

Digital modulation

Transmitted radio signal

$$s(t) = a(t) \cos(2\pi f_0 t + \theta(t))$$

ASK

FSK

PSK

QAM

| | |
|-------------------------|---|
| Carrier | f_0 |
| Instantaneous amplitude | $a(t)$ |
| Instantaneous phase | $\theta(t)$ |
| Instantaneous frequency | $f(t) = f_0 + \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta(t)}{dt}$ |

M 是调制的级数

Properties of the modulation

- The signals $s_i(t)$ (associated to each symbol) are assumed to be of finite duration over $[0, T_s]$. 码元
- We define the **signal energy** E_i of the signal as:
$$E_i = \int_0^{T_s} |s_i(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{+\infty} |S_i(f)|^2 df$$
- In practice, finite energy signals are used.
- Average energy $E_s = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M E_i$ [Joules] $m = \log_2 M$
- Normalized average energy per transmitted bit $E_b = \frac{E_s}{\log_2 M}$ [Joules]
- Average power emitted per unit of time $P = \frac{E_s}{T_s} = \frac{E_b}{T_b}$ [Watts]

Modulated signal parameters

因为一个 M 进制码元携带 $\log_2 M$ 比特的信息量 [见式 (1.4-4)], 所以码元速率和信
息速率有以下确定的关系, 即

$$R_b = R_b \log_2 M \quad (\text{b/s}) \quad (1.5-4)$$

- Bit rate D_b : number of bits of information transmitted / time unit

比特率 $D_b = \frac{1}{T_b}$ [bits/s] 频率

- Modulation speed R : number of signals transmitted / time unit

波特率 $R = \frac{1}{T_s} = \frac{1}{mT_b} = \frac{D_b}{\log_2 M}$ [bauds]

- Occupied band of the modulated signal B [Hz]

频带利用率

- Spectral efficiency η : number of useful bits transmitted / unit of time and band

