

Princípios de Telecomunicações

PRT60806

Aula 22: Modulações Digitais (Parte 2)

Professor: Bruno Fontana da Silva

2014



Diagramas de Espaço de Sinais (Constelações)

São representações dos M símbolos das modulações digitais M -árias.

Permitem uma interpretação geométrica do efeito do canal e dos ruídos de comunicação.

Pode-se realizar o mapeamento dos bits para cada símbolo buscando minimizar as taxas de erro de bits.

Pode-se traçar geometricamente regiões de decisão para sinais recebidos.

Diagramas de Espaço de Sinais (Constelações)

Como desenhar a constelação das modulações digitais:

Constelações M-PSK: são pontos de uma circunferência em um plano bidimensional marcados nos correspondentes ângulos de modulação.

Constelações M-QAM: são números complexos polares representados num plano bidimensional (real \times imaginário) de acordo com sua amplitude/ângulo.

Constelações M-FSK: cada símbolo de cada frequência é um ponto marcado em um eixo independente e ortogonal aos outros.

Diagramas de Espaço de Sinais (Constelações)

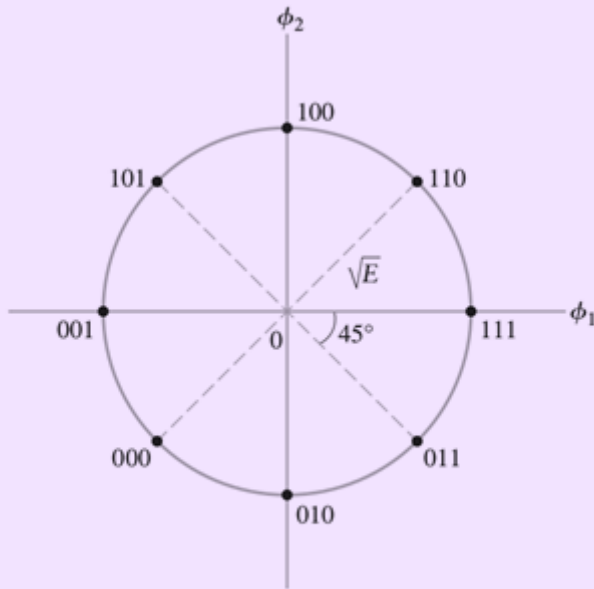


FIGURE 7.20 Signal-space diagram of 8-PSK.

Exemplo: 8-PSK (M=8)

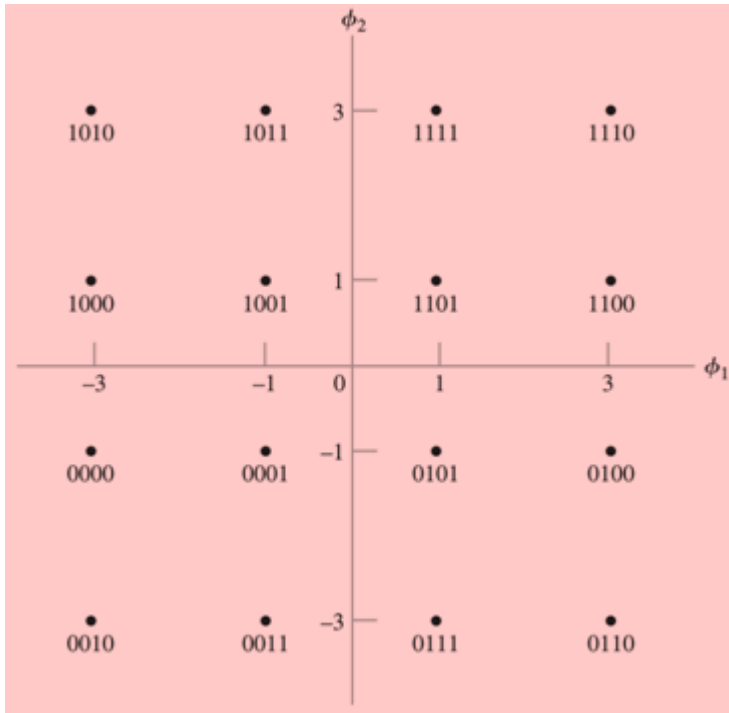
O círculo é dividido em 8 setores ($\frac{360^\circ}{8} = 45^\circ$)

Os ângulos dos símbolos PSK serão:

$$\begin{aligned} \phi_1 &= 0^\circ & \phi_2 &= 45^\circ & \phi_3 &= 90^\circ & \phi_4 &= 135^\circ \\ \phi_5 &= 180^\circ & \phi_6 &= -135^\circ & \phi_7 &= -90^\circ & \phi_8 &= -45^\circ \end{aligned}$$

O mapeamento gray garante que entre dois símbolos adjacentes, só há um bit diferente.

