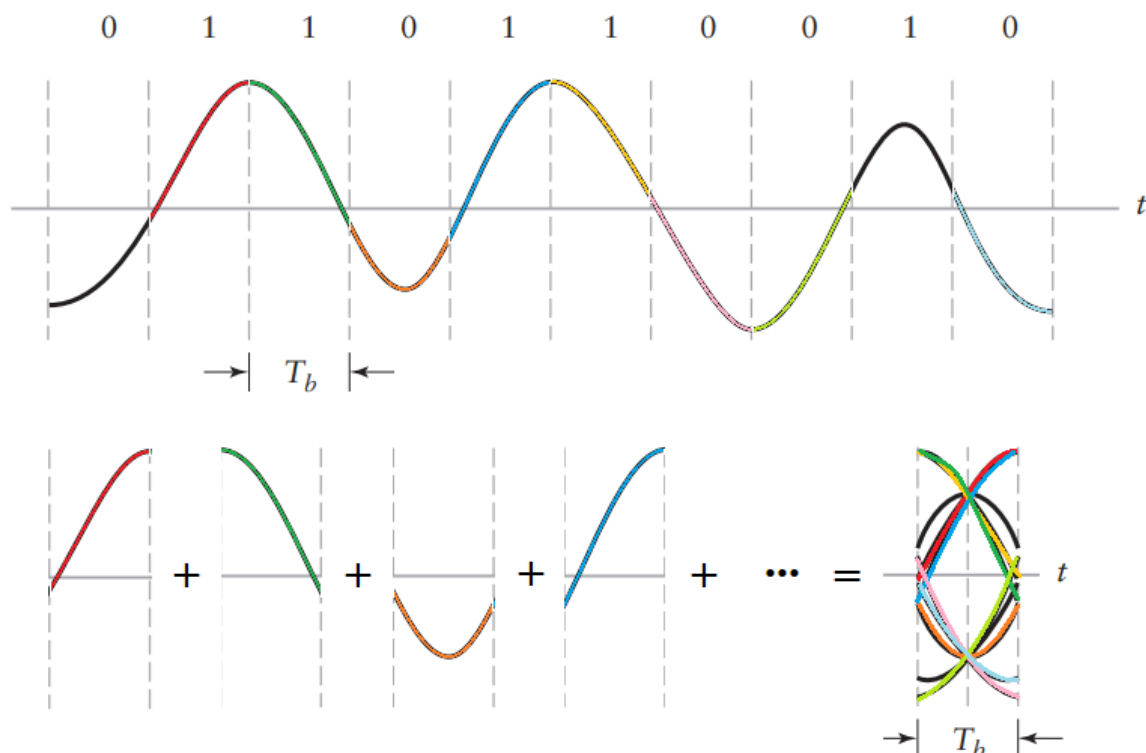


Diagramas de constelação e olho

Utilizaremos o Communications Toolbox do Matlab para demonstrar os diagramas de olho e de constelação de um sinal BPSK (Binary Phase-Shift Keying) e de um sinal 16-QAM (Quadratic Amplitude Modulation).

