

AVALIAÇÃO DE ESTIMADORES DE CANAIS CLÁSSICOS PARA SISTEMAS COOPERATIVOS COM MOBILIDADE

Dimas Irion Alves

Aluno de Graduação do curso de Engenharia Elétrica - UFSM
dimasirion977@gmail.com

Leonardo Zavareze da Costa

Aluno de Graduação do curso de Engenharia Elétrica - UFSM
leonardozavareze@gmail.com

Renato Machado

Professor do curso de Engenharia Elétrica – UFSM
renatomachado@ieee.org,

Nelson Jorge Schuch

Pesquisador Titular Sênior III – CRS/INPE – MCTI
njschuch@lancesm.ufsm.br

Resumo. Avaliação da taxa de erro de bits (BER) é apresentada, considerando os estimadores LMS e RLS, para um sistema cooperativo que utiliza o protocolo SDF (Selective Decode and Forward) com mobilidade relativa entre os nós. São realizadas simulações do tipo Monte Carlo para diferentes velocidades relativas entre os nós.

Palavras-chave: Estimadores de canal. Sistemas cooperativos. Sistemas com mobilidade.

1. INTRODUÇÃO

Sistemas cooperativos foram originalmente propostos em (SENDONARIS, 2003). O uso de comunicações cooperativas tem sido estudado para diversas aplicações tais como: telefonia celular, redes WLAN (Wireless Local Area Network), redes de sensores e comunicações veiculares.

O conceito de diversidade cooperativa está baseado na natureza *broadcast* do canal wireless (RAY LIU, 2009). Pode-se interpretar os nós que compõem uma rede como antenas distribuídas no sistema wireless (Sistema MIMO distribuído), ou

seja, os nós podem cooperar na transmissão e no processamento da informação (Houssain, 2011).

A avaliação de um sistema cooperativo com mobilidade é apresentada, que utiliza o protocolo SDF (Selective Decode and Forward). Foram avaliados os estimadores clássicos LMS e RLS para diferentes velocidades relativas do sistema.

A organização da apresentação do Trabalho consiste: A Seção 2 introduz o modelo de sistema utilizado. A Seção 3 trata dos estimadores clássicos utilizados na avaliação do sistema. A Seção 4 apresenta o modelo de canal de comunicação com mobilidade, considerado. A Seção 5 trata dos resultados obtidos através de simulações, a partir dos quais se originam discussões sobre o desempenho do sistema para diferentes mobilidades relativas. A Seção 6, discute as considerações finais do trabalho.

2. MODELO DO SISTEMA

Considera-se um sistema cooperativo utilizando o protocolo SDF, TDMA (Time Division Multiplexing Access) e Half-Duplex. O sistema é composto por um nó fonte *S*, um nó fonte *D* e um nó *relay R*.

O modelo do sistema proposto é apresentado na Fig. 1.

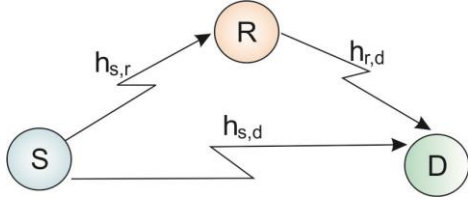


Fig. 1 – Modelo do sistema.

No primeiro *slot* de tempo a fonte transmite sua informação, simultaneamente, para o nó destino e para o nó relay. Os sinais recebidos no primeiro *slot* de tempo são definidos como:

$$y_{S,R} = \sqrt{P_1} s h_{S,R} + \eta_{S,R}, \quad (1)$$

$$y_{S,D} = \sqrt{P_1} s h_{S,D} + \eta_{S,D}, \quad (2)$$

em que, s é o sinal enviado, P_1 é a potência transmitida no primeiro *slot* de tempo, h é o coeficiente do canal de desvanecimento e η é o ruído Gaussiano branco aditivo, modelado com uma variável aleatória complexa de média zero e variância N_0 .

No segundo *slot* de tempo, o decodifica, recodifica e reenvia a informação para o nó destino, desde que a SNR instantânea do link fonte-relay seja maior que determinado *threshold*. Caso contrário, o relay permanece inativo. O sinal recebido pelo destino no segundo *slot* de tempo é definido como:

$$y_{r,d} = \begin{cases} \sqrt{P_2} \hat{s} h_{r,d} + \eta_{r,d}, & P_1 |h_{s,r}|^2 \geq L \\ 0, & P_1 |h_{s,r}|^2 < L \end{cases} \quad (3)$$

em que, $\hat{s}$ é o símbolo recodificado, L é o *threshold* e P_2 é a potência transmitida no segundo *slot* de tempo. Para o sistema, as potências P_1 e P_2 são iguais à metade da potência média transmitida por símbolo.

No nó destino, os sinais y_{sd} e y_{rd} são combinados através de um combinador de máxima verossimilhança (MRC), assumindo-se que os coeficientes de canais são estimados utilizando as técnicas que serão abordadas na Seção 3.

3. ESTIMADORES DE CANAL

3.1 Estimador LMS

O algoritmo LMS (*Least Median Square*) é uma simplificação do método dos gradientes. Nele, o vetor gradiente é obtido através de uma aproximação usando métodos estocásticos (MIRANDA, 2002). Pode-se definir a atualização dos parâmetros do estimador LMS como:

$$\omega(k+1) = \omega(k) + \mu r(k) e^*(k), \quad (4)$$

em que, $r(k)$ é a k -ésima saída do canal, w é o vetor de coeficientes do filtro, e é o erro de estimação e μ é o fator de passo.

O passo adaptativo para o estimador LMS deve seguir determinadas restrições para que o algoritmo convirja para a solução de Wiener. Uma das propostas mais aceitas é:

$$0 < \mu < \text{tr}\{R\}, \quad (5)$$

em que, $\text{tr}\{R\}$ é o somatório de todos os termos da diagonal principal da matriz de auto-correlação R (MIRANDA, 2002). Para o estimador utilizado neste trabalho o fator de passo é fixado de 0,1.

3.2 Estimador RLS

O estimador RLS chega a uma solução semelhante à Equação de Wiener-Hopf, em que as matrizes de auto-correlação e correlação cruzada são substituídas por estimativas temporais das mesmas (MIRANDA, 2002). Deste modo, pode-se definir o estimador RLS através das seguintes equações:

$$g(k) = \frac{\lambda^{-1} R_D^{-1}(k-1) r(k)}{1 + \lambda^{-1} r^H(k) R_D^{-1}(k-1) r(k)}, \quad (6)$$

$$\omega(k+1) = \omega(k) g(k) e^*(k), \quad (7)$$

$$R_D^{-1}(k) = \frac{[1 - g(k) r^H(k)] R_D^{-1}(k-1)}{\lambda}, \quad (8)$$

em que, $g(k)$ é o vetor de ganho, λ é o fator de esquecimento e $R_D^{-1}(0)$ é a variância do vetor de símbolos de treinamento.

É importante ressaltar que o fator de esquecimento (λ) varia de 0,9 a 0,98 e, dependendo de quão variante for o canal, menor é o fator de esquecimento. Portanto, nota-se que o algoritmo RLS, ao contrário do LMS, independe do canal, ou seja, o vetor ganho sempre aponta para a solução ótima (MIRANDA, 2002). Para o trabalho foi fixado o fator de esquecimento de 0,96.

4. MODELO PARA MOBILIDADE

O modelo de mobilidade utilizado no trabalho foi o modelo adaptado para comunicações cooperativas, adotado por Loiola (2008). Segundo o modelo WSSUS (*Wide-Sense Stationary Uncorrelated Scattering*) de Bello (1963), os coeficientes de canais podem ser modelados como variáveis aleatórias Gaussianas complexas, de média zero e com uma função de autocorrelação temporal, definida como:

$$E[h_k(h_t)^*] \approx J_0(2\pi F_D T |k - t|), \quad (9)$$

em que, $E[.]$ denota o fator esperança matemática, k é o bloco transmitido, T é a taxa de transmissão de símbolos, $F_D T$ é o desvio Doppler normalizado e J_0 é a função Bessel do primeiro tipo e ordem zero.

Devido a Equação (9) não ser racional, é necessário realizar uma aproximação para tentar descrever a dinâmica do canal de comunicação de maneira satisfatória, a qual é modelada por um processo auto-regressivo (AR). Nota-se que o modelo AR de baixa ordem já é suficiente para simular o fenômeno de maneira satisfatória. No trabalho, considera-se o modelo AR de primeira ordem e os coeficientes de canais são descritos como:

$$H_k^{ind} = F H_{k-1}^{ind} + w_k, \quad (10)$$

em que, H_k é uma matriz $N \times 1$ em que N é o número de links de comunicação do sistema, *ind* indica que os coeficientes de canais são totalmente decorrelacionados, w_k é uma matriz $N \times 1$ do ruído de excitação Gaussiano, circularmente simétrico, de média zero e matriz de covariância definida como:

$$Q = \sigma_w^2 I_N, \quad (11)$$

em que,

$$\sigma_w^2 = (1 - |\beta|^2) P_k, \quad (12)$$

$$P_k = E[|h_k^N|^2], \quad (13)$$

$$\beta = J_0(2\pi F_D T). \quad (14)$$

F é definido como:

$$F = \beta I_N, \quad (15)$$

5. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

Para as simulações, considera-se que os símbolos possuem modulação digital do tipo QPSK; a utilização de um número máximo de 10^8 símbolos e um erro máximo de 10^6 por ponto de SNR média; cada frame é composto por 250 símbolos, sendo 10% para treinamento; os coeficientes dos canais de desvanecimento são totalmente decorrelacionados e variam de acordo com a distribuição Rayleigh para cada frame e de acordo com (10) para cada símbolo; o *threshold* foi otimizado através de simulações numéricas; a variância dos ruídos AWGN são unitárias; taxa de transmissão 288 kb/s (144 kS/s em que S significa símbolos) e uma frequência de portadora de 1.9 GHz.

O desempenho de taxa de erro de bit (BER) dos sistemas para uma mobilidade relativa dos links fonte-destino e relay-destino de 60 km/h ($F_D T = 7,5 \cdot 10^{-4}$) é apresentado na Fig. 2. A Fig. 3 apresenta o desempenho de BER dos sistemas para uma mobilidade relativa dos links fonte-destino e relay-destino de 120 km/h ($F_D T = 1,5 \cdot 10^{-3}$).

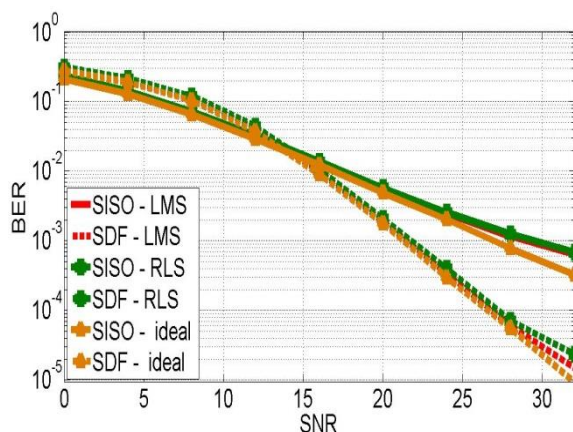


Fig. 2 – Avaliação do sistema com mobilidade relativa de 60 km/h.

