

Efeito do Erro de Estimação em Canais Sob Desvanecimento Generalizado $\alpha - \kappa - \mu$

Higo Thaian Pereira da Silva, Fabrício B. S. Carvalho e Waslon Terllizie A. Lopes

Resumo—O desvanecimento em pequena escala é uma característica inerente a transmissões sem fio, por isso, é importante conhecer métodos estatísticos e analíticos para estimar os efeitos do desvanecimento. Este artigo apresenta uma análise dos impactos do erro de estimação na taxa de erro de bit em canais com desvanecimento $\alpha - \kappa - \mu$. Mostra-se, por meio de simulações, a degradação que o erro de estimação provoca na recepção do sinal.

Palavras-Chaves—Comunicações sem Fio, desvanecimento generalizado, erro de estimação, taxa de erro de bit.

Abstract—The small scale fading is an inherent characteristic to wireless transmissions. Therefore, it is important to know statistical and analytical methods to estimate the fading effects. This paper presents an analysis of the impact of estimation error on bit error rate in $\alpha - \kappa - \mu$ fading channels. It is shown, by simulations, the degradation of the estimation error causes in signal reception.

Index Terms—Wireless communication, generalized fading, estimation error, bit error rate.

I. INTRODUÇÃO

A crescente necessidade por informação requer o desenvolvimento de tecnologias de comunicação sem fio, visto que esta tecnologia viabiliza, por exemplo, a mobilidade dos usuários [1]. Nesse sentido, faz-se necessário o estudo de modelos para o canal de comunicações sem fio de modo a garantir a qualidade da informação no processo de recepção dos sinais transmitidos pelo canal sem fio.

Sendo assim, é necessário o estudo dos vários efeitos que o sinal transmitido sofre por toda extensão do canal sem fio. Em particular, o desvanecimento provoca flutuações aleatórias na amplitude e na fase dos sinais transmitidos e, como consequência, tais efeitos levam a uma degradação do sistema de comunicação sem fio devido ao aumento da taxa de erro de bit (BER – *Bit Error Rate*) [2]. Existem vários modelos estatísticos que caracterizam o comportamento do desvanecimento, sendo alguns dos mais citados na literatura os modelos: Rayleigh, Nakagami-m, Hoyt, Rice e Weibull. Neste trabalho será abordado o modelo generalizado $\alpha - \kappa - \mu$ [1], [4], cujos parâmetros podem ser ajustados para se adaptar a vários dos modelos de desvanecimento.

Para recepção adequada dos sinais, o receptor deve estimar a amplitude do desvanecimento em cada instante de tempo. No entanto, em virtude do ruído aditivo e da variação temporal do desvanecimento, o receptor pode não conseguir fazer uma

estimativa perfeita do canal (I-CSI – *Ideal Channel State Information*) [3]. Os erros de estimação do canal podem levar a erros de detecção se o sistema não estiver suficientemente preparado.

Este artigo analisa os efeitos do erro de estimação sobre a BER em um canal com desvanecimento generalizado $\alpha - \kappa - \mu$ e está organizado da seguinte maneira: a Seção II apresenta o modelo do sistema de comunicação sem fio abordado no trabalho. Na Seção III é detalhado o modelo de desvanecimento $\alpha - \kappa - \mu$. Os resultados de simulação são mostrados na Seção IV e a Seção V é dedicada as conclusões do trabalho.

II. MODELO DO SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

Considere o sistema de comunicação sem fio em que o canal é afetado por um desvanecimento lento e não-seletivo em frequência. Nesse caso, o sinal recebido $s_r(t)$ pode ser descrito como

$$s_r(t) = rs(t) + n(t), \quad 0 \leq t \leq T \quad (1)$$

em que $s(t)$ é o sinal transmitido, $n(t)$ é o ruído aditivo gaussiano branco (*Additive White Gaussian Noise* - AWGN) modelado por um processo estocástico complexo de média nula e densidade espectral de potência $N_0/2$, r é a magnitude do desvanecimento e T é o tempo de símbolo.

