

# PRINCÍPIOS DE SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES – TP547

## Trabalho Final I

Georgino da Silva Baltazar

### I. Introdução

O artigo utilizado para realização do trabalho final I, está em [1], nele, os autores apresentam um estudo que explora a eficiência espectral (SE) e a eficiência energética (EE) em sistemas de retransmissão full-duplex (FD) que operam no esquema amplify-and-forward (AF). A pesquisa destaca o impacto significativo da interferência residual de auto-interferência (RSI) devido ao cancelamento imperfeito de auto-interferência (SIC) na SE e EE. Propõe-se um esquema avançado de alocação de antenas (AA) que otimiza a distribuição das antenas no retransmissor FD para melhorar tanto a SE quanto a EE, esse esquema foi comparado com o Esquema de Alocação de Antenas Igual. No presente trabalho reproduzimos a figura 3 do artigo [1], utilizamos também a referência [2] como auxiliar para melhor compreensão da pesquisa apresentada em [1] e reprodução dos resultados.

### II. Modelo de Sistema e equações usadas

A figura 1, mostra o sistema de retransmissão full-duplex de dois saltos considerado no artigo estudado. O sistema é composto por uma fonte (S) comunicando-se com o destino (D) por meio de um relé (R). O canal entre S-R ( $h_{SR}$ ) e R-D ( $h_{RD}$ ) é modelado como canal Rayleigh flat fading não seletivo em frequência. A auto-interferência ( $H_{SI}$ ) também é considerada.

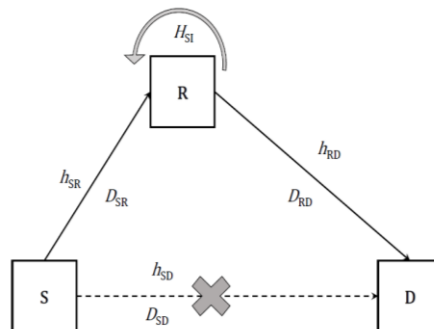


Fig. 1 – Modelo do Sistema

O modelo do Sistema inclui as seguintes características: O relay opera em modo full-duplex, transmitindo e recebendo no mesmo recurso tempo-frequência, enquanto S e D operam em modo half-duplex. A distância entre S-R é denotada por  $D_{SR}$  e entre R-D por  $D_{RD}$ , com  $D_{SD}$  representando a distância direta entre S e D. O número de antenas no relay é denotado por  $N_R$ . O canal direto entre S e D é assumido como obstruído, resultando na transmissão ocorrendo apenas via relay. A informação transmitida por S e

R é representada por  $s_x$  e  $r_x$ , respectivamente, com elementos i.i.d. com média zero e variância unitária. O canal de auto-interferência  $H_{SI}$  é modelado como canal Rayleigh flat fading não seletivo.

A equação (1) representa sinal recebido no retransmissor ( $r_y$ ), e a equação (2) representa o sinal recebido no destino ( $d_y$ ) em um sistema de comunicação com um retransmissor, como um sistema de 'retransmissão AF, que podem ser expressos por:

$$r_y = h_{SR}\sqrt{P_S S_X} + H_{SI}\sqrt{P_r r_X} + W_r \quad (1)$$

$$d_y = h_{RD}\sqrt{P_r r_X} + W_d \quad (2)$$

Onde,  $H_{SR}$  e  $H_{SI}$  são os canais da fonte para retransmissor e de auto-interferência, respectivamente,  $h_{RD}$  é o coeficiente do canal de retransmissão para o destino.  $P_S$  e  $P_r$ , são as potências de transmissão da fonte e do retransmissor.  $S_X$  e  $r_X$  são os símbolos de dados transmitidos pela fonte e retransmitido pelo retransmissor,  $w_r$  e  $w_d$ , o ruído branco gaussiano aditivo (AWGN) na fonte e no receptor de destino respectivamente.

Equações para Esquema de Alocação de Antenas Igual (Equal AA) e Ótimo (Optimal AA):

No esquema AA, as antenas são igualmente distribuídas para transmissão e recepção. O fator de alocação de antenas  $\eta_{equal}$  é fixado em 0,5. A SINR (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio) para o esquema Equal AA é expressa por:

$$\Gamma_{SINR_{equal}} = \frac{(1 - \eta_{equal})a_1\eta_{equal}a_2}{(1 - \eta_{equal})a_1\sigma^2 + (\eta_{equal}a_2 + \sigma^2)(b + \sigma^2)} \quad (3)$$

Onde,  $\eta_{equal}$  é o fator de alocação de antenas no relay,  $a_1$  é potência efetiva recebida no relay, ajustada pela perda de caminho da fonte ao relay [ $a_1 = NR \times P_S \times (1 - \rho)^{-\nu}$ ];  $a_2$  é a potência efetiva usada pelo relay para retransmitir o sinal ao destino, ajustada pela perda de caminho do relay ao destino [ $a_2 = NR \times P_r \times \rho^{-\nu}$ ];  $b$  variância da interferência residual própria (RSI) no relay [ $b = k \times P_r$ ].  $NR$  é o número de antenas no relay,  $P_r$ , potência de transmissão no relay,  $\rho$  é o parâmetro de localização,  $\nu$  o expoente de perda de caminho e  $k$  é o fator de RSI.

