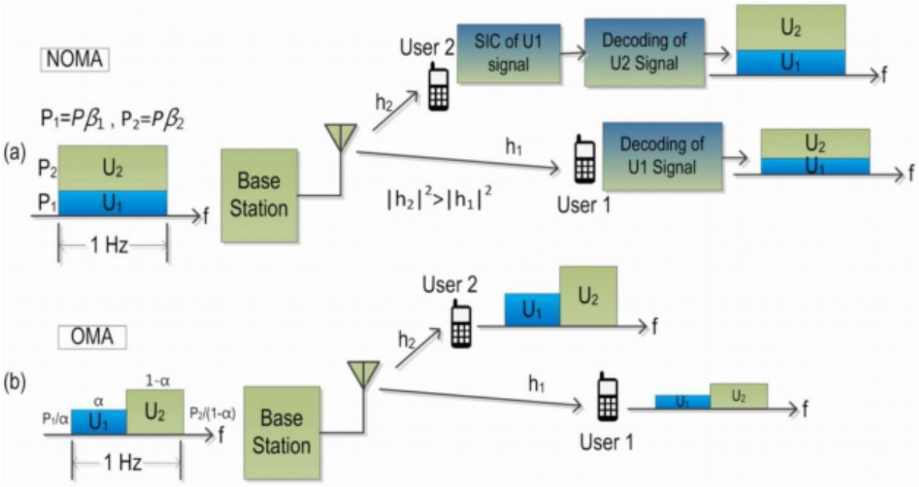
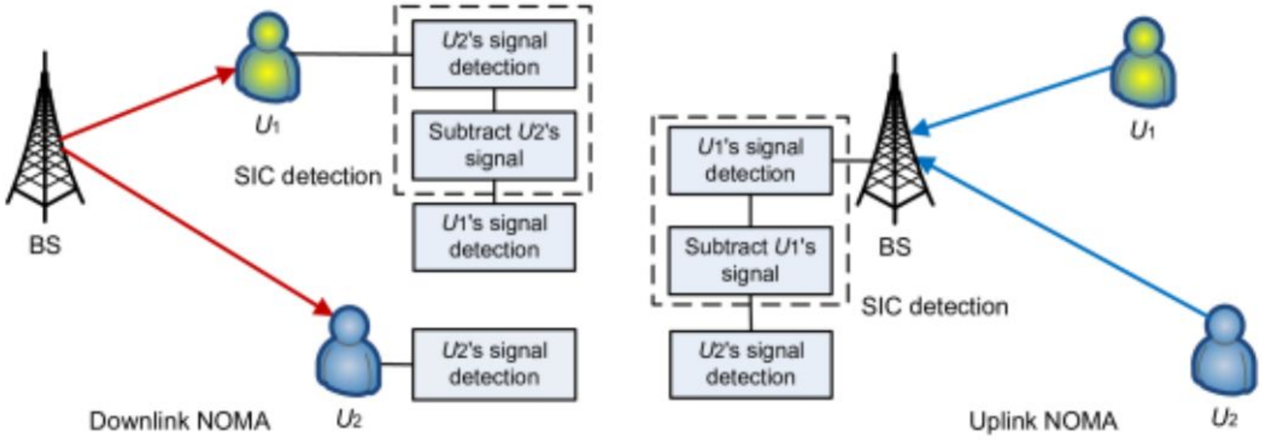
NOMA

- Esquema de acesso múltiplo onde os usuários usam os mesmos recursos de largura de banda simultaneamente



SIC

- Cancelamento sucessivo de interferência



Cenário

- Uplink com colheita de energia
- Quadro dividido em um número inteiro de intervalos
- Conjunto de usuários: {1, …, J}
- Número de intervalos de um quadro: N
- Número de intervalos da fase de colheita de energia: $0 < n^e < N$
- Número de intervalos da fase de transmissão de informação: $0 < n^i < N$
- $n^e + n^i = N$
- Duração de um intervalo: T^s

