

# Estudo da SER para Sistema Cooperativo de Dois Saltos com Modelo de Desvanecimento $\alpha - \mu$

Dimas Irion Alves, Natanael Rodrigues Gomes, Nelson Jorge Schuch, Renato Machado, Leonardo Zavareze da Costa, Cláudio Machado Paulo.

**Resumo**—O artigo apresenta uma avaliação sobre a taxa de erro de símbolo (SER) para sistemas cooperativos de dois saltos, utilizando o protocolo Decodifica e Encaminha Seletivo (SDF) (*selective decode-and-forward*), considerando o canal com desvanecimento do tipo  $\alpha - \mu$ . Resultados de simulações são apresentados para diferentes distribuições de probabilidade, Rayleigh, Nakagami- $m$  e Weibull, obtidas das variações dos parâmetros  $\alpha$  e  $\mu$ .

**Palavras-Chave**—Canal *relay*, Desvanecimento  $\alpha - \mu$ , SER, Sistema cooperativo.

**Abstract**—This paper presents an evaluation of the symbol error rate (SER) for dual-hop cooperative systems using the Selective Decode and Forward (SDF) protocol, considering a  $\alpha - \mu$  fading channel model. Simulation results are presented for the different probability distributions, Rayleigh, Nakagami- $m$  and Weibull, obtained by varying the parameters  $\alpha$  and  $\mu$ .

**Keywords**—Relay channel,  $\alpha - \mu$  fading, SER, Cooperative systems.

## I. INTRODUÇÃO

O interesse em comunicações cooperativas tem crescido, principalmente, em função da diversidade espacial que pode ser explorada, o que reduz o efeito negativo do desvanecimento em redes *wireless*, além de ser uma boa solução para o problema da instalação de múltiplas antenas em pequenos terminais. No sistema, os enlaces de comunicação cooperativos (*relays*) auxiliam a fonte a repassar a informação para o nó destino, ou seja, o sistema comporta-se como uma rede MIMO (*multi-input multi-output*) virtual, enviando ao nó destino duas ou mais réplicas do sinal que são submetidos aos desvanecimentos de canais independentes (descorrelacionados) [1] e [2]. Vale salientar que o desempenho de um sistema de comunicação cooperativo depende do número de *relays* e do processamento que é realizado nas *relays* e no nó destino [2].

Uma estratégia de comunicação cooperativa bem sucedida é a Decodifica e Encaminha Seletiva (SDF) ideal, nela o *relay* recebe a informação da fonte e a processa. Caso a detecção seja bem sucedida no nó *relay*, este retransmite-a,

Dimas Irion Alves, Nelson Jorge Schuch, Leonardo Zavareze da Costa, Cláudio Machado Paulo, Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CCR/INPE - MCTI em colaboração com o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria LACESM/CT/UFSM, Santa Maria, RS. E-mails: dimasirion977@gmail.com, njschuch@gmail.com, leonardozavareze@gmail.com, paulo.claudiomachado@gmail.com. Natanael Rodrigues Gomes, Renato Machado, Depto. de Eletrônica e Computação - DELC/CT-UFSM, em colaboração com o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT - UFSM, Santa Maria, RS. E-mails: natanael.rgomes@gmail.com, renatomachado@ufsm.br.

caso contrário ele permanece inativo e o nó destino recebe informação vinda somente do nó fonte.

O trabalho apresenta um estudo sobre a taxa de erro de símbolo (SER) em um sistema cooperativo de dois saltos utilizando o protocolo SDF ideal, para o modelo de desvanecimento generalizado  $\alpha - \mu$ , apresentando as principais distribuições utilizadas em comunicações *wireless*. São abordados os efeitos da variação dos parâmetros  $\alpha$  e  $\mu$ , considerando diferentes condições de desvanecimento.

## II. MODELO DO SISTEMA

Considera-se um protocolo SDF ideal, em que o *relay* é capaz de detectar se a decodificação do sinal está correta [3]. Os períodos de transmissão são divididos em duas fases, na primeira, apenas a fonte transmite o sinal para o nó destino e nó *relay* e na segunda, o *relay* transmite para o nó destino. Em ambas as transmissões, o sinal é enviado por canais ortogonais. O esquema cooperativo considerado, em que “ $P_1$ ” representa a potência no nó fonte “ $S$ ”, “ $P_2$ ” a potência no nó *relay* “ $R$ ” e “ $D$ ” representa o nó destino, conforme é mostrado na Fig. 1.

