两个级别，即一个符号只能传输一个比特。
- ❑ 为了获得更高的数据传输速率，即数字带宽，我们可以把上述这些调制模式综合起来使用，以便让获得更多的信号模式，使每个符号传输更多的比特，即增加公式中的  $n$ ，从而增加传输速率。因为我们知道，当物理带宽一定的时候，采样率也一定了，只能增加  $n$

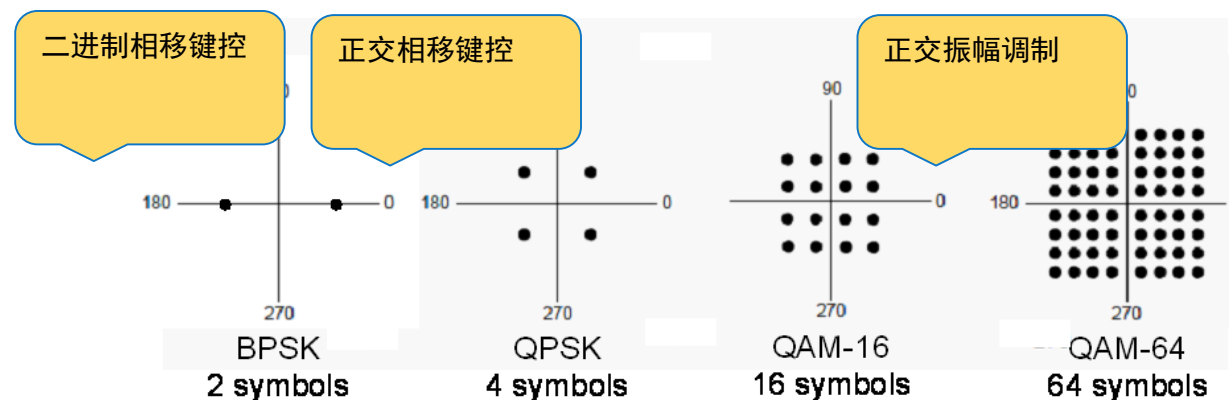
$$C = B \times \log_2 n$$





# 信号星座：不同的基本调制方法的组合

- 我们可以用星图座来表示某种调制方式中 信号的呈现模式。
- 比如：QAM-16，**QAM**是正交振幅调制的英文缩写，**16**代表这种调制方式中有16种不同振幅和相位的信号组合模式，也意味着一个符号可以传输4个比特





## 星号星座的更多解释

- ❑ 在正交相移键控QPSK中，使用了4个相位角度，每次采样（码元、样本）可表达的级别有4个，即每次码元可表示2比特。
- ❑ QAM-64（正交振幅调制，Quadrature Amplitude Modulation-64）允许 64 个不同的信号组合，即64个信号级别，所以每个码元可传输6 bits。

$$C = B \times \log_2 n$$



# 什么是码元？

- 这里引出了一个重要的概念：**码元**
- **码元**是承载信息量的基本信号单位。
- 在数字通信中常常用**时间间隔相同**的符号来表示一个二进制数字，这样的时间间隔内的信号称为（二进制）码元。



- 在使用时间域（或简称为时域）的波形表示数字信号时，代表不同离散值的基本波形称为码元。
- 1秒钟能够发送的码元的个数，叫做波特率，所以也叫码率。
  - 每秒钟信号变化的次数



# 波特率和比特率

- 我们也用符号率、采样率来称呼波特率：每秒钟信号变化的次数
- 比特率（位传输率、数据传输速率、数字带宽）与波特率的关系是：

$$C = B \times \log_2 n$$

其中 C：比特率； B：波特率；

n：信号呈现的个数，为2的整数倍（有例外）。



# 格子架编码调制 (TCM)

- ❑ 为了追求高的数字带宽，总是想办法提高信号级别，即星号星座图上的星点密密分布，但是，这导致出错率的上升。
- ❑ 为了降低高速调制错误，在每个样本中采用一些额外的位用作纠错，剩下的位才用来传输数据，这种机制叫格子架编码调制 **TCM (Trellis Coded Modulation)**。



## 举个例子

- 在 V. 32调制标准中，波特率是2400，采用了QAM-32，每码元传输5个比特，但其中的1个比特用来做奇偶校验，所以，只有4个比特用于传输数据，那么根据公式，数据传输率只有 $2400 \times 4 = 9600\text{bps}$



## 视频中插入练习题（填空）

□ 一个采用了QAM-64调制的系统，如果波特率是2400，试问：

（1）系统能够提供的数字带宽是\_\_\_\_\_bps。

（2）如果每个采样中的1位（一般的星点）用于检错，这种情况下，系统能够提供的数字带宽是 \_\_\_\_\_bps。

□ 答案

➤ （1）14400bps

➤ （2）12000bps





## 小结

- 传输信号的两种方式：基带传输和通带传输
- 线路编码方法包括NRZ、NRZI、曼彻斯特编码、双极性编码等
- 基本调制方法：调幅、调频、调相
  - 工程应用：综合使用
  - 信号星座
- 数字带宽跟波特率、信号级别之间的关系
$$C = B \times \log_2 n$$

# 致谢

本课程课件中的部分素材来自于：（1）清华大学出版社出版的翻译教材《计算机网络》（原著作者：Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall）；（2）思科网络技术学院教程；（3）网络上搜到的其他资料。在此，对清华大学出版社、思科网络技术学院、人民邮电出版社、以及其它提供本课程引用资料的个人表示衷心的感谢！

对于本课程引用的素材，仅用于课程学习，如有任何问题，请与我们联系！