

Informações para Trabalho Prático

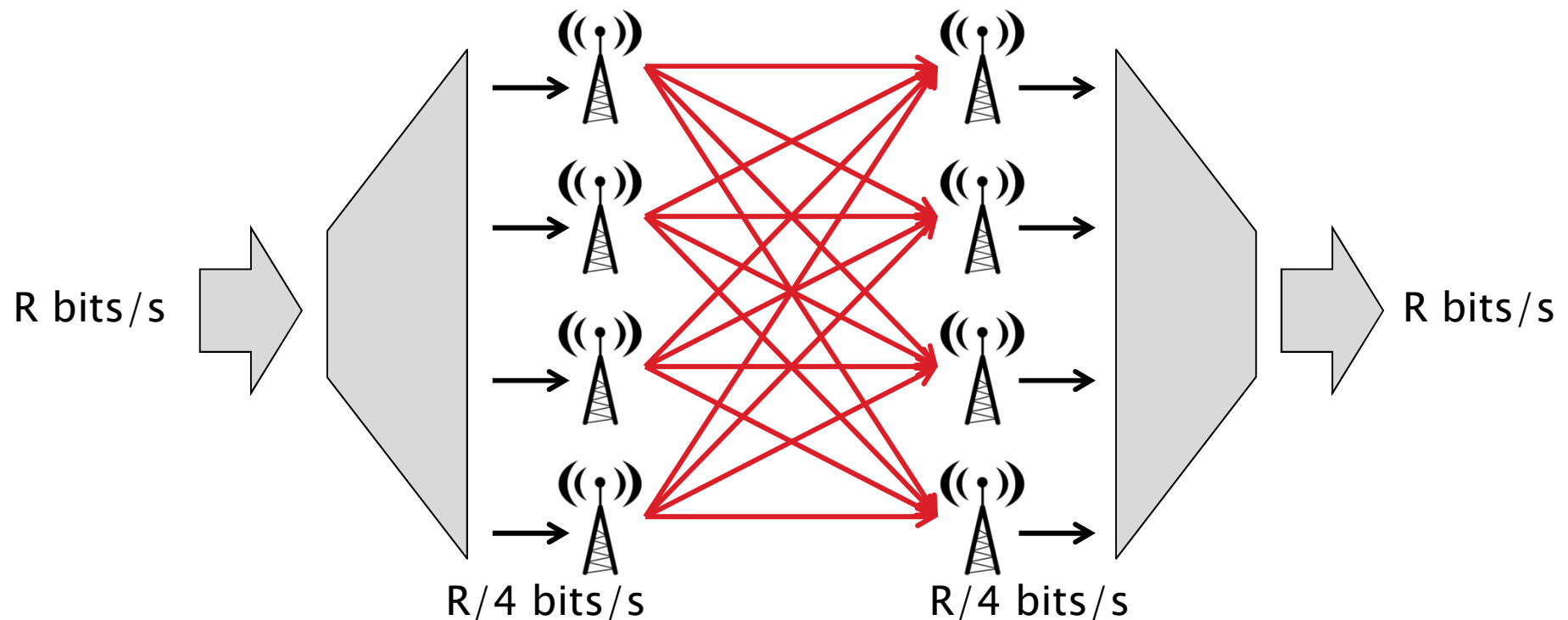
INF01005 – Comunicação de Dados
Prof. Gabriel Luca Nazar

Trabalho prático

- ▶ Modelar um sistema de comunicação sem fios utilizando a tecnologia MIMO
 - Tecnologia utilizada em sistemas de sem fios de altas taxas, como 802.11, 802.16, telefonia 4G
- ▶ Avaliar diferentes algoritmos de processamento no receptor
 - Algoritmos para recuperar símbolos transmitidos