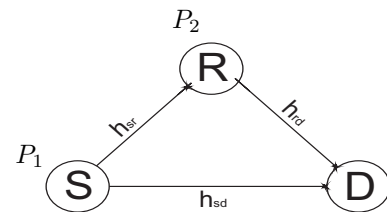


Fig. 1. Esquema cooperativo de dois saltos

Os sinais recebidos na primeira fase são definidos como

$$y_{sd} = \sqrt{P_1} x h_{sd} + \eta_{sd}, \quad (1a)$$

$$y_{sr} = \sqrt{P_1} x h_{sr} + \eta_{sr}, \quad (1b)$$

em que  $x$  é o símbolo de informação transmitido,  $h$  representa o coeficiente do canal de comunicação e  $\eta$  é o ruído Gaussiano branco aditivo. Na segunda fase o sinal transmitido é definido como

$$y_{rd} = \sqrt{\hat{P}_2} x h_{rd} + \eta_{rd}, \quad (2)$$

em que

$$\hat{P}_2 = \begin{cases} P_1 = P/2, & \text{se } x \text{ é estimado corretamente,} \\ 0, & \text{se } x \text{ não é estimado corretamente.} \end{cases}$$

sendo “ $P$ ” a potência normalizada.

No nó destino, os sinais  $y_{sd}$  e  $y_{rd}$  são combinados através de um combinador de máxima verossimilhança (MRC) (*maximum ratio combiner*), assumindo-se que os coeficientes dos canais são conhecidos no nó  $D$ .

### III. FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE $\alpha - \mu$

A distribuição generalizada  $\alpha - \mu$  proposta em [4] é utilizada para melhor representar as variações do desvanecimento de pequena escala, considerando condições de transmissão sem linha de visada direta. Os parâmetros que dão nome a distribuição ( $\alpha$  e  $\mu$ ) estão associados à não linearidade do ambiente e ao número de conjuntos do multipercurso, respectivamente. A função densidade de probabilidade (pdf) (*probability density function*) da distribuição pode ser definida como

$$f_r(R) = \frac{\alpha \mu^{\alpha \mu - 1}}{\hat{r}^{\alpha \mu} \Gamma(\mu)} \exp\left(-\mu \frac{r^{\alpha}}{\hat{r}^{\alpha}}\right), \quad (3)$$

em que  $\Gamma(\cdot)$  é a função Gamma,

$$\hat{r} = \sqrt[\alpha]{E(R^{\alpha})}, \quad (4)$$

em que  $E(\cdot)$  denota o operador esperança e  $R$  a envoltória de desvanecimento [4].

O modelo de desvanecimento  $\alpha - \mu$  inclui entre seus casos especiais a distribuição de Nakagami-m, em que  $\alpha = 2$  e  $\mu$  pode assumir diferentes valores dependendo das condições do ambiente de comunicação, e Weibull em que  $\mu = 1$  e  $\alpha$  pode assumir diferentes valores dependendo das condições do ambiente de comunicação. Para o caso especial em que  $\alpha = 2$  e  $\mu = 1$ , obtém-se o modelo de desvanecimento Rayleigh [4].

### IV. ANÁLISE DE SER

As curvas de taxa de erro de símbolo foram obtidas a partir de simulações do método de Monte Carlo, considerando a transmissão de  $10^6$  símbolos e modulação do tipo QPSK. Os coeficientes dos canais foram gerados aleatoriamente utilizando a pdf apresentada na Seção III. As variâncias do ruído e do canal foram normalizadas.

Os resultados obtidos são comparados na Fig.2, em que são utilizadas as distribuições do tipo Rayleigh (clássico) e  $\alpha - \mu$ , onde são apresentados o limitante superior, a aproximação assintótica e a SER analítica [3]. Apresentam-se, as curvas obtidas para o caso SISO (*single-input single-output*) e para a simulação do protocolo SDF ideal em ambientes de desvanecimento Rayleigh clássico e desvanecimento  $\alpha - \mu$ , com  $\alpha = 2$  e  $\mu = 1$ .