Cenário

- Energia adquirida $E_{j,n^e} = P \cdot \eta \cdot g_j \cdot n^e \cdot T^s$
- Potência para a transmissão $P_{j,n^e} = E_{j,n^e}/(N - n^e)T^s$

- **Cálculo da taxa de transferência**
- ρ_p: p-ésima permutação do conjunto dos usuários
- $\rho_{p,i}$: i-ésimo elemento da permutação

$$r_{\rho_{p,i},n^e,p} = \frac{B \cdot n^i}{N} \log_2 \left(1 + \frac{P_{\rho_{p,i},n^e} \cdot g_{\rho_{p,i}}}{\sigma^2 + \sum_{k=i+1}^{J} P_{\rho_{p,k},n^e} \cdot g_{\rho_{p,k}}} \right)$$

Problema de Otimização

- Maximização da taxa total

$$\max_{x_{n^{\mathrm{e}},p}} \left\{ \sum_{n^{\mathrm{e}}=1}^{N-1} \sum_{p=1}^{M} \sum_{j=1}^{J} \left(r_{j,n^{\mathrm{e}},p} \cdot x_{n^{\mathrm{e}},p} \right) \right\}$$

- Restrições

$$\sum_{n^{\mathrm{e}}=1}^{N-1} \sum_{p=1}^{M} \left(r_{j,n^{\mathrm{e}},p} \cdot x_{n^{\mathrm{e}},p} \right) \geq R_j, \ \forall j \in \mathscr{J},$$

$$\sum_{n^{\mathrm{e}}=1}^{N-1} \sum_{p=1}^{M} x_{n^{\mathrm{e}},p} = 1.$$

Heurística

- n^e fixo para todos os usuários

$$R = \sum_{j=1}^{J} \left(\frac{B \cdot n^i}{N} \log \left(1 + \frac{P_{k_j,n^e} \cdot g_{k_j}}{\sigma^2 + \sum_{w=j+1}^{J} P_{k_w,n^e} \cdot g_{k_w}} \right) \right)$$

$$R = \frac{B \cdot n^i}{N} \log \left(\prod_{j=1}^{J} \left(1 + \frac{P_{k_j,n^e} \cdot g_{k_j}}{\sigma^2 + \sum_{w=j+1}^{J} P_{k_w,n^e} \cdot g_{k_w}} \right) \right)$$

$$R = \frac{B \cdot n^i}{N} \log \left(\prod_{j=1}^{J} \frac{f(j)}{f(j+1)} \right) = \frac{B \cdot n^i}{N} \log \left(\frac{f(1)}{f(J+1)} \right)$$

$$R = \frac{B \cdot n^i}{N} \log \left(1 + \frac{\sum_{j=1}^{J} P_{k_j,n^e} \cdot g_{k_j}}{\sigma^2} \right)$$

Heurística

- Taxa no pior caso

$$R_j^{\mathrm{w}} = \frac{B \cdot n^{\mathrm{i}}}{N} \log_2 \left(1 + \frac{P_{j,n^{\mathrm{e}}} \cdot g_j}{\sum\limits_{\forall w \neq j} (P_{w,n^{\mathrm{e}}} \cdot g_w) + \sigma^2} \right)$$