III. DESVANECIMENTO $\alpha - \kappa - \mu$

No modelo de sistema de comunicação sem fio utilizado na Seção II, a envoltória do desvanecimento pode ser descrita por [1], [4]

$$R = \left(\sqrt{\sum_{i=1}^{\mu} (X_i + p_i)^2 + (Y_i + q_i)^2} \right)^{\frac{2}{\alpha}} \quad (2)$$

em que α modela a não-linearidade do canal, μ quantifica o número de ondas parciais que possuem atrasos temporais semelhantes (*clusters*) [1], X_i e Y_i são variáveis aleatórias gaussianas de média nula e variâncias σ^2 , e por sua vez, p_i e q_i são as componentes médias de fase e quadratura. O parâmetro κ modela a razão entre a potência da componente de visada direta (LOS – *Line-of-Sight*) e as componentes espalhadas sendo expresso por [1], [4]

$$\kappa = \sum_{i=1}^{\mu} \frac{(p_i^2 + q_i^2)}{2\mu\sigma^2}. \quad (3)$$

Por fim, a distribuição $\alpha - \kappa - \mu$ (considerando a envoltória normalizada $P = \frac{\Gamma}{\sqrt{E[\Gamma^\alpha]}}$, em que $E[\cdot]$ é o operador valor esperado), é dada por [4]

$$f_P(p) = \frac{\alpha \kappa^{\frac{1-\mu}{2}} (1 + \kappa)^{\frac{1+\mu}{2}} \mu p^{\frac{\alpha(1+\mu)}{2} - 1}}{e^{\mu(\kappa + p^\alpha + \kappa p^\alpha)}} \times \dots \quad (4)$$

$$I_{\mu-1} \left(2\sqrt{\kappa(1 + \kappa)\mu p^{\frac{\alpha}{2}}} \right)$$

em que $I_\nu(\cdot)$ é a função de Bessel modificada de primeira espécie e $\Gamma(\cdot)$ é a função Gamma de Euler. Esta distribuição é dita generalizada pois ajustando-se os parâmetros $\alpha - \kappa - \mu$ pode-se chegar a distribuições conhecidas, como Rayleigh, Rice ou Hoyt [1], [4].

IV. RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

As simulações foram baseadas na transmissão de 1000 mensagens, cada uma composta de 250 símbolos, sendo 50 símbolos piloto utilizados na estimação do desvanecimento (vazão de 80%) em um esquema de modulação 64-QAM. Nesse cenário, a envoltória estimada pode ser expressa por

$$\hat{r}(t) = r(t) + \delta(t) \quad (5)$$

em que $\delta(t)$ é um processo estocástico gaussiano de média nula que modela o erro de estimação. Supondo que o desvanecimento é constante durante uma mensagem completa de N ($N = 250$) símbolos, a estimação do desvanecimento pode ser feita por K ($K = 50$) símbolos pilotos conhecidos no transmissor e no receptor. Assim, a variância do erro de estimação pode ser expressa por [4]

$$\text{Var}[\delta(t)] = \frac{N_0}{2KE_s} \quad (6)$$

sendo E_s é a energia do símbolo. Para estimar o desvanecimento, foi considerado que a média do ruído gaussiano branco converge a aproximadamente zero com K amostras, o que leva a

$$\hat{r}(t) = \frac{E \left[\sum_{i=1}^K r s_i(t) + n_i(t) \right]}{E \left[\sum_{i=1}^K s_i(t) \right]} \quad (7)$$

em que os sinais s_i são símbolos pilotos.

A Fig. 1 mostra a curva de BER do sistema considerando a estimação do desvanecimento $\alpha - \kappa - \mu$ para três diferentes números de *clusters* ($\mu = 1, 10, 100$) com canal sem distorção de envoltória ($\alpha = 2$) e potência de visada direta igual a potência das componentes espalhadas ($\kappa = 1$). Como esperado, percebe-se que os casos com maior número de *clusters* ($\mu = 10, 100$) levam a uma menor BER. Por exemplo, para uma SNR de 15 dB a BER diminui de aproximadamente 10^{-2} para 10^{-3} quando μ varia de 1 para 100.

A Fig. 2 mostra o comportamento da variância do erro de estimação comparado com a curva teórica (Equação 6) em função da relação sinal-ruído. Como esperado, percebe-se que quanto maiores valores de SNR e de κ mais próximo a variância simulada fica de seu valor teórico.

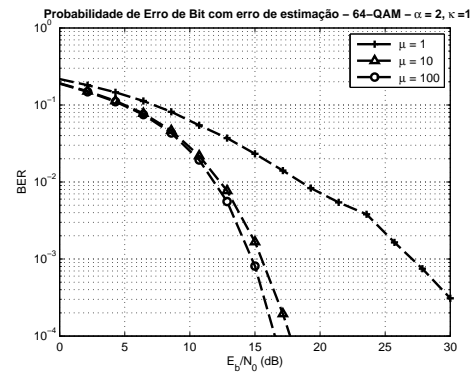


Fig. 1. Taxa de erro de bit calculada para diferentes casos de desvanecimento em função da relação sinal-ruído por bit (E_b/N_0) considerando o erro de estimação.

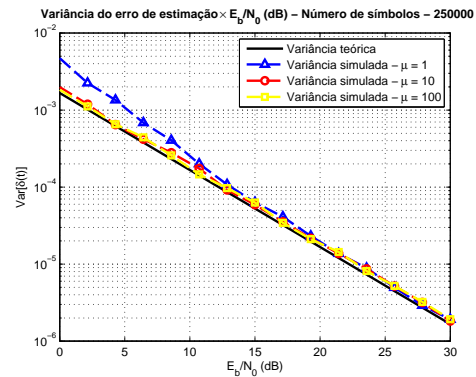


Fig. 2. Comportamento da variância do erro de estimação em função da SNR em vários casos de desvanecimento em comparação com o resultado teórico.

V. CONCLUSÕES

Este artigo mostrou que o desempenho de um sistema de comunicações sem fio modelado com desvanecimento generalizado pode ser significativamente afetado na presença de erros de estimação. Mostrou-se por meio de simulações que a presença de um maior número de *clusters* leva a uma redução da BER mesmo considerando os erros de estimação de canal. Como trabalhos futuros os autores pretendem estudar técnicas mais sofisticadas de estimação, e.g., Filtro de Kalman, para melhorar o desempenho.

REFERÊNCIAS

- [1] F. P. Batista, *Estimação de Parâmetros por Máxima Verossimilhança para Ambientes Generalizados do Canal sem Fio*. Dissertação de Mestrado, Inatel – Instituto Nacional de Telecomunicações, Dezembro 2015.
- [2] F. B. S. Carvalho, W. T. A. Lopes e M. S. Alencar. “Sensoriamento Espectral Cognitivo Baseado em Testes Estatísticos em Canais Sujeitos ao Desvanecimento Nakagami- m ”. *Anais do XXXIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBrT 2015)*, pp. 632–636, Juiz de Fora, MG, Setembro 2015.
- [3] W. T. A. Lopes and M. S. Alencar. “Performance of a Rotated QPSK Based System in a Fading Channel Subject to Estimation Errors”. *IEEE International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC’2001)*, pp. 27–30, Belém, PA, Brasil, Agosto 2001.
- [4] G. Fraidenraich e M. D. Yacoub, The $\alpha - \eta - \mu$ and $\alpha - \kappa - \mu$ Fading Distributions. *Proceedings of the IEEE Ninth International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications*, pp. 16–20, Manaus, AM, August 2006.