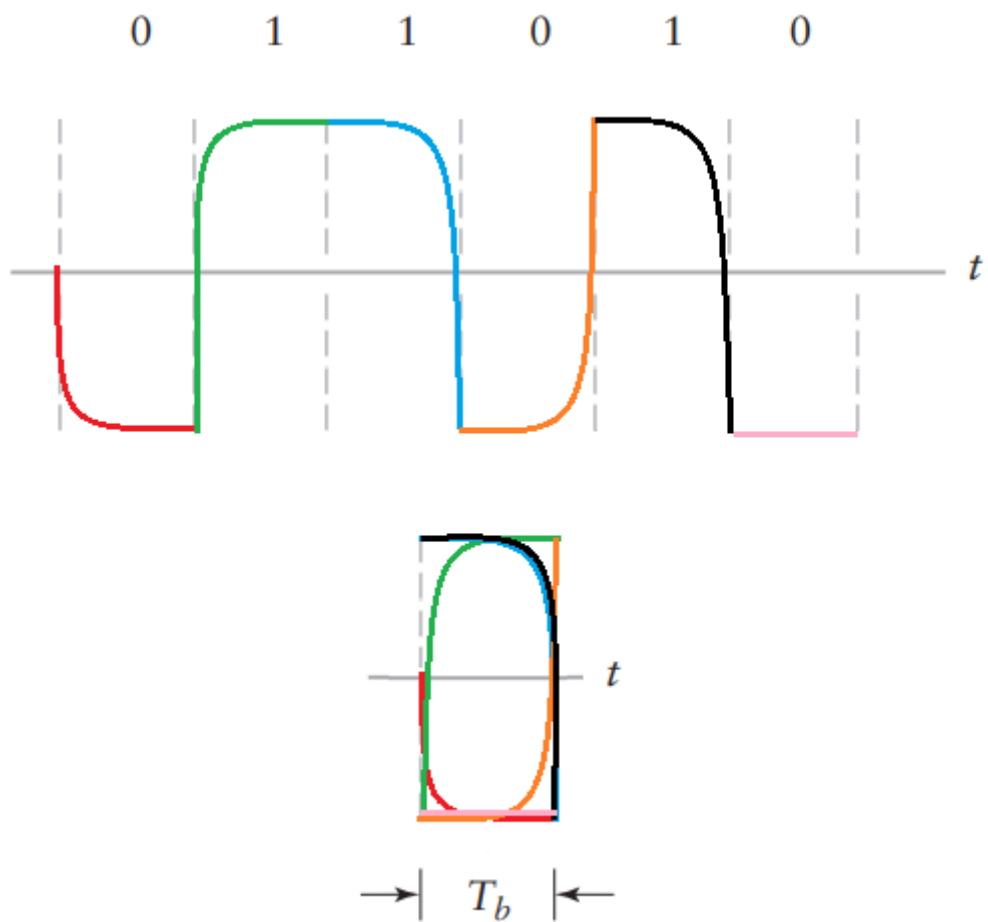
Diagrama de olho

Um diagrama de olho é uma forma simples de analisar a qualidade de um sinal utilizando um osciloscópio. Nesse diagrama, plotamos vários períodos de bit do sinal na mesma tela, um sobreposto ao outro. Observe com as seções coloridas do sinal na figura abaixo:



(Adaptado e colorido de Haykin - Introdução aos Sistemas de Comunicação, cap. 6)

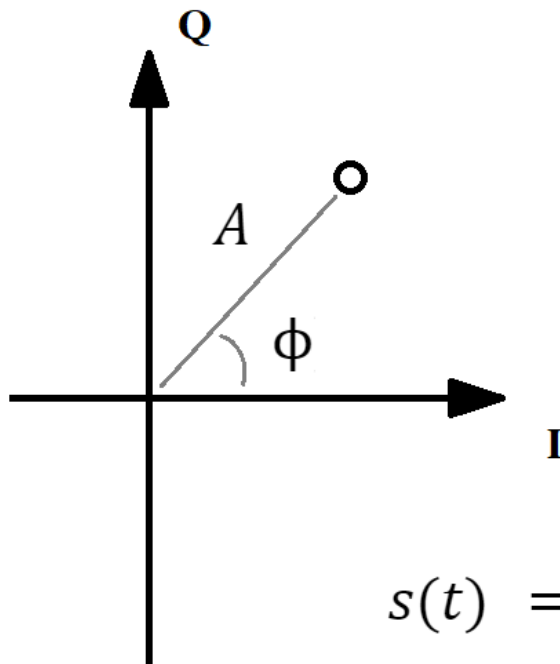
Quanto mais “aberto” o olho, melhor a qualidade do sinal, ou seja, há menos probabilidade de se cometer um erro de decodificação porque os símbolos estão melhor separados. Veja o exemplo de um sinal de qualidade melhor:



E se o sinal não estivesse “arredondado”, seria melhor ainda!

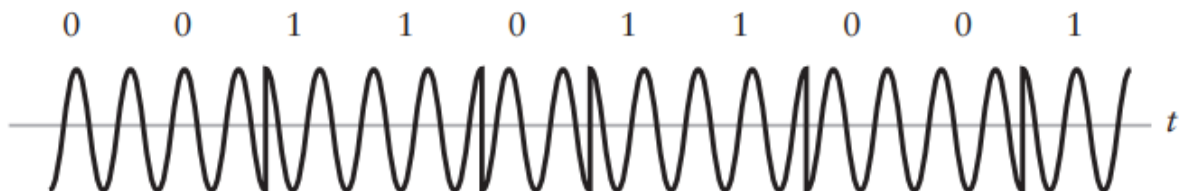
Diagrama de constelação

Em um diagrama de constelação, representamos os “tipos de senóides” que são transmitidas. Especificamente, cada ponto representa a amplitude e fase de uma senoide:



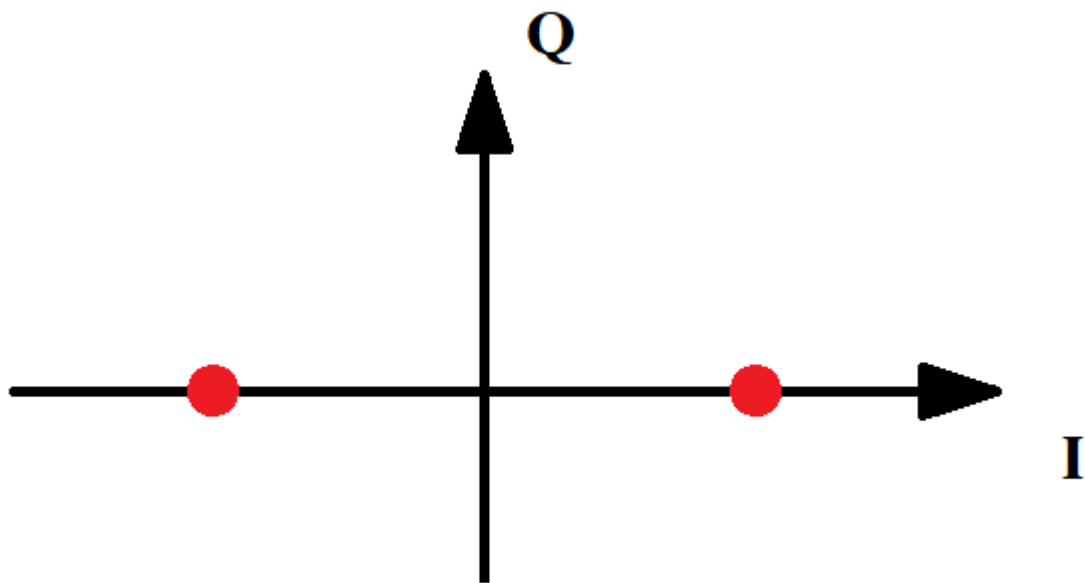
$$s(t) = A \cos(2\pi f_c t + \phi)$$

Para um sinal BPSK, estamos transmitindo os bits variando a fase da senoide, e a forma mais simples de se fazer isso é transmitir um símbolo com fase 0° e o outro símbolo com fase 180°, como pode ser visto na imagem a seguir:



(Adaptado de Haykin - Introdução aos Sistemas de Comunicação, cap. 7)

Se imaginarmos esses símbolos no diagrama de constelação, esperamos ver dois pontos. Um em 0° e outro em 180° . Como a amplitude da onda não se altera, ambos estarão a uma mesma distância da origem



Simulação de um sinal BPSK

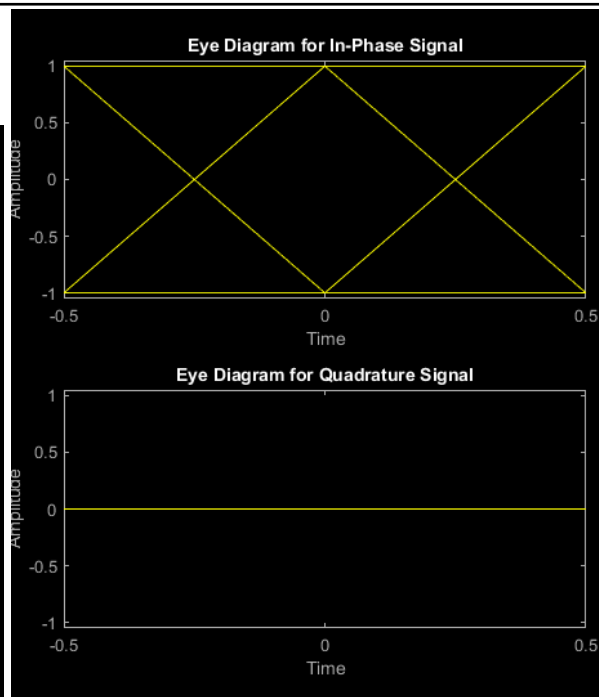
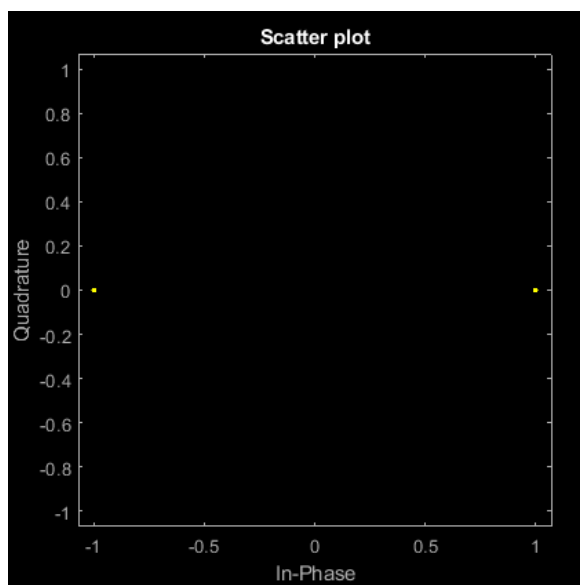
A seguir, temos um script que simula a criação do sinal BPSK e plota seus diagramas de constelação e de olho:

```
%% Sinal BPSK (Binary Phase-Shift Keying)

% Gerar uma sequência aleatória de 0 e 1
% randi(vetor_de_valores_possiveis, linhas, colunas)
x = randi([0 1],1000,1);

% Fazer a modulação PSK da sequência de símbolos
% pskmod(seq_simbolos, num_simbolos_possiveis)
y = pskmod(x,2);

% Plotar os sinais gerados (vetorialmente) - Diagrama de constelação
scatterplot(y)
% Plotar o diagrama de olho
eyediagram(y,2)
```