- Prioridade

$$p_j^{\mathrm{r}} = R_j^{\mathrm{w}} / R_j.$$

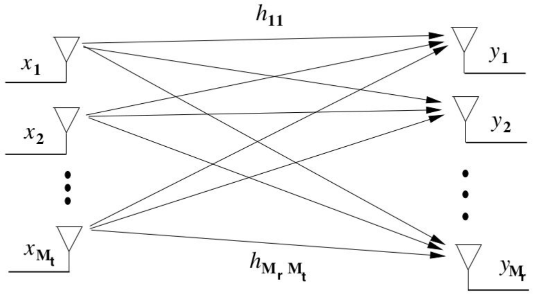
Heurística

Algoritmo 1: Heurística 1

Entrada: $\mathscr{C}$ (Conjunto com valores possíveis de n^{e})
for $i \in \mathscr{C}$ **do**
  Calcular R^{T} para $n^{\mathrm{e}} = i$ e armazenar em $R^{\mathrm{T}}(i)$
end
$n^{\mathrm{e}*} = \arg\max_{i \in \mathscr{C}} \left(R^{\mathrm{T}}(i)\right)$
Calcular a prioridade do usuário, $p_j^{\mathrm{r}}\ \forall j \in \mathscr{J}$, para $n^{\mathrm{e}} = n^{\mathrm{e}*}$ de acordo com a equação (6.4);
Obter a sequência de decodificação SIC, p^*, organizando $p_j^{\mathrm{r}}\ \forall j \in \mathscr{J}$ na ordem decrescente
Testar a validade da solução, isto é, se os requisitos de QoS da inequação (4.3b) estão satisfeitos com os valores de $n^{\mathrm{e}*}$ e p^* encontrados
if *Solução válida* **then**
  Saída: $n^{\mathrm{e}*}$ e p^*
end
if *Solução inválida* **then**
  Saída: 0
end

MIMO

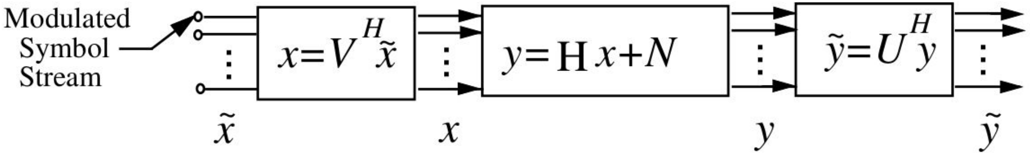
- Sistemas com múltiplas antenas no transmissor e no receptor
- Modelo



$$\begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_{M_r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & \cdots & h_{1M_t} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M_r1} & \cdots & h_{M_rM_t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_{M_t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ \vdots \\ n_{M_r} \end{bmatrix}$$

MIMO - Decomposição paralela

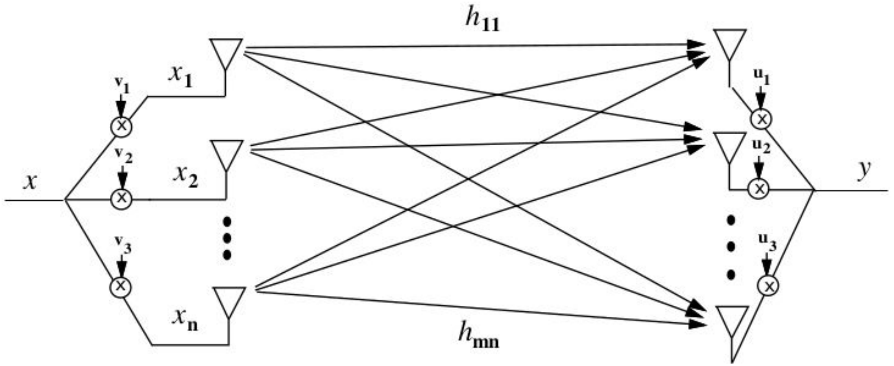
- Técnica para decompor o canal em canais paralelos independentes
- Decomposição em valores singulares: $H = U\Sigma V$



$$
\begin{aligned}
\tilde{\mathbf{y}} &= \mathbf{U}^H(\mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{n}) \\
&= \mathbf{U}^H(\mathbf{U}\boldsymbol{\Sigma}\mathbf{V}\mathbf{x} + \mathbf{n}) \\
&= \mathbf{U}^H(\mathbf{U}\boldsymbol{\Sigma}\mathbf{V}\mathbf{V}^H\tilde{\mathbf{x}} + \mathbf{n}) \\
&= \mathbf{U}^H\mathbf{U}\boldsymbol{\Sigma}\mathbf{V}\mathbf{V}^H\tilde{\mathbf{x}} + \mathbf{U}^H\mathbf{n} \\
&= \Sigma\tilde{\mathbf{x}} + \tilde{\mathbf{n}},
\end{aligned}
$$

