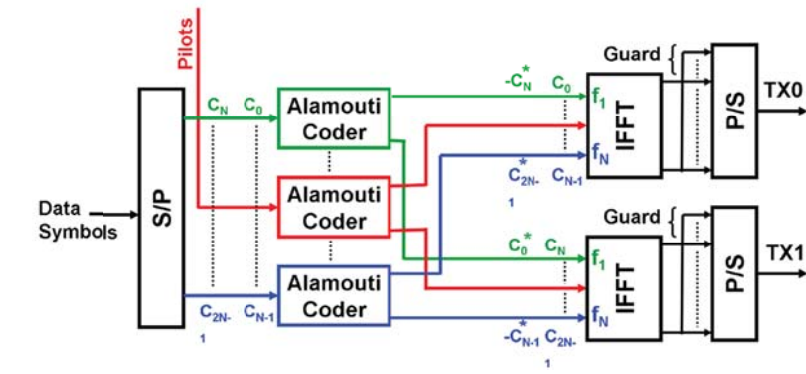
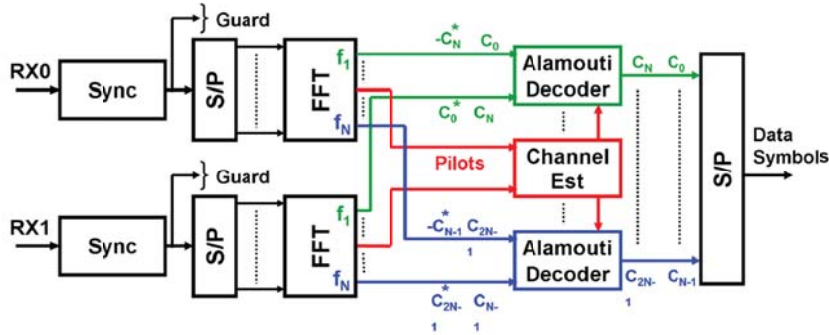


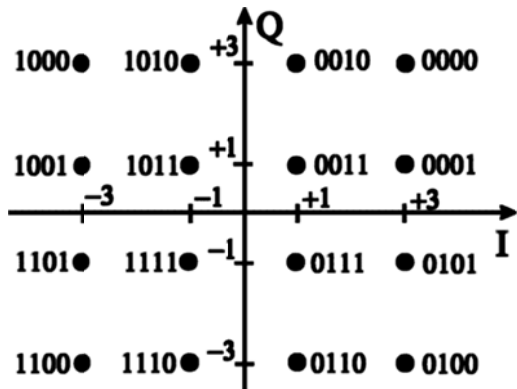
O diagrama na Figura 1 abaixo mostra um sistema OFDM MIMO 2x2 com 2048 portadoras moduladas por símbolos IQ 16-QAM.



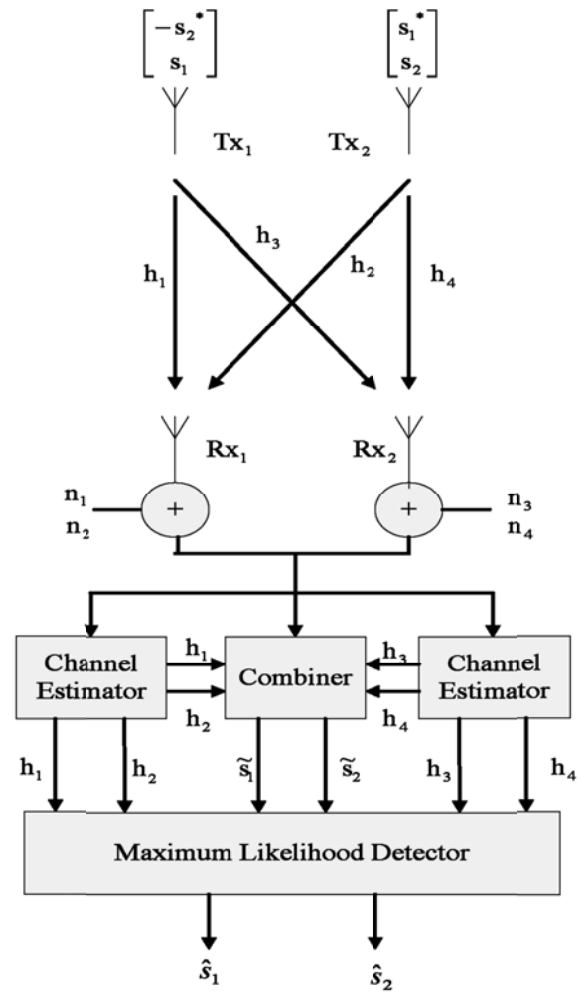
(a) Transmissor OFDM MIMO 2x2



(b) Receptor OFDM MIMO 2x2



(c) mapper & de-mapper 16-QAM



(d) Modelo do canal MIMO 2x2 e modelo do fluxo de sinal por portadora deste sistema MIMO OFDM.

Figura 1: Etapa de modulação/demodulação de um sistema OFDM MIMO 2x2 16-QAM

Para a portadora de índice 1211, as transmitâncias do canal MIMO 2x2 medidas pelo *Channel Estimator* na Figura 1(d) são :

$$h_1 := 0.75 \cdot e^{j \cdot 22 \cdot \text{deg}} \quad h_2 := 0.15 \cdot e^{-j \cdot 60 \cdot \text{deg}} \quad h_3 := 0.35 \cdot e^{-j \cdot 25 \cdot \text{deg}} \quad h_4 := 0.11 \cdot e^{j \cdot 80 \cdot \text{deg}}$$

Sabendo que as saídas do *Combiner* na Figura 1(d) são  $\tilde{s}_1 = 0.719600 + 0.719600i$  e  $\tilde{s}_2 = -0.719600 - 2.158800i$ , determine quais símbolos da constelação da Figura 1(c) o *Maximum Likelihood Detector* do RX na Figura 1(d) identifica em suas saídas  $\hat{s}_1$  e  $\hat{s}_2$  como sendo os símbolos  $s_1$  e  $s_2$  transmitidos pelo TX.

## Solução:

O enunciado define o canal MIMO 2x2 para a portadora em questão como sendo:

$$h_1 := 0.75 \cdot e^{j \cdot 22 \cdot \text{deg}} \quad h_2 := 0.15 \cdot e^{-j \cdot 60 \cdot \text{deg}} \quad h_3 := 0.35 \cdot e^{-j \cdot 25 \cdot \text{deg}} \quad h_4 := 0.11 \cdot e^{j \cdot 80 \cdot \text{deg}}$$

O enunciado dá, ainda, as saídas do *combiner* da Figura 1 (d):  $s_{1c} = 0.719600 + 0.719600i$   $s_{2c} = -0.719600 - 2.158800i$

sendo  $s_{1c} = \tilde{\mathbf{s}}_1 \rightarrow$  saída  $\tilde{\mathbf{s}}_1$  do *combiner* na Fig. 1(d) do enunciado