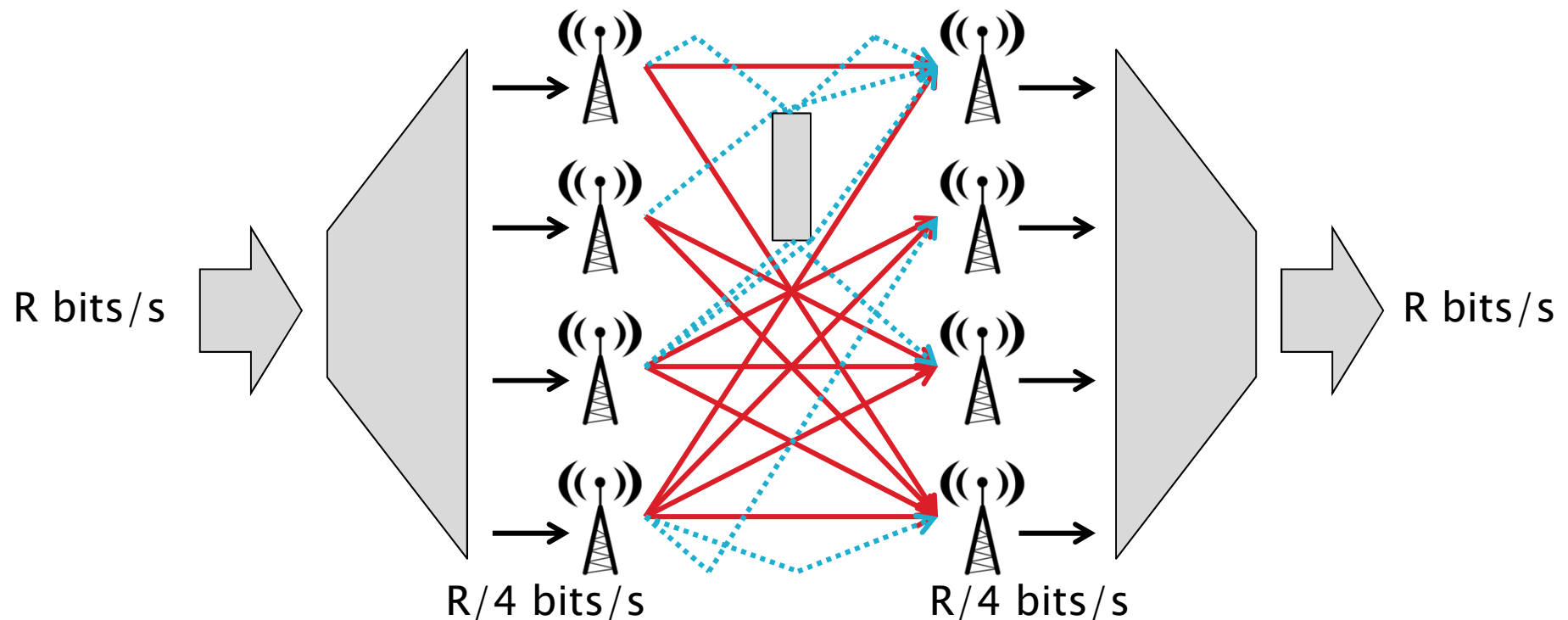
Sistemas de comunicação MIMO

- ▶ MIMO: *Multiple-Input Multiple-Output*
 - Transmissor e receptor usam múltiplas antenas, separando o fluxo original em múltiplos fluxos de taxas menores



Sistemas de comunicação MIMO

- ▶ Reflexões e difrações podem criar diversos caminhos
 - Com diferentes características de fase e amplitude



Sistemas de comunicação MIMO

- ▶ Receptor deve ter conhecimento da **função de transferência** do canal
 - **Caminho de propagação** de cada antena de transmissão até cada antena de recepção
 - Pode ser modelada como uma matriz complexa H , onde cada posição $H_{i,j}$ indica **defasamento** e **atenuação** da antena de transmissão j até a antena de recepção i
 - Processamento complexo para separar os fluxos novamente no receptor
 - Desvanecimento altera H e exige readaptação do receptor

Sistemas de comunicação MIMO

► Modelo do canal

$$y = Hx + n$$

- NT antenas de transmissão, NR antenas de recepção
- x é o vetor coluna de NT símbolos enviados
- y é o vetor coluna de NR símbolos recebidos
- n é o vetor de ruído (NR valores)
- H , x , y e n são **complexos**

Sistemas de comunicação MIMO

- ▶ Receptor conhece H e y , deve recuperar x
 - Resolver sistema com NR equações e NT variáveis
 - Problema conhecido como **detecção MIMO**
- ▶ Exemplo 2x2:

$$y_1 = x_1 \cdot h_{1,1} + x_2 \cdot h_{1,2} + n_1$$

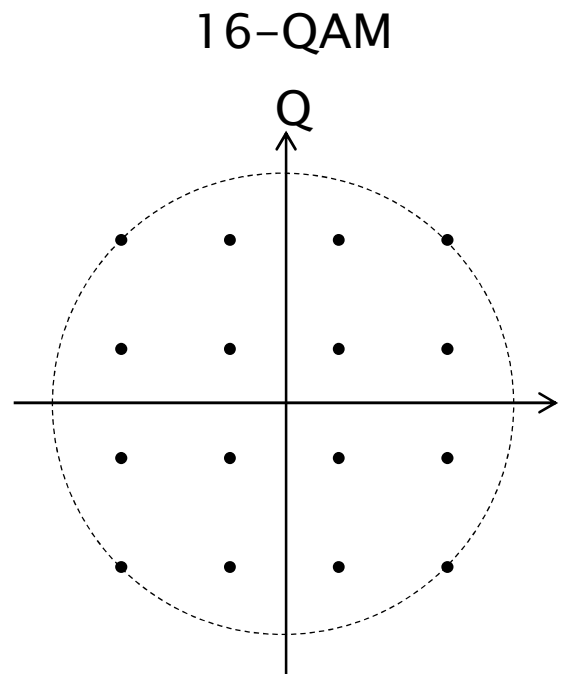
$$y_2 = x_1 \cdot h_{2,1} + x_2 \cdot h_{2,2} + n_2$$

ou matricialmente:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} \\ h_{2,1} & h_{2,2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix}$$

Sistemas de comunicação MIMO

- ▶ Resolução de um sistema linear é fácil, mas:
 - Temos, adicionalmente, um vetor ruído!
 - Símbolos de x são símbolos discretos da constelação!



Sistemas de comunicação MIMO

- ▶ **Detecção MIMO ótima** consiste em resolver a otimização:

$$\min_{x \in M^{NT}} \|y - Hx\|^2$$

- Onde M^{NT} é o conjunto de vetores com NT símbolos da constelação M de modulação
- ▶ Ou seja: achar o x que minimiza a diferença total entre os Hx e y
 - Detecção ML (*Maximum-likelihood*)
 - Problema **NP-completo**

Sistemas de comunicação MIMO

▶ Soluções sub-ótimas:

- *Zero-forcing*
- Calcular a *pseudo-inversa* H^\dagger de H
 - Generalização da inversa, aplicável a matrizes retangulares
- Estimar:

$$\hat{\mathbf{x}} = \text{slice}(H^\dagger \mathbf{y})$$

- Onde *slice* consiste em aproximar cada posição do vetor ao ponto mais próximo da constelação

Sistemas de comunicação MIMO

- ▶ *Nulling and cancelling*
- ▶ Começamos com a decomposição QR de H

$$H = QR$$

- Q é uma matriz **ortonormal**
 - Colunas de Q são ortogonais e normais (módulo 1)
 - $Q^{-1} = Q^H$
 - Q^H é a transporta *hermitiana*: transposta e complexo-conjugada elemento a elemento
- R é uma matriz **triangular superior**
 - Elementos abaixo da diagonal principal são zero

Sistemas de comunicação MIMO

- ▶ A partir do modelo do canal:

$$y = Hx + n$$

- ▶ Fazemos:

$$z = Q^H y$$

- ▶ Que resulta em:

$$z = Q^H (Hx + n)$$

$$z = \underbrace{Q^H Q R}_{Q^H Q = I} x + \underbrace{Q^H n}_{\text{Ruído...}}$$

$$z = Rx + \bar{n}$$

Sistemas de comunicação MIMO

- ▶ Mas R é triangular superior:

$$\begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} \\ 0 & r_{2,2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix}$$

$$z_2 = x_2 \cdot r_{2,2} + n_2$$

$$\hat{x}_2 = \text{slice}(z_2 / r_{2,2})$$

- ▶ “Cancelando” o efeito de x_2 :

$$z := z - \hat{x}_2 \cdot \underline{r}_2$$

- Onde \underline{r}_2 é a segunda coluna de r
- Agora podemos repetir:

$$\hat{x}_1 = \text{slice}(z_1 / r_{1,1})$$

Sistemas de comunicação MIMO

- ▶ *Sorted nulling and cancelling*
 - **Um problema:** se errarmos a estimativa de x_2 , esse erro se propaga para x_1
 - **Uma alternativa:** reordenar as antenas de transmissão de acordo com a sua potência
 - Antes da decomposição QR, ordenar as colunas de H em ordem crescente de módulo
 - **Desfazer permutação** após detecção, recuperando a ordem original
 - Obs.: Essa ordem é uma *heurística*, não é a ordem ótima
 - Tentamos decodificar os “melhores” primeiro