MIMO - Beamforming

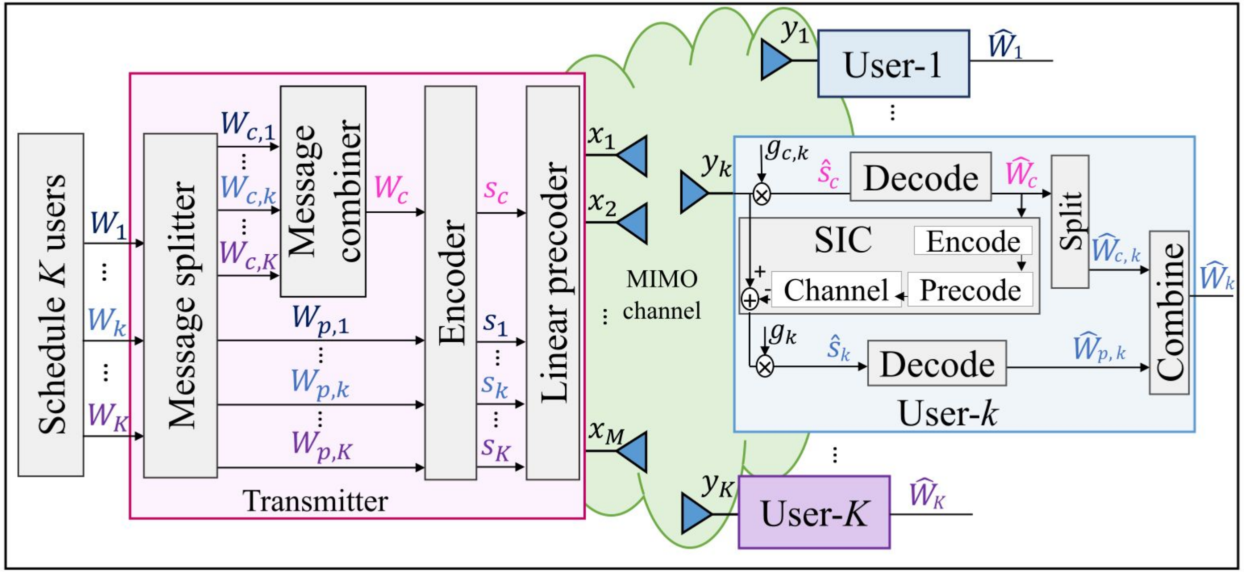
- Ganho de diversidade



$$y = \mathbf{u}^*\mathbf{H}\mathbf{v}x + \mathbf{u}^*\mathbf{n}$$

Rate-Splitting

- Esquema de acesso múltiplo que divide as mensagens dos usuários em partes comuns e privadas, as partes comuns são codificadas em uma única mensagem.



Rate-Splitting - Análise de taxa total

- Cenário com dois usuários

$$\mathbf{x} = \mathbf{p}_{\mathrm{c}} s_{\mathrm{c}} + \mathbf{p}_1 s_1 + \mathbf{p}_2 s_2.$$

$$y_k = \mathbf{h}_k^H \mathbf{x} + n_k, \; k = 1, \; 2$$

- Taxa da mensagem comum

$$R_{\mathrm{c}} = \min\left(\log_2\left(1 + \frac{\left|\mathbf{h}_1^H \mathbf{p}_{\mathrm{c}}\right|^2}{1 + \left|\mathbf{h}_1^H \mathbf{p}_1\right|^2 + \left|\mathbf{h}_1^H \mathbf{p}_2\right|^2}\right), \right.$$
$$\left. \log_2\left(1 + \frac{\left|\mathbf{h}_2^H \mathbf{p}_{\mathrm{c}}\right|^2}{1 + \left|\mathbf{h}_2^H \mathbf{p}_1\right|^2 + \left|\mathbf{h}_2^H \mathbf{p}_2\right|^2}\right)\right),$$