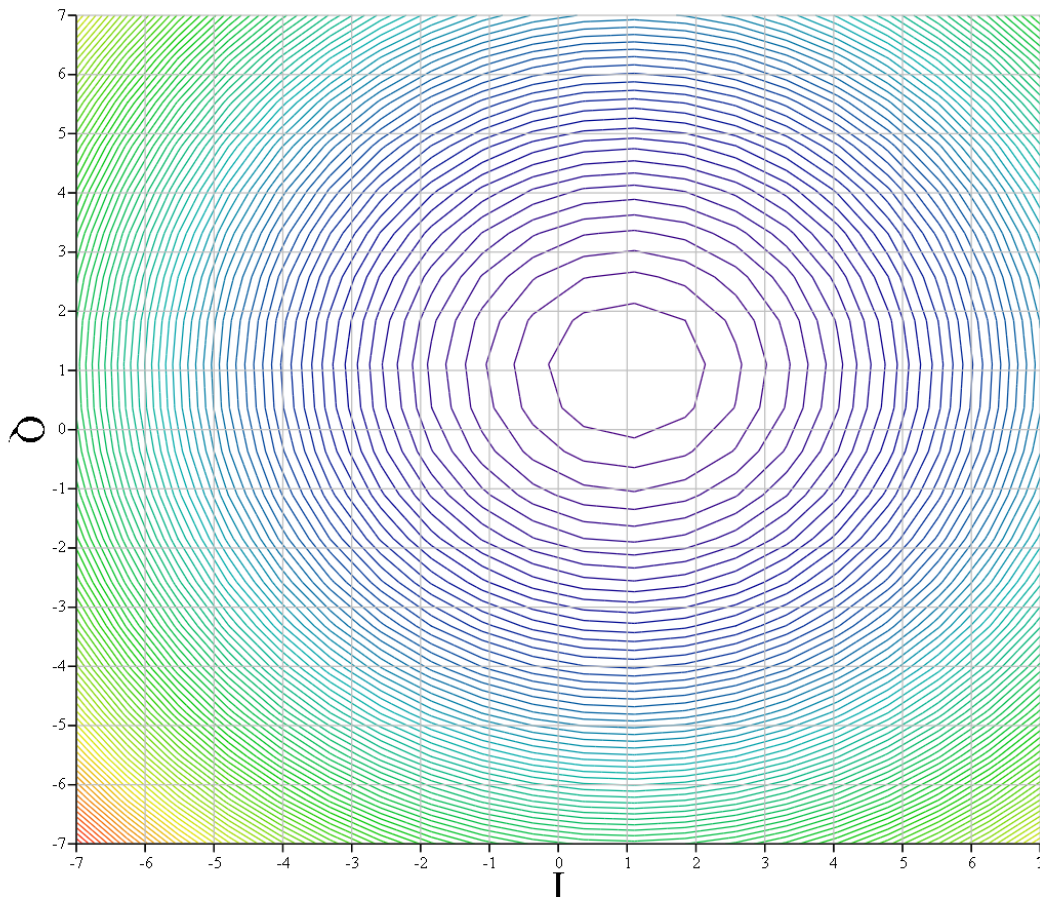
$s_{2c} = \tilde{\mathbf{s}}_2 \rightarrow$  saída  $\tilde{\mathbf{s}}_2$  do *combiner* na Fig. 1(d) do enunciado

Uma implementação simples e prática do *hardware* do *Maximum Likelihood Detector* na Figura 1(d) consiste em testar todos os 16 símbolos da constelação da Figura 1(c) gravados em uma LUT, buscando identificar qual símbolo  $s_1$  dentre os 16 testados minimiza a expressão a seguir (vide slide 95 "Alamouti 2x2 Space Time Code (STC)" de TAC\_Vol2.ppt):

$$\hat{s}_1 = \arg \min_{\hat{s}_1 \in \mathbf{c}} (|h_1|^2 + |h_2|^2 + |h_3|^2 + |h_4|^2 - 1) |\hat{s}_1|^2 + d^2(\tilde{\mathbf{s}}_1, \hat{s}_1)$$

sendo  $d^2(x_1, x_2) = |x_1 - x_2|^2 = (x_1 - x_2)(x_1^* - x_2^*)$  o quadrado da distância Euclidiana entre  $x_1$  e  $x_2$ .