Já no esquema Optimal AA, as antenas são alocadas de forma a maximizar a SINR, o que envolve resolver uma equação quadrática para determinar o fator de alocação de antenas  $\eta_{optimal}$  para transmissão estressa por:

$$\eta_{optimal} = \frac{c_2 - \sqrt{c_2^2 - 4c_1c_2}}{2c_1} \quad (4)$$

Onde,

$$c_1 = a_1 - 2a_2b - a_2 + b \quad (5)$$

$$c_2 = a_1 + b + 1 \quad (6)$$

Neste esquema, a SINR é calculada através de (7):

$$\Gamma_{SINR_{optimal}} = \frac{(1 - \eta_{optimal})a_1\eta_{optimal}a_2}{(1 - \eta_{optimal})a_1\sigma^2 + (\eta_{optimal}a_2 + \sigma^2)(b + \sigma^2)} \quad (7)$$

Onde,  $\eta_{optimal}$  é o fator de alocação de antenas para transmissão calculado para maximizar a SINR,  $c_1$  e  $c_2$  são coeficientes calculados para a maximização da calculadas através das equações (5) e (6).

A métrica utilizada para avaliação do sistema reproduzida nesse estudo é a Eficiência Espectral (SE) dado por (8).

$$SE = \log_2(1 + \Gamma_{SINR}) \quad (8)$$

### III. Procedimento, resultados e conclusão

A figura 3 do artigo [1] foi reproduzida, e é mostrada em figura 2. As simulações das curvas dos resultados foram realizadas através do evento de Monte Carlo considerando 1000000 amostras. Os parâmetros de simulação são:  $N_r = 20$ ,  $\sigma^2 = -20$  dB,  $k = 0.01$ ,  $\nu = 2$ ,  $P_s = P_r = P_t$ , e  $P_c = 0$  dB. A Figura (3) mostra a Eficiência Espectral (SE) do sistema de relé FD em relação à potência de transmissão com  $\rho = 0.2$ . O código desenvolvido para gerar a figura encontra-se no repositório de Trabalhos da matéria no git nomeadamente [SimulTrabalhoFinal1.ipynb](#).

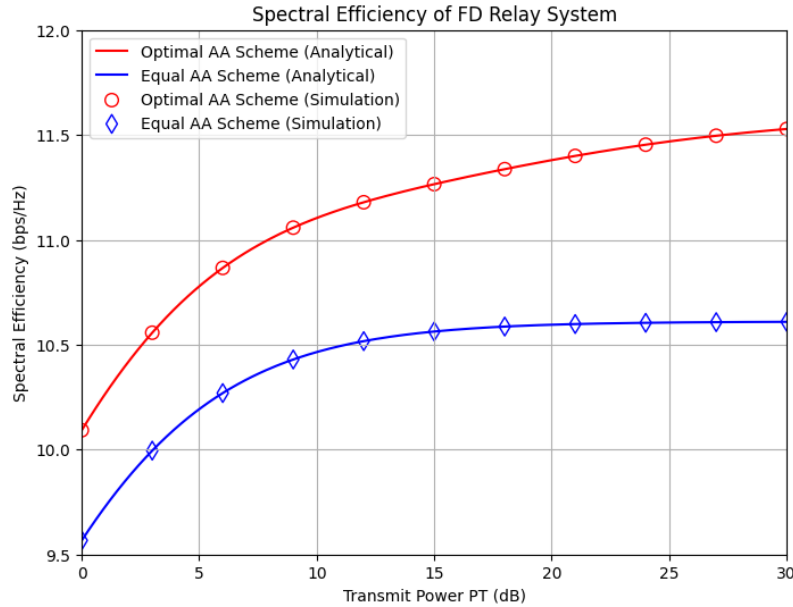


Fig. 2 – Modelo do Sistema

Na figura reproduzida, as linhas sólidas representam a curva analítica, enquanto os marcadores denotam os resultados da simulação. Os resultados da simulação estão em boa concordância com os resultados analíticos, o que corrobora a análise proposta. Observa-se também a superioridade do esquema ótimo de alocação de antenas sobre o esquema igual em termos de eficiência espectral, enfatizando a importância de escolher

uma estratégia de alocação de antenas que maximize o uso eficiente do espectro disponível, especialmente em sistemas de comunicação avançados como o full-duplex.

Concluindo este trabalho final 1, pode-se dizer que o esquema de alocação ótima proposto pelos autores de [1] oferece uma eficiência espectral superior em comparação ao esquema igual, especialmente à medida que a potência de transmissão aumenta, simulação corrobora a análise proposta no documento, evidenciando a eficácia da alocação ótima de antenas na melhoria da eficiência espectral em sistemas de retransmissão full-duplex.

#### IV. Referências

- [1] M. H. N. Shaikh, V. A. Bohara and A. Srivastava, "Performance Enhancement in Full-Duplex AF Relay System through Smart Antenna Allocation," 2020 IEEE 3rd 5G World Forum (5GWF), Bangalore, India, 2020, pp. 303-308, doi: 10.1109/5GWF49715.2020.9221287.
- [2] M. H. N. Shaikh, V. A. Bohara, P. Aggarwal, and A. Srivastava, "On EE-SE trade off for downlink full duplex MISO systems with selfenergy recycling," in 2019 IEEE 89th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Spring), Apr. 2019, pp. 1–5.