Diagramas de Espaço de Sinais (Constelações)



Exemplo: 16-QAM ($M = 16$)

Cada eixo possui $\frac{M}{2}$ coordenadas.

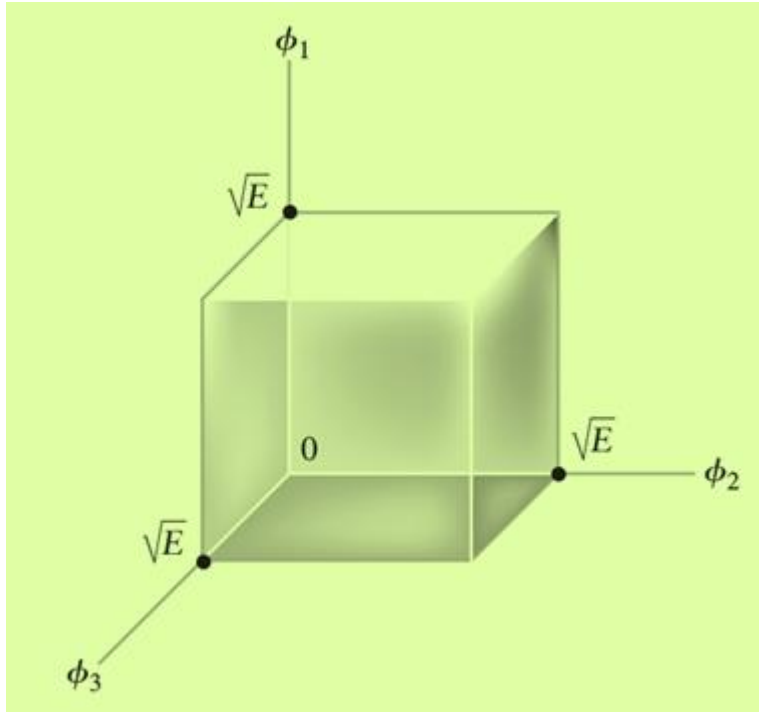
Todas as combinações cartesianas possíveis entre as coordenadas formam os pontos da constelação.

No caso 16-QAM, a constelação possui 3 amplitudes diferentes (3 raios de energia distintos).

Pode-se apresentar os símbolos como números complexos na forma polar ou retangular.

O mapeamento gray garante que entre dois símbolos adjacentes, só há um bit diferente.

Diagramas de Espaço de Sinais (Constelações)



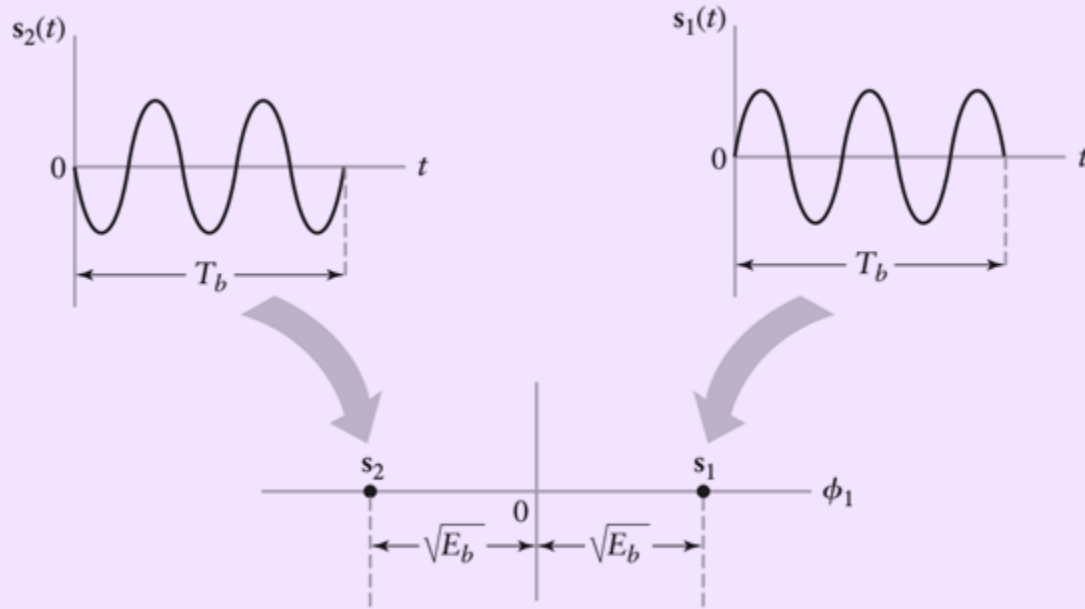
Exemplo: 3-FSK

Todos os eixos são ortogonais entre si. Neste caso, é um plano tridimensional ($M = 3$).

Todos os símbolos estão a mesma distância um do outro.

Não é possível realizar o mapeamento gray.

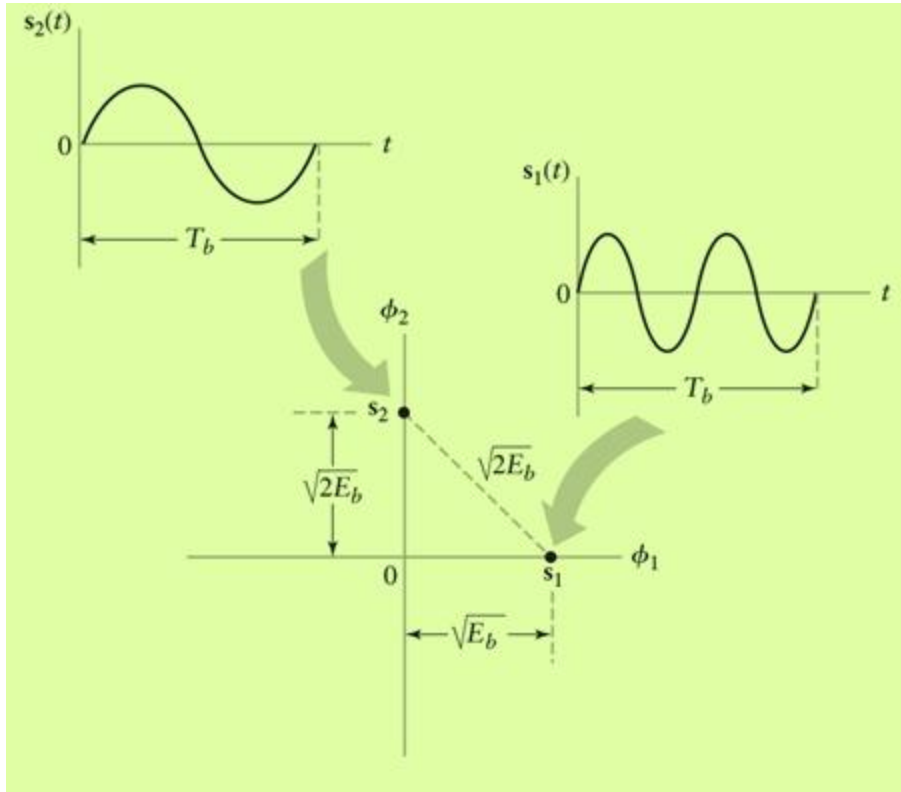
Detecção: mapeando de forma de onda para diagrama de constelação



Exemplo: BPSK

Dentro do período de símbolo, o receptor detecta a fase do sinal (0 ou 180°) e decide pelo símbolo da constelação correspondente.

Detecção: mapeando de forma de onda para diagrama de constelação



Exemplo: BFSK

Dentro do período de símbolo, o receptor detecta a frequência do sinal (f_1 ou f_2) e decide pelo símbolo da constelação correspondente.

Regiões de Decisão

Nos diagramas de constelação, percebe-se que falhas de detecção (fase, amplitude ou frequência) podem causar erros de bit na sequência binária identificada pelo receptor.