Alternativamente (embora não seja uma implementação prática nem viável em *hardware*), uma maneira instrutiva e didática de identificar qual símbolo  $s_1$  foi transmitido é plotar o gráfico da superfície em curvas de nível resultante da expressão a ser minimizada acima em função de  $s_1 = I + jQ$ , com  $I$  e  $Q$  variando de forma contínua dentro dos limites estabelecidos na constelação da Figura 1(c). Como a expressão é quadrática, há um único mínimo na superfície, mínimo este que identifica o símbolo  $s_1$  transmitido, conforme mostrado a seguir:

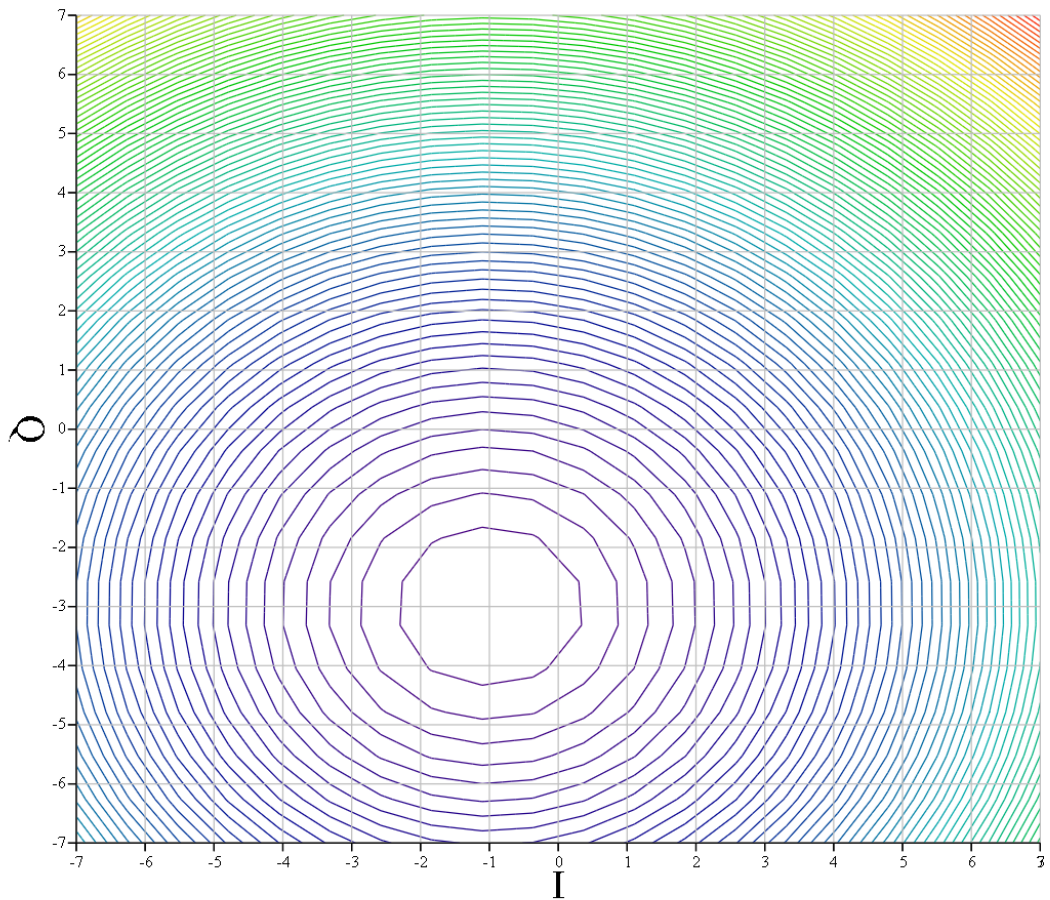


D

Daí, por inspeção do gráfico acima, o ponto de mínimo das curvas de nível identifica  $s_1$  transmitido como sendo  $s_1 = 1 + i$ .

Mesma análise pode ser feita no sentido de identificar o símbolo s2 transmitido. Temos, então:

$$\hat{s}_2 = \arg \min_{\hat{s}_2 \in \mathcal{C}} (|h_1|^2 + |h_2|^2 + |h_3|^2 + |h_4|^2 - 1)|\hat{s}_2|^2 + d^2 (\tilde{s}_2, \hat{s}_2)$$



D

Daí, por inspeção do gráfico acima, o ponto de mínimo das curvas de nível identifica s2 transmitido como sendo  $s_2 = -1 - 3i$ .