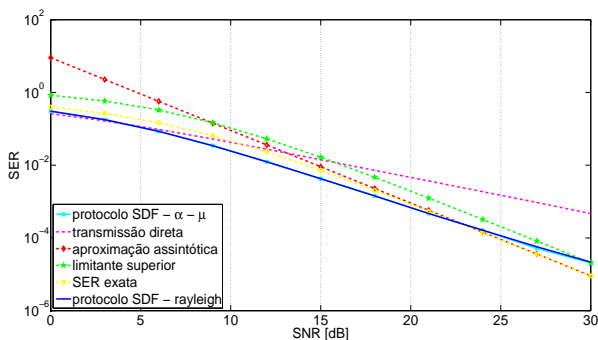


Fig. 2. Comparação da SER para distribuição Rayleigh e  $\alpha - \mu$ .

Várias curvas de SER para diferentes valores dos parâmetros  $\alpha$  e  $\mu$  são apresentadas na Fig.3. Essa figura revela a grande variação de desempenho que uma mesma estratégia de comunicação pode apresentar simplesmente pela mudança do ambiente em que a comunicação está sendo efetuada.

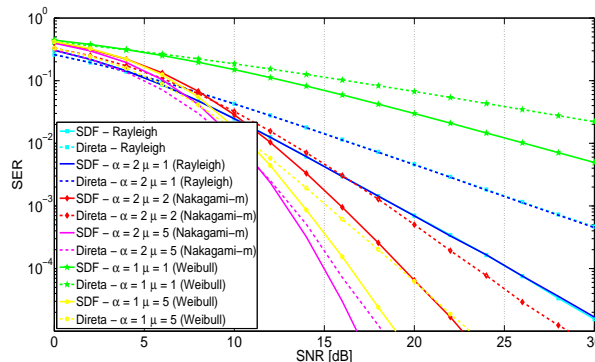


Fig. 3. SER para distribuição Rayleigh e  $\alpha - \mu$  com variações nos valores de  $\alpha$  e  $\mu$ .

### V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dos resultados pode-se observar, através da comparação entre a distribuição generalizada  $\alpha - \mu$  e a Rayleigh clássica, que a  $\alpha - \mu$  apresenta comportamento semelhante ao da distribuição Rayleigh quando  $\alpha = 2$  e  $\mu = 1$ , que é um caso especial das distribuições Weibull e Nakagami-m. Nota-se que a variação dos parâmetros possui pequena influência na SER para uma SNR baixa. Porém, a medida que os valores SNR aumentam, maiores são os efeitos dos parâmetros  $\alpha$  e  $\mu$ . Nota-se uma diferença significativa de desempenho quando o protocolo SDF ideal é considerado e diferentes valores para  $\alpha$  e  $\mu$  são adotados. Resultado que, aparentemente simples, revela quanto importante é o uso de uma modelagem adequada do canal de comunicação para a análise de um protocolo (ou esquema) de comunicação. O bom desempenho de um protocolo de comunicação em determinado ambiente não, necessariamente, é garantia que o mesmo protocolo apresentará um mesmo ganho de desempenho em outro ambiente de comunicação.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem, a Comissão Organizadora do SBTr'12, pela oportunidade de apresentar os resultados e a FAPERGS pelo apoio financeiro.

### REFERÊNCIAS

- [1] A. S. Ibrahim, A. K. Sadek, W. Su, and K. J. R. Liu, "Cooperative communications with partial channel state information: When to cooperate?," *Global Telecommunications Conference*, 2005. GLOBECOM '05. IEEE, vol.5, Dez. 2005.
- [2] T. Wang, A. Cano, G. B. Giannakis, and J. N. Laneman, "High-performance cooperative demodulation with decode-and-forward relays," *Communications, IEEE Transactions on*, vol.55, no.7, pp.1427-1438, Jul 2007.
- [3] K. J. Ray Liu, A. Kwasinski, W. Su, and A. Sadek, *Cooperative Communications and Networking*. Cambridge University Press, 2008.
- [4] M. D. Yacoub, "The  $\alpha - \mu$  distribution: a physical fading model for the Stacy distribution," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 56, no. 1, pp. 27-34, Jan. 2007.