Há porém uma sutileza: o diagrama de olho não está mostrando a sobreposição dos sinais no tempo, mas sim transições na fase e na amplitude. É como se fizéssemos uma sobreposição de gráficos que mostram as componentes em fase e em quadratura:

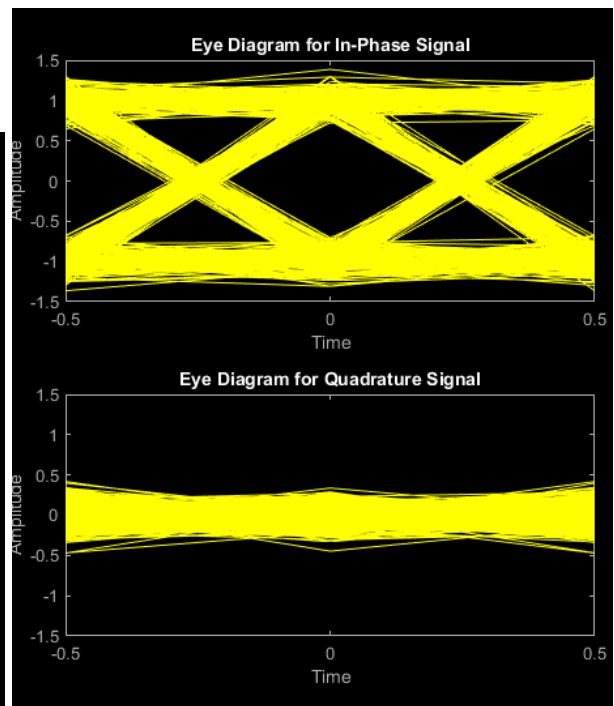
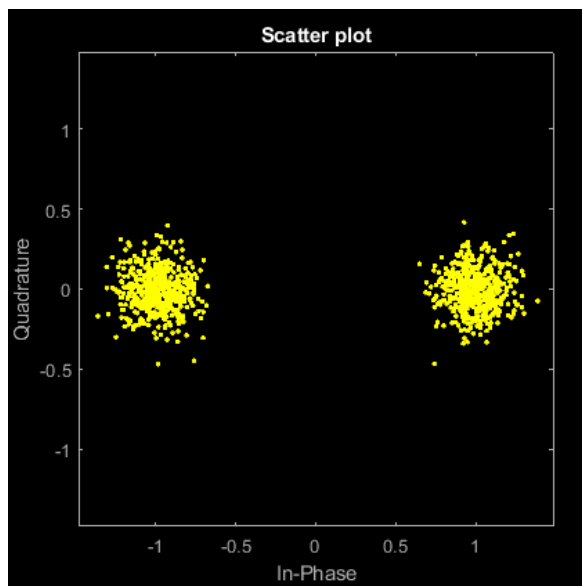
Vamos agora adicionar um pouco de ruído no sinal e ver o que acontece com os diagramas. Para isso, podemos utilizar o comando `awgn`, que simula a passagem do sinal por um canal ruidoso:

```
%% Análise do sinal BPSK depois de passar um canal com ruído AWGN

%out = awgn(in,snr)

% Relação sinal-ruído em dB
snr = 15;
% Simulação da passagem pelo canal ruidoso
y = awgn(y,15);

% Diagrama de constelação com ruído
scatterplot(y)
% Diagrama de olho com ruído
eyediagram(y,2)
```



Observe como o sinal ficou mais “espalhado” no diagrama de constelação e o olho “se fecha um pouco” no diagrama de olho. Isso significa que a qualidade do sinal caiu.