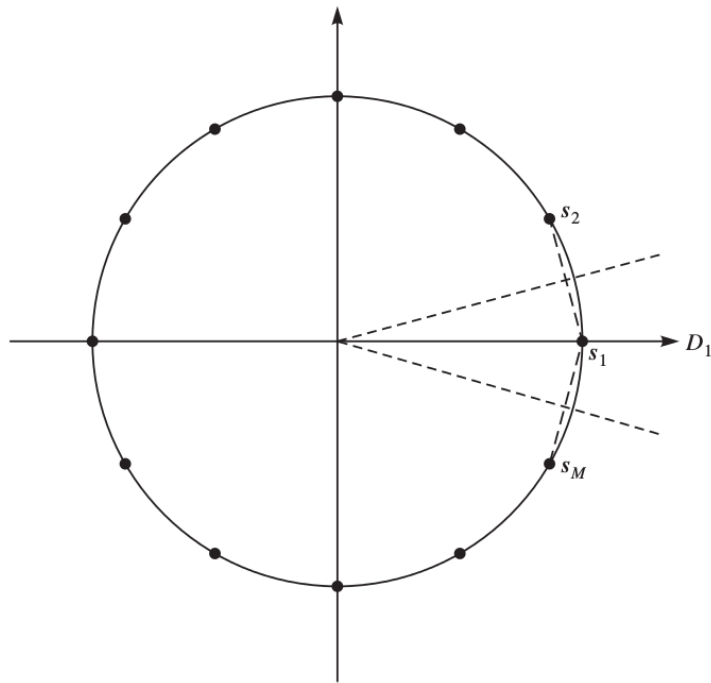
Os erros são causados por erros de símbolo detectado. Esses erros de símbolo estão associados, em geral, à distância mínima entre os símbolos no diagrama de constelação.

Regiões de Decisão

Nas modulações **PSK**, erros são causados por detecção errônea da fase do sinal. A distância (de fase) entre os sinais no círculo trigonométrico depende da quantidade de símbolos (M) da modulação.

Ou seja, modulações mais densas (mais símbolos) diminuem a distância entre os símbolos, aumentando a probabilidade de erro.

Regiões de Decisão



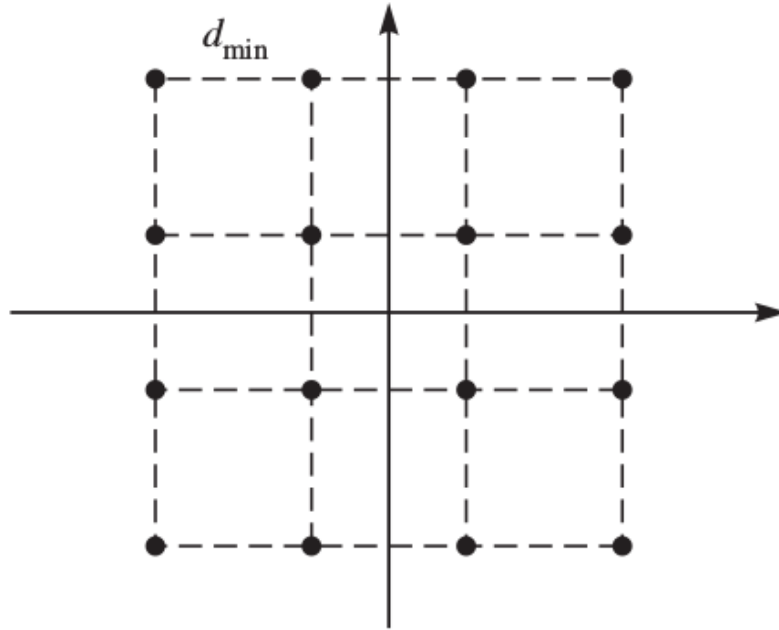
Regiões de Decisão

Nas modulações **QAM**, erros são causados por detecção errônea da fase e amplitude do sinal.

O parâmetro que se relaciona diretamente com a probabilidade de erro é a distância mínima entre dois pontos no plano complexo do diagrama de constelação. Assim como no caso PSK, modulações mais densas apresentam maior probabilidade de erro.

Para um mesmo nível de ruído, aumentar a separação dos sinais mudando os raios de energia (aumentando a potência de transmissão) permite aumentar a taxa e compensar a maior probabilidade de erro.

Regiões de Decisão: Distância Mínima



Regiões de Decisão

Nas modulações **FSK**, erros são causados por detecção errônea da frequência do sinal.

Como vimos, a distância entre os símbolos é sempre a mesma, independente da densidade da modulação. Isso quer dizer que é possível aumentar a taxa de transmissão sem prejudicar a probabilidade de erro.

Entretanto, modulações FSK ocupam maior banda de transmissão no espectro da frequência, proporcional ao número de símbolos da constelação.

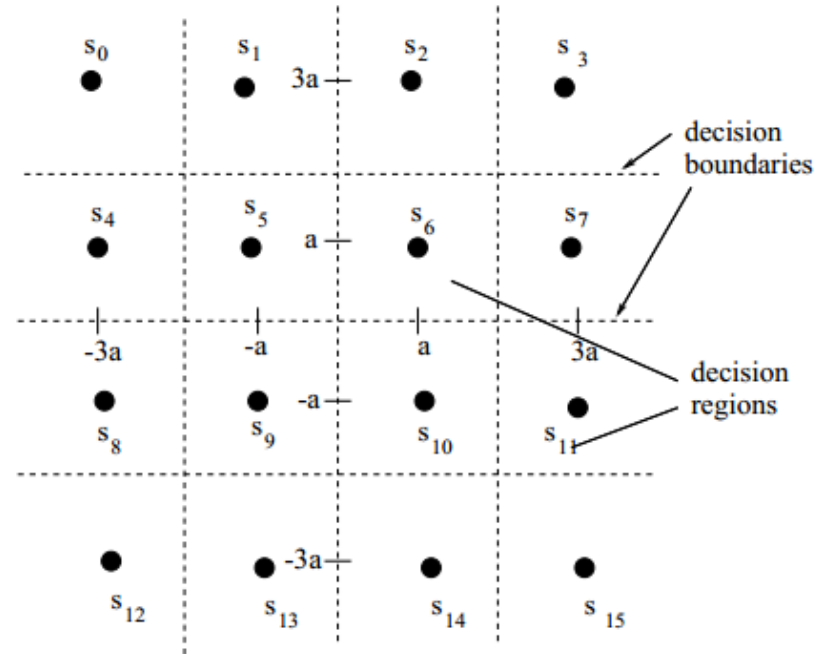
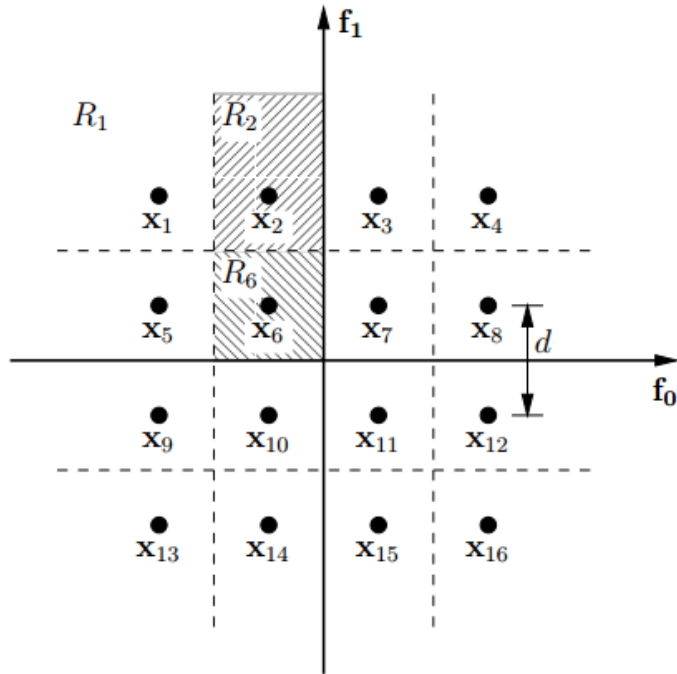
Regiões de Decisão

Assumindo que todos os símbolos são equiprováveis (tem a mesma probabilidade de serem transmitido) podemos traçar esboços das regiões de decisão geometricamente.

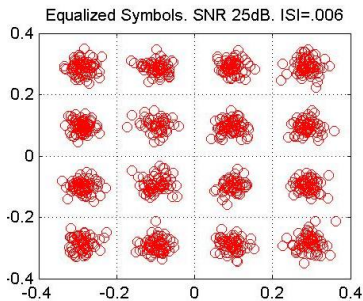
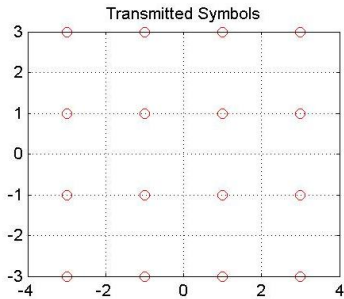
Quando um símbolo é recebido fora da sua região de decisão correta (devido ao ruído ou efeito do canal que não foi compensado) diz-se que houve um **erro de símbolo**.

O processo de compensar o efeito de canal para que esse não seja motivo da causa de erros de símbolo é chamado de **equalização de canal**.

Regiões de Decisão: Limites de decisão



Regiões de Decisão: Efeito da equalização de canal



Exemplo:

O primeiro diagrama mostra a constelação 16-QAM de símbolos transmitidos.

O segundo diagrama mostra a constelação de símbolos recebidos.

A dispersão dos pontos é resultado do efeito do ruído após. O efeito do canal já foi compensado pelo equalizador.