$$\eta = \frac{D_b}{B} = \frac{\log_2 M}{BT} \quad [\text{bits/s/Hz}]$$

误码率 P_e , 是指错误接收的码元数在传输总码元数中所占的比例, 更确切地说, 误码率是码元在传输过程中被传错的概率, 即

$$P_e = \frac{\text{错误码元数}}{\text{传输总码元数}} \quad (1.5-7)$$

误信率 P_b , 又称误比特率, 是指错误接收的比特数在传输总比特数中所占的比例, 即

$$P_b = \frac{\text{错误比特数}}{\text{传输总比特数}} \quad (1.5-8)$$

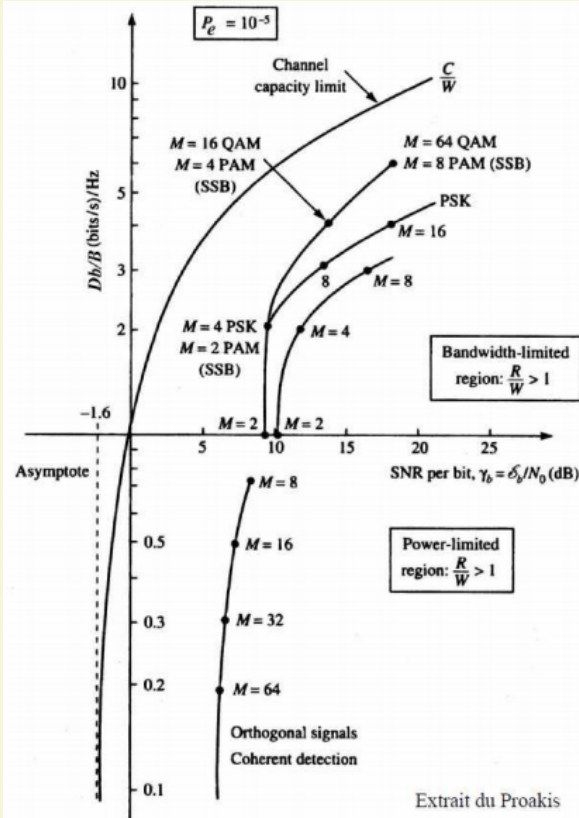
显然, 在二进制中有 $P_b = P_e$ 。

频谱密度 傅里叶变换
能量谱密度 积分
功率谱密度 积分除以周期

inter symbol interference

误码是由接收端抽样判决器的错误判决造成的, 而造成错误判决的原因主要有两个: 一个是码间串扰, 另一个是信道加性噪声的影响。所谓码间串扰 (ISI) 是由于系统传输总特性 (包括收、发滤波器和信道的特性) 不理想, 导致前后码元的波形畸变、展宽, 并使前面波形出现很长的拖尾, 蔓延到当前码元的抽样时刻上, 从而对当前码元的判决造成干扰。码间串扰严重时, 会造成错误判决, 如图 6-8 所示。

Spectral efficiency Shannon limit/capacity



Comparison for $P_{es} = 10^{-5}$

Spectral efficiency $\eta = \frac{D_b}{B}$

$$SNR_{dB} = 10 \lg(SNR)$$

Shannon limit

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_b} \right)$$

$$= B \log_2 \left(1 + \frac{E_b D_b}{N_0 B} \right)$$

$$\frac{C}{B} = \log_2 \left(1 + \frac{E_b D_b}{N_0 B} \right)$$

$$x = \log_2 \left(1 + \frac{E_b}{N_0} x \right)$$

$$1 + \frac{E_b}{N_0} x = e^{x \ln 2} \cong 1 + x \ln 2$$

$$\frac{E_b}{N_{0lim}} = \ln 2 = 0,69 = -1,6 \text{ dB}$$

N_0 : 噪声功率谱密度

SNR

$$C = B \cdot \log_2(1 + SNR)$$

其中:

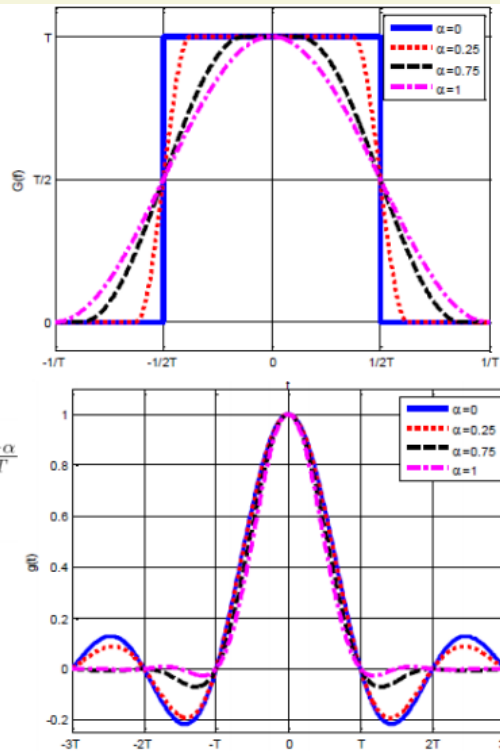
- C 是信道容量, 即最大理论数据传输速率 (以比特每秒为单位)。
- B 是信道带宽 (以赫兹为单位)。
- SNR 是信噪比 (Signal-to-Noise Ratio), 表示信号功率与噪声功率之比。

Raised cosine filter

- Large waveform family verifying the Nyquist criterion.
- α is called the roll-off factor.
- The bandwidth is $B = \frac{1+\alpha}{T}$

$$G(f) = \begin{cases} \frac{T}{2} \{ 1 - \sin [\frac{\pi}{2\alpha} (2|f|T - 1)] \} & \frac{1-\alpha}{2T} \leq |f| \leq \frac{1+\alpha}{2T} \\ T & 0 \leq |f| \leq \frac{1-\alpha}{2T} \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases}$$

$$g(t) = \frac{\sin \left(\frac{\pi t}{T} \right)}{\frac{\pi t}{T}} \cdot \frac{\cos \left(\frac{\pi \alpha t}{T} \right)}{1 - \left(\frac{2\alpha t}{T} \right)^2}$$



`alpha`: RRC滚降因子, 控制脉冲形状的滚降特性。

`T`: 符号间隔时间 (Symbol Interval Time)。

`nech`: 生成的脉冲形状的离散点数。

`Tmax`: 时间范围。

communication modulation

Trade-off between:

visibility - bit rate - distance

可见性, 比特率, 远距离传输, 三者权衡

波包恒定constant envelope

CPM

相位连续性: 在连续相位调制中，相位随时间的变化是连续的，而不是突变的。这有助于减小信号的带宽，提高系统的抗多径传播和抗干扰性能。

波形连续性: CPM 信号的波形通常是平滑的，没有急剧的跳变。这也有助于减小信号的带宽，使其更容易传输。

符号间相互关联: CPM 的不同符号之间存在一定程度的相互关联，这意味着在解调时需要考虑先前符号的信息。这种关联性通常通过调制指数来控制，其中大的调制指数会导致更强的相互关联，而小的调制指数则会减小相互关联。

抗多径传播: 由于相位连续性和波形连续性，CPM 对多径传播具有一定的鲁棒性，能够更好地应对多径传播引起的时延扩散。

带宽效率: CPM 通常比传统的调幅调制（如 QAM）具有更好的带宽效率，因为它将信息编码到相位中，而不是幅度或频率。

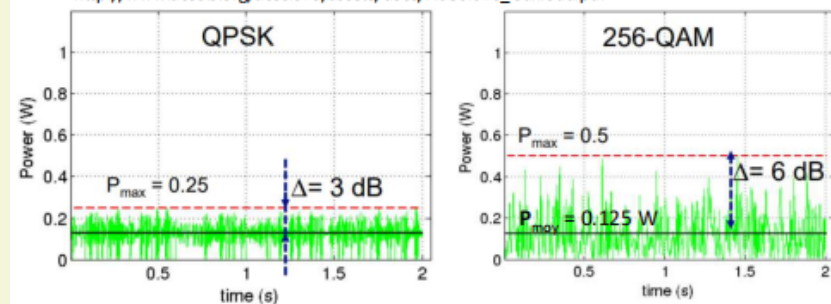
调制指数: 调制指数是一个关键参数，用于控制 CPM 的性能。它决定了相位变化的速度。常见的调制指数包括 GMSK（Gaussian Minimum Shift Keying）的 0.5 和 QPSK（Quadrature Phase Shift Keying）的 1.0。

特点

Constant envelope modulation 幅度，频率无变化

- The transmitted power is constant (the maximum power is the average one)

http://www.acosis.org/acosis16/assets/docs/ACOSIS16_Guilloud.pdf



Linear Modulation Envelope

Phase continuity

- Good spectral efficiency.

Memory

- Fit to turbo decoding.

- Baseband signal model:

$$s(t; \underline{\alpha}) = \sqrt{2E_s/T} \times \exp(j(\varphi(t; \underline{\alpha}) + \varphi_0))$$

- Phase

$$\varphi(t; \underline{\alpha}) = 2\pi \sum_{i=-\infty}^{+\infty} h_{\bar{i}} \alpha_i q(t - iT)$$

- T : Symbol time duration
- α_i : M -ary symbols, $\alpha_i \in \{-M, \dots, +M\}$,
- $h_{\bar{i}}$: modulation index, $\bar{i} = \text{mod}(i, N_h)$

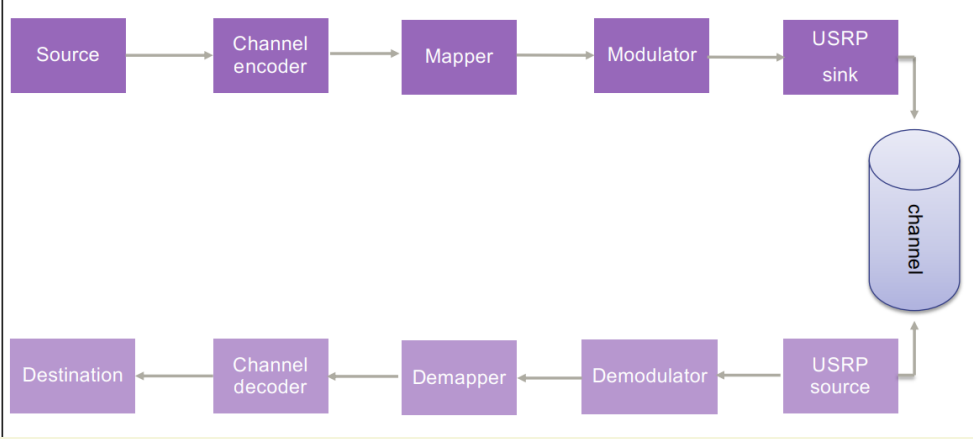
$$q(t) = \begin{cases} 0, \\ \int_0^t g(\tau) d\tau, \\ \frac{1}{2} \end{cases}$$

- $g(t)$: Frequency pulse, $0 < t < T$

特别的、当 $L=1$ 时，CMP被称为连续相位频移键控（CPFSK）。进一步地，如果 $M=2$ ，称为最小频移键控(MSKMinimum Shift Keying)。

- Instantaneous frequency:

$$\frac{\partial \varphi(t; \underline{\alpha})}{\partial t} = 2\pi \sum_{i=-\infty}^{+\infty} h_{\bar{i}} \alpha_i g(t - iT)$$



UHD universal hardware device

- UHD blocks:

UHD: USRP Sink
Device Address: add....10.119
Mb0: Clock Source: External
Mb0: Time Source: External
Samp Rate (Sps): 512k
Ch0: Center Freq (Hz): 434M
Ch0: Gain Value: 0
TSB tag name:

| | | | |
|-----------------------|-----------------------|---------------|---------------|
| Device Address | "addr=192.168.10.119" | | |
| General | RF Options | Advanced | Documentation |
| Ch0: Center Freq (Hz) | | 434000000 | |
| Ch0: Gain Value | | 0 | |
| Ch0: Gain Type | | Absolute (dB) | |

UHD: USRP Source
Device Address: add....10.115
Sync: unknown PPS
Mb0: Clock Source: External
Mb0: Time Source: External
Samp Rate (Sps): 512k
Ch0: Center Freq (Hz): 434M
Ch0: Gain Value: 0

在计算机网络中，UDP（User Datagram Protocol）是一种传输层协议，它提供了一种简单的面向无连接的数据传输服务。在UDP中，“UDP source”指的是UDP协议中数据包（Datagram）的源端口号。

UDP数据包的基本结构包括源端口号、目标端口号、长度和校验和等字段。其中，源端口号表示数据包的发送方使用的端口号。端口号是一个16位的整数，用于标识应用程序或服务，以便数据包在目标设备上被正确地路由到相应的应用程序或服务。

- Source blocks:

Audio Source
Sample Rate: 512k

File Source
File: ...ai/Desktop/test1.txt
Repeat: Yes

Vector Source
Vector: 0, 0, 0
Tags:
Repeat: Yes

Message Source

UDP Source
IP Address: 127.0.0.1
Port: 1.234k
Payload Size: 1.472k
Null Pkt is EOF: True

- Sink blocks:

Audio Sink
Sample Rate: 512k

File Sink
File:
Unbuffered: Off
Append file: Overwrite

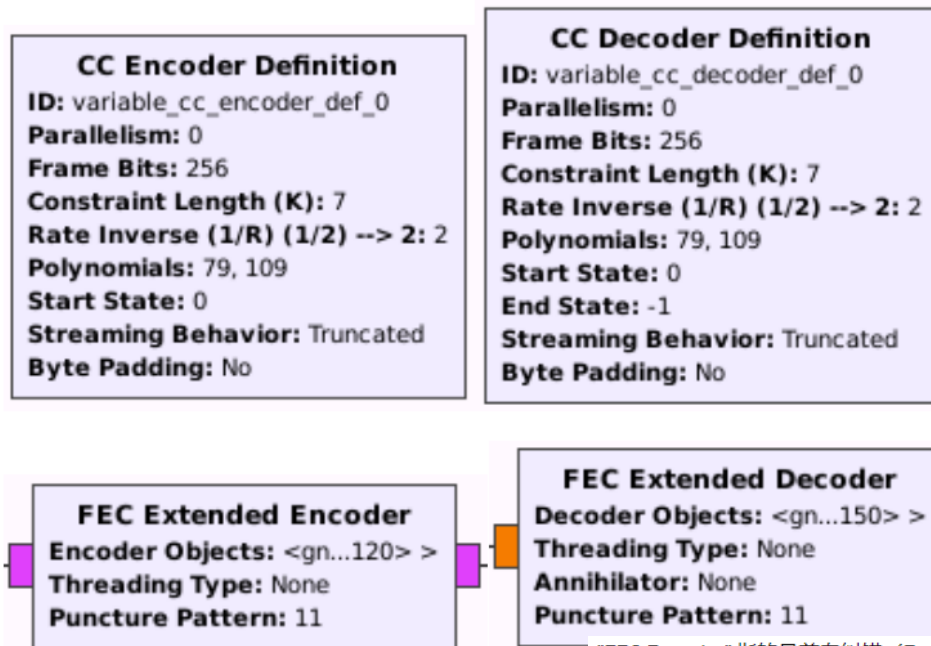
Vector Sink

Packet Sink
Sync Vector:
Target Message Queue:
Threshold: -1

UDP Sink
Destination IP Address:
Destination Port:
Payload Size: 1.472k
Send Null Pkt as EOF: True

在通信领域，"CC Encoder" 可能指的是卷积码 (Convolutional Code) 编码器。卷积码是一种纠错编码技术，用于在数字通信中增强数据的可靠性。这种编码器通常被用于添加冗余信息，以便在传输过程中发生误差时能够更好地恢复原始数据。

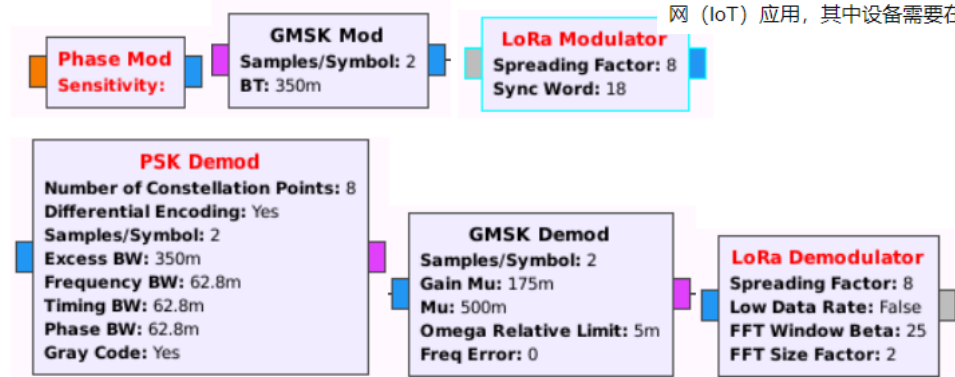
-Channel coding blocks:



"FEC Encoder" 指的是前向纠错 (Forward Error Correction, FEC) 编码器。前向纠错是一种通信技术，通过在发送端添加冗余信息，使得接收端在检测到或纠正一定数量的错误时能够恢复丢失或受损的数据。

- Modulation/demodulation blocks:

LoRa (Long Range) 调制是一种用于低功耗、长距离通信的调制技术。LoRa技术被广泛用于物联网 (IoT) 应用，其中设备需要在低功耗条件下进行远距离通信。

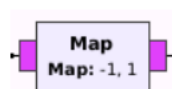


"Framing block" 通常指的是在通信系统中用于将数据划分为逻辑帧的模块或处理单元。帧是一组有序的数据块，通常包含了用于同步、标识、错误检测和纠正的附加信息。在通信中，数据通常以帧的形式进行传输，而 "framing block" 负责处理这些帧的创建和解析。

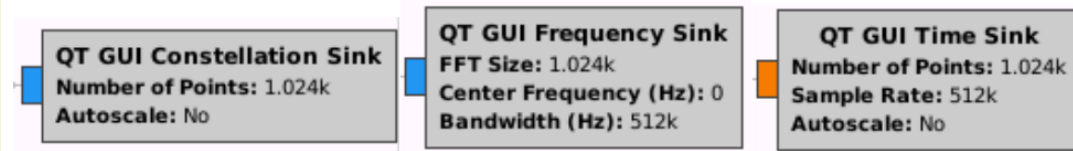
- Framing blocks:



- Mapping block:



- Visualization blocks:



- Data type converters:

