BUPT

调制与软解调

Outline

1. 常用的调制方式
2. 软解调

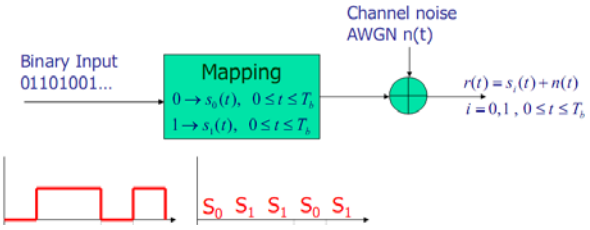
通原I中讲的调制

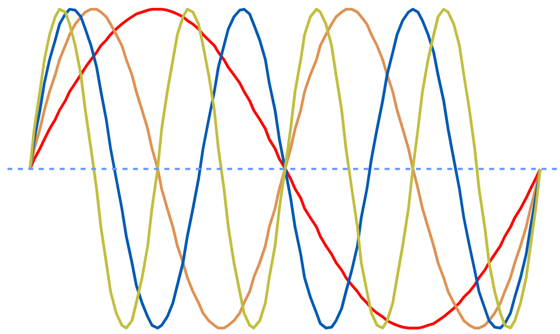
❖ 基带调制

- 信号所占频带从直流或低频开始，例如同轴电缆和双绞线等有线信道，传送脉冲波形（调幅度PAM、位置PPM、宽度PDM）

❖ 频带调制

- 通过正弦型载波调制成带通信号，例如无线通信、光通信



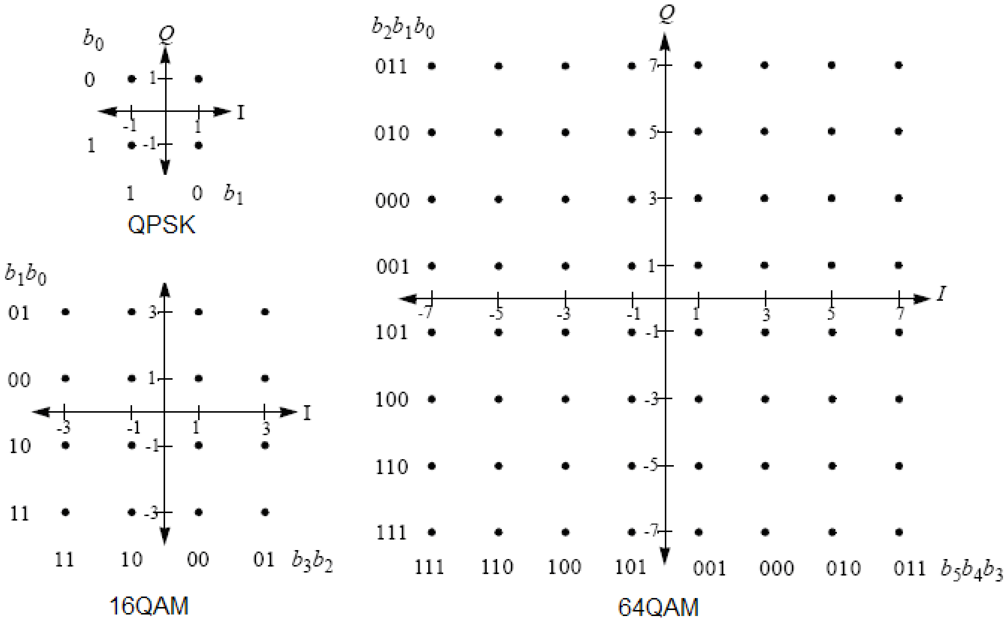


❖ 现实多数无线通信系统都采用频带调制

- BPSK、QPSK、16QAM、64QAM、256QAM (WiFi、3G、4G…)
- GMSK （GSM）
- DPSK、DQPSK（光传输系统、802.11b、802.11ad）
- GFSK（蓝牙）
- OQPSK（zigbee）
- 8PSK、16APSK、32APSK（DVB-S2）

思考： 各种系统选择调制方式时要考虑哪些因素？

LTE的调制方式

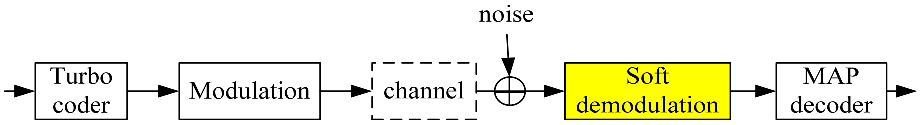


Outline

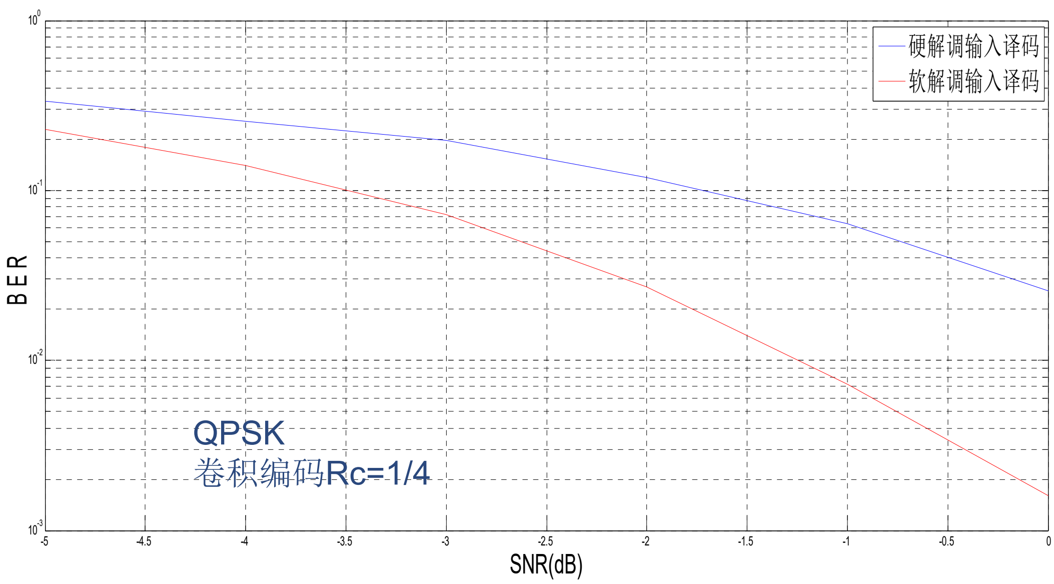
1. 常用的调制方式
2. 软解调

❖ 本课中讲的是相关解调后的判决问题
- 硬解调(hard demodulation): 硬判决
- 软解调(soft demodulation): 软判决

❖ 关于译码
- 软译码一定需要解调输出的是软判决的信息



❖ 长啥样？
- 硬判决后：1001011….,（或者把前面的0换成-1也行，反正二元）
- 软判决后： -1.8 -1.3 1.5 -1.6 -1.1 -2.0 10 3.4 8.3 2.5



软信息的定义

❖ SISO系统模型

- AWGN 信道　　$y = x + n$
- Rayleigh信道　　$y = hx + n$

总的噪声功率包括实虚部

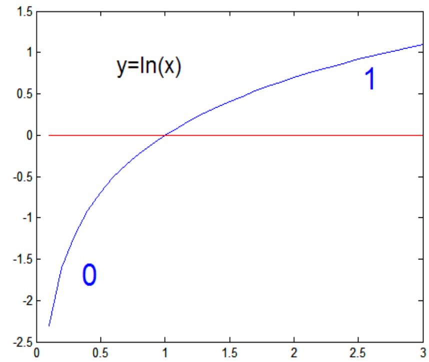
❖ 复高斯白噪的PDF

$$f(n) = \frac{1}{\pi\sigma^2}\exp(-\frac{1}{\sigma^2}|n|^2) = \frac{1}{\pi\sigma^2}\exp(-\frac{1}{\sigma^2}|y - hx|^2)$$

❖ 每个bit的软信息

- 符号中每个比特的Logarithm Likelihood Ratio (LLR)

$$\Lambda_{MAP}(k) = \log\frac{\Pr(c(k)=0|y)}{\Pr(c(k)=1|y)}$$

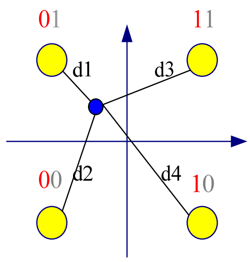


软信息的定义

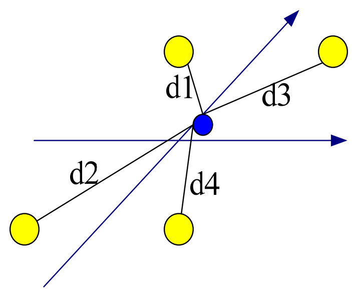
$$y = hx + n$$

x是调制后的离散的有限的复数符号，
c(k) 是某个接收符号中的第k个比特

$$\Lambda_{MAP}(k) = \log\frac{\Pr(c(k)=0|y)}{\Pr(c(k)=1|y)} = \log\frac{\sum_{\hat{x}=S_0^{(k)}} f(y - h\hat{x})}{\sum_{\hat{x}=S_1^{(k)}} f(y - h\hat{x})} = \log\frac{\sum_{\hat{x}=S_0^{(k)}} \exp(-\frac{1}{\sigma^2}|y - h\hat{x}|^2)}{\sum_{\hat{x}=S_1^{(k)}} \exp(-\frac{1}{\sigma^2}|y - h\hat{x}|^2)}$$



AWGN 信道

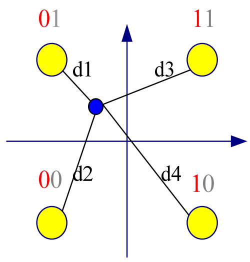


Rayleigh信道

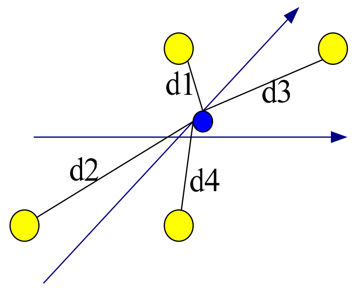
❖ **MAP** （maximum a posteriori）

$$\Lambda_{MAP}(k)=\log\frac{\Pr(c(k)=1|y)}{\Pr(c(k)=0|y)}=\log\frac{\sum_{\hat{x}=S_1^{(k)}} f(y-h\hat{x})}{\sum_{\hat{x}=S_0^{(k)}} f(y-h\hat{x})}=\log\frac{\sum_{\hat{x}=S_1^{(k)}}\exp(-\frac{1}{\sigma^2}|y-h\hat{x}|^2)}{\sum_{\hat{x}=S_0^{(k)}}\exp(-\frac{1}{\sigma^2}|y-h\hat{x}|^2)}$$

$$=\log\frac{\exp(-\frac{1}{\sigma^2}|d_3|^2)+\exp(-\frac{1}{\sigma^2}|d_4|^2)}{\exp(-\frac{1}{\sigma^2}|d_1|^2)+\exp(-\frac{1}{\sigma^2}|d_2|^2)}$$



AWGN channel



Rayleigh channel

❖ **简化计算**

$$\Lambda_{MAX}(k)=\log\frac{\sum_{\hat{x}=S_1^{(k)}}\exp(-\frac{1}{\sigma^2}|y-h\hat{x}|^2)}{\sum_{\hat{x}=S_0^{(k)}}\exp(-\frac{1}{\sigma^2}|y-h\hat{x}|^2)}\approx\max_{\hat{x}=S_1^{(k)}}(-\frac{|y-h\hat{x}|^2}{\sigma^2})-\max_{\hat{x}=S_0^{(k)}}(-\frac{|y-h\hat{x}|^2}{\sigma^2})$$

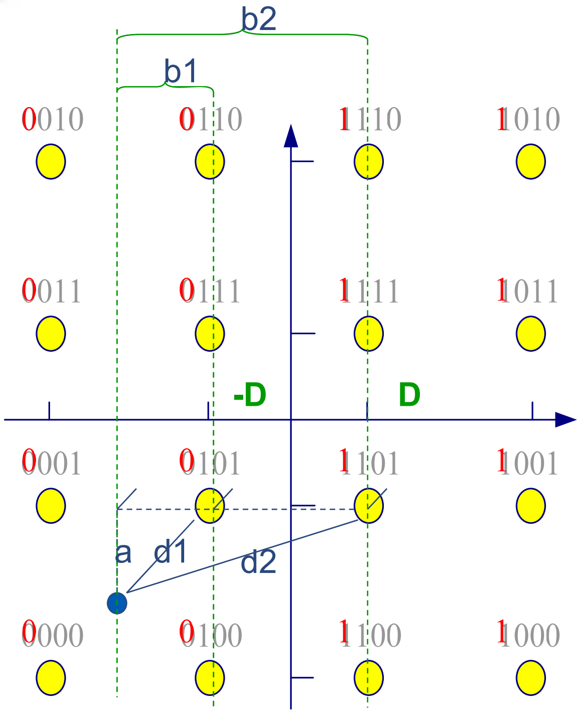
$$=\frac{|h|^2}{\sigma^2}(\min_{\hat{x}=S_0^{(k)}}\left|\frac{y}{h}-\hat{x}\right|^2-\min_{\hat{x}=S_1^{(k)}}\left|\frac{y}{h}-\hat{x}\right|^2)$$

❖ 指数求和的简化算法（ Jacobian logarithmic relationship ）

$$\ln(\sum_{k=1}^{n}e^{\lambda_k})=J(\lambda_n,J(J(\lambda_{n-1},\cdots J(\lambda_3,J(J(\lambda_2,\lambda_1))\cdots))$$

$$J(\lambda_2,\lambda_1)=\ln(e^{\lambda_1}+e^{\lambda_2})=\max(\lambda_1,\lambda_2)+\ln(1+e^{-|\lambda_1-\lambda_2|})$$

举例-16QAM的第1个bit



$$z = \frac{y}{h}$$

$$if \quad |R(z)| \le 2D$$

$$\Lambda'_{MAX}(1) = \min_{a_1 \in S_0^{(1)}} |z-a_1|^2 - \min_{a_1 \in S_1^{(1)}} |z-a_1|^2$$

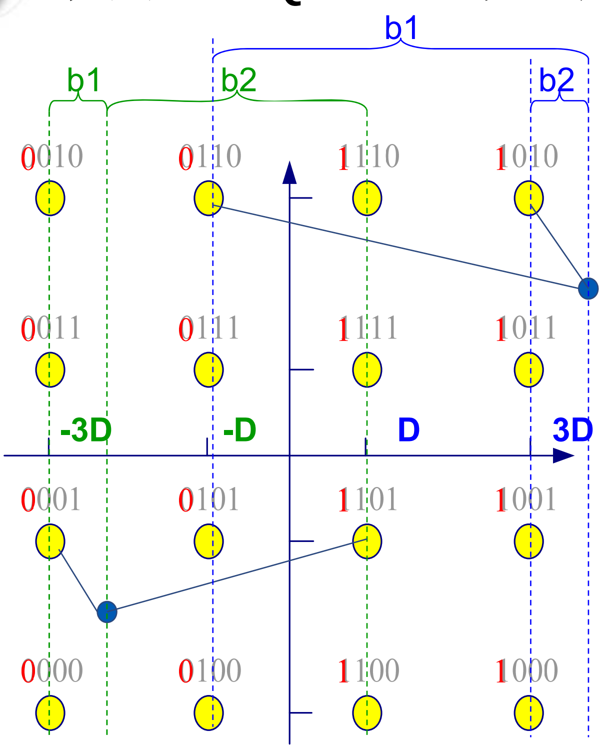
$$= |R(z)-R(a^{(2)})|^2 - |R(z)-R(a^{(3)})|^2$$

$$= |d_1|^2 - |d_2|^2 = (|a|^2+|b_1|^2)-(|a|^2+|b_2|^2)$$

$$= |b_1|^2 - |b_2|^2$$

$$= |R(z)-(-D)|^2 - |R(z)-D|^2 = 4R(z)D$$

举例-16QAM的第1个bit



$$if \quad R(z) < -2D$$

$$\Lambda'_{MAX}(2) = \min_{a_2 \in S_0^{(2)}} |z-a_2|^2 - \min_{a_2 \in S_1^{(2)}} |z-a_2|^2$$

$$= |R(z)-R(a^{(1)})|^2 - |R(z)-R(a^{(3)})|^2$$

$$= |R(z)-(-3D)|^2 - |R(z)-D|^2 = 8R(z)D + 8D^2$$

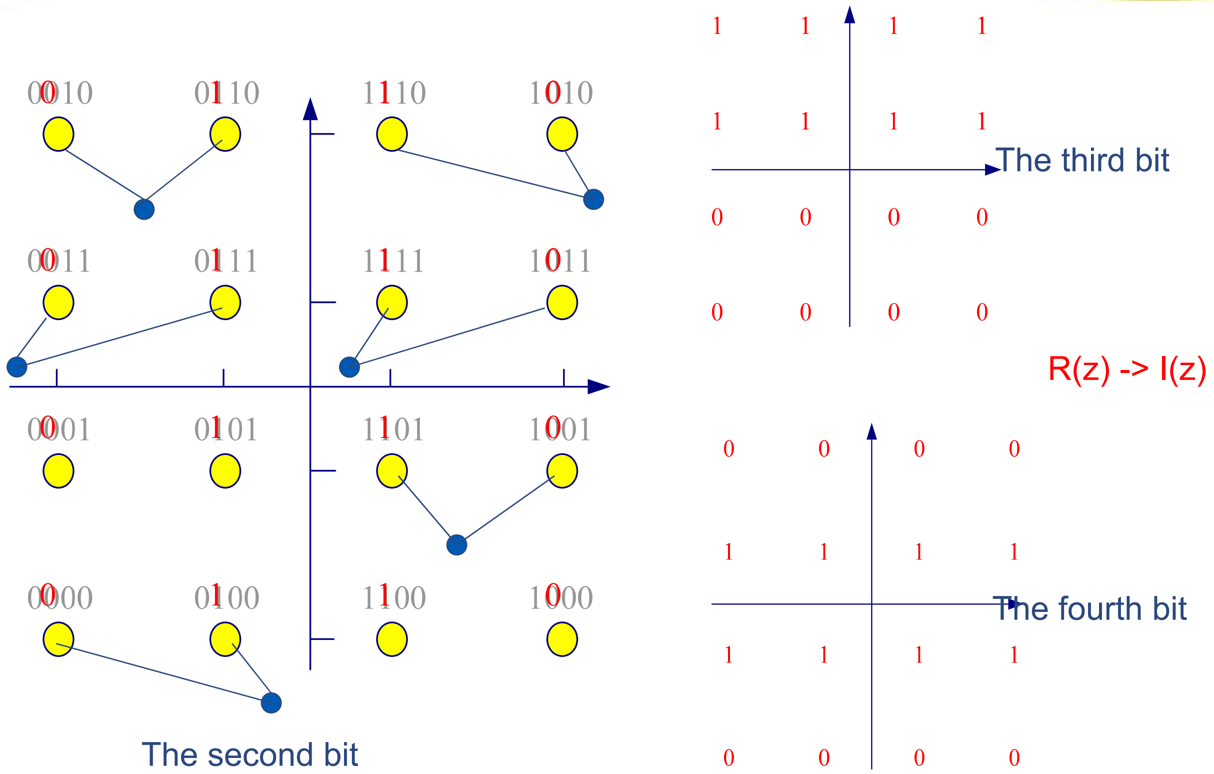
$$if \quad R(z) > 2D$$

$$\Lambda'_{MAX}(2) = \min_{a_2 \in S_0^{(2)}} |z-a_2|^2 - \min_{a_2 \in S_1^{(2)}} |z-a_2|^2$$

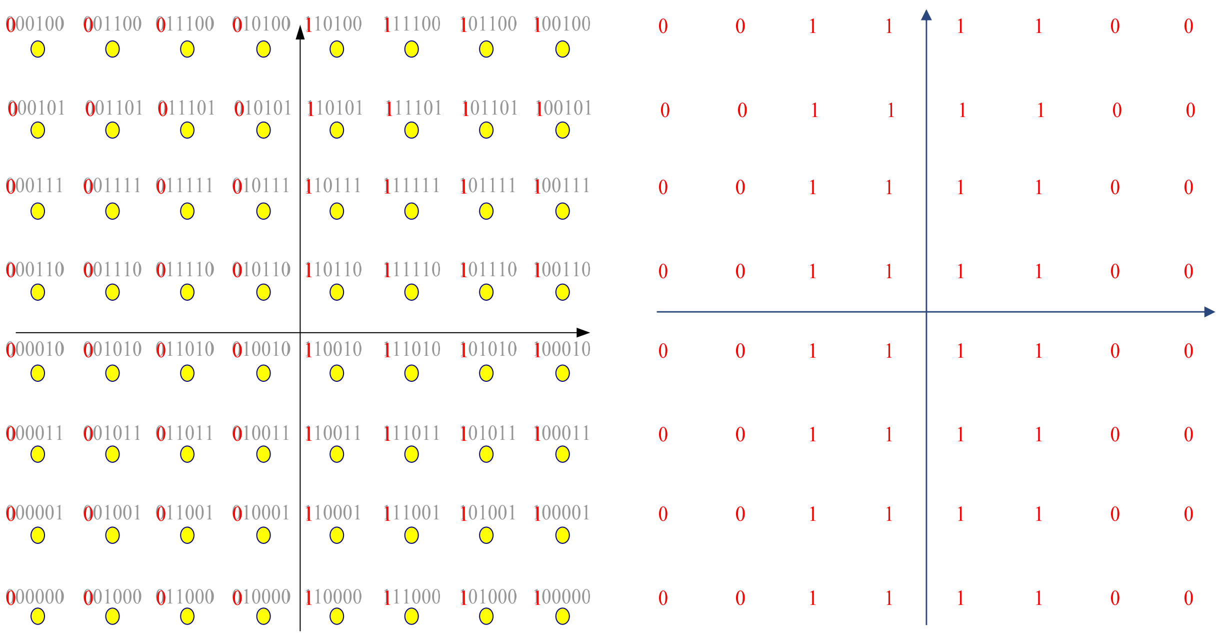
$$= |R(z)-R(a^{(2)})|^2 - |R(z)-R(a^{(4)})|^2$$

$$= |R(z)-(-D)|^2 - |R(z)-3D|^2 = 8R(z)D - 8D^2$$

举例-16QAM的其他bits



思考-64QAM

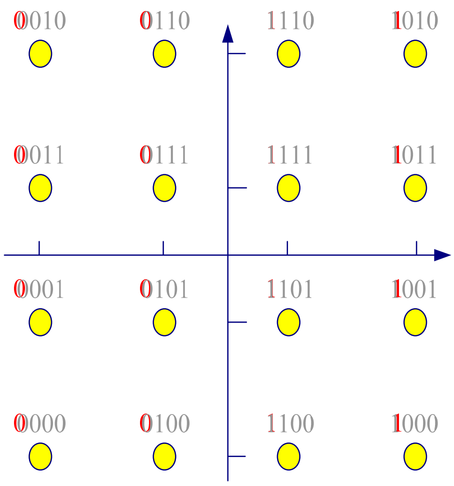


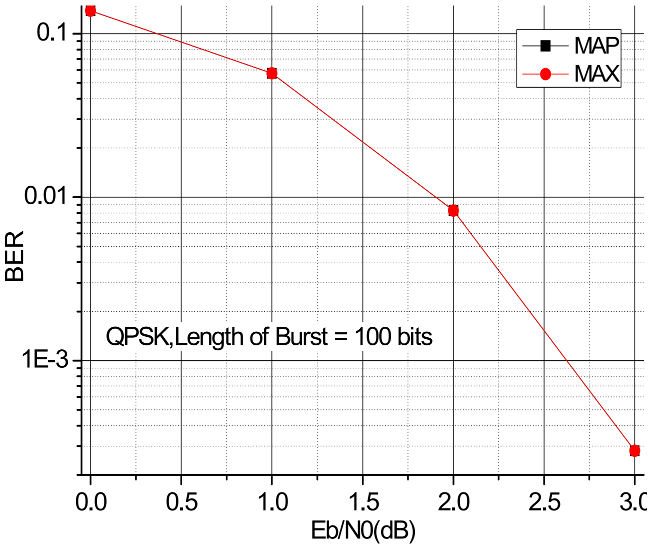
总结：格雷映射的QAM调制MAX解调对应表

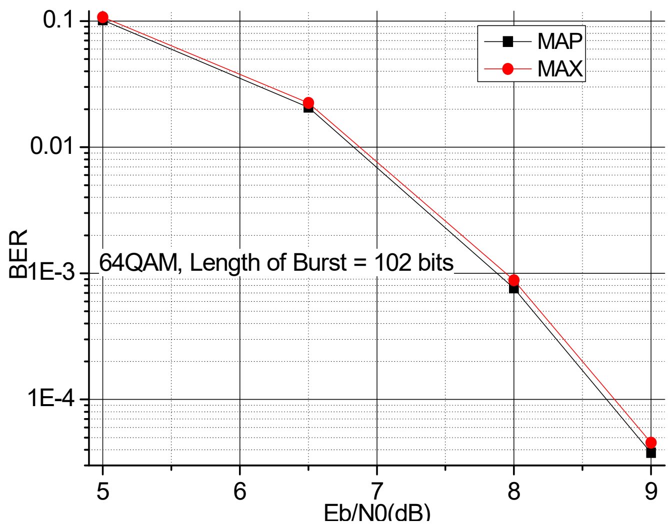
MAX	k	$\Lambda_{MAX}(k) \to \times \frac{1}{\sigma^2}$	Range	D
BPSK	1	$4R(y)D$	all $R(y)$	1
QPSK	1	$4R(y)D$	all $R(y)$	$1/\sqrt{2}$
16QAM	1	$4R(y)D$	$\lvert R(y)\rvert \le 2D$	$\frac{1}{\sqrt{10}}$
		$8R(y)D - 8\,\mathrm{sgn}\lvert R(y)\rvert D^2$	$\lvert R(y)\rvert > 2D$	
	2	$8D^2 - 4\lvert R(y)\rvert D$	all $R(y)$	
64QAM	1	$4R(y)D$	$\lvert R(y)\rvert \le 2D$	$\frac{1}{\sqrt{42}}$
		$8R(y)D - 8\,\mathrm{sgn}\lvert R(y)\rvert D^2$	$2D < \lvert R(y)\rvert \le 4D$	
		$12R(y)D - 24\,\mathrm{sgn}\lvert R(y)\rvert D^2$	$4D < \lvert R(y)\rvert \le 6D$	
		$16R(y)D - 48\,\mathrm{sgn}\lvert R(y)\rvert D^2$	$\lvert R(y)\rvert > 6D$	
	2	$24D^2 - 8\lvert R(y)\rvert D$	$\lvert R(y)\rvert \le 2D$	
		$16D^2 - 4\lvert R(y)\rvert D$	$2D < \lvert R(y)\rvert \le 6D$	
		$40D^2 - 8\lvert R(y)\rvert D$	$\lvert R(y)\rvert > 6D$	
	3	$4\lvert R(y)\rvert D - 8D^2$	$\lvert R(y)\rvert \le 4D$	
		$24D^2 - 4\lvert R(y)\rvert D$	$\lvert R(y)\rvert > 4D$	

- 可以再化简，**LLR**的计算不用太追求精确

MAX -no partition	k	$\Lambda_{MAX}(k) \to \times \frac{1}{\sigma^2}$	Range	D
BPSK	1	$4R(y)D$	all $R(y)$	1
QPSK	1	$4R(y)D$	all $R(y)$	$1/\sqrt{2}$
16QAM	1	$4R(y)D$	all $R(y)$	$\frac{1}{\sqrt{10}}$
	2	$8D^2 - 4\lvert R(y)\rvert D$	all $R(y)$	
64QAM	1	$4R(y)D$	all $R(y)$	$\frac{1}{\sqrt{42}}$
	2	$16D^2 - 4\lvert R(y)\rvert D$	all $R(y)$	
	3	$4\lvert R(y)\rvert D - 8D^2$	$\lvert R(y)\rvert \le 4D$	
		$24D^2 - 4\lvert R(y)\rvert D$	$\lvert R(y)\rvert > 4D$	







! 这里横轴是Eb/N0,代码中是SNR

值得注意

- 本章所给表格仅用于如图示映射的调制方案中，不同协议中可能对16QAM的映射定义有不同。
- 要注意送入解调函数的数据是否进行了信道均衡、是否星座映射图归一？
- MAP vs.MAX
  - 根据定义可知，在所有比特的软信息前统一乘以一个常数的话，对于MAX解调不影响译码结果，但对MAP而言有影响。
- 编码调制后不一定所有的符号都经历相同的信道，所以译码前要注意计算LLR时的信道衰落h和噪声功率取值是否合理。

程序示例：main-c4-NoCoder.m

BUPT

Thank You !