Rate-Splitting - Análise de taxa total

- Taxas das mensagens privadas

$$R_k = \log_2\left(1 + \frac{\left|\mathbf{h}_k^H \mathbf{p}_k\right|^2}{1 + \left|\mathbf{h}_k^H \mathbf{p}_j\right|^2}\right), k \neq j.$$

- Maximizar a taxa total através dos valores de **p1**, **p2**, **pc**

Rate-Splitting - Análise de taxa total

- Fixar as direções de **p1** e **p2** de tal maneira que

$$|\mathbf{h}_2^H \mathbf{p}_1| = 0, \; |\mathbf{h}_1^H \mathbf{p}_2| = 0, \; \text{and} \; |\mathbf{h}_k^H \mathbf{p}_k|^2 = \|\mathbf{h}_k\|^2 \rho P_k$$

- Escolher a direção de **pc** que maximiza a taxa comum

$$\max_{\mathbf{p}_c} \min \left(\frac{|\mathbf{h}_1^H \mathbf{p}_c|^2}{1+|\mathbf{h}_1^H \mathbf{p}_1|^2}, \frac{|\mathbf{h}_2^H \mathbf{p}_c|^2}{1+|\mathbf{h}_2^H \mathbf{p}_2|^2} \right), \text{s.t.} \; \|\mathbf{p}_c\|^2 = P_c.$$

$$\gamma_k^2 = 1 + |\mathbf{h}_k^H \mathbf{p}_k|^2 \qquad \tilde{\mathbf{h}}_k = \mathbf{h}_k / \gamma_k$$

$$\max_{\mathbf{p}_c} \min \left(|\tilde{\mathbf{h}}_1^H \mathbf{p}_c|^2, |\tilde{\mathbf{h}}_2^H \mathbf{p}_c|^2 \right), \; \text{s.t.} \; \|\mathbf{p}_c\|^2 = P_c.$$

Rate-Splitting - Análise de taxa total

- Direção que maximiza $\mathbf{p}_c = \sqrt{P_c}\mathbf{f}_c$

$$\mathbf{f}_c = \frac{1}{\sqrt{\lambda}}\left(\mu_1\tilde{\mathbf{h}}_1 + \mu_2\tilde{\mathbf{h}}_2 e^{-j\angle\alpha_{12}}\right),$$

$$\begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} \\ \alpha_{12}^* & \alpha_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{h}}_1^H \\ \tilde{\mathbf{h}}_2^H \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{h}}_1 & \tilde{\mathbf{h}}_2 \end{bmatrix}.$$

$$\lambda = \frac{\alpha_{11}\alpha_{22} - |\alpha_{12}|^2}{\alpha_{11} + \alpha_{22} - 2|\alpha_{12}|},$$

$$\begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{\alpha_{11} + \alpha_{22} - 2|\alpha_{12}|} \begin{bmatrix} \alpha_{22} - |\alpha_{12}| \\ \alpha_{11} - |\alpha_{12}| \end{bmatrix},$$

Rate-Splitting - Análise de taxa total

- Taxa total

$$R_s = \log_2\left(\gamma_1^2\right) + \log_2\left(\gamma_2^2 + \left|\mathbf{h}_2^H \mathbf{p}_c\right|^2\right).$$

- Alocação dos módulos usando WF $\quad P_1 + \bar{P}_2 = tP$

$$P_k = \max\left(\mu - \frac{1}{||\mathbf{h}_k||^2 \rho}, 0\right), k = 1, 2,$$

$$\mu = \frac{tP}{2} + \frac{1}{2\rho}\left[\frac{1}{||\mathbf{h}_1||^2} + \frac{1}{||\mathbf{h}_2||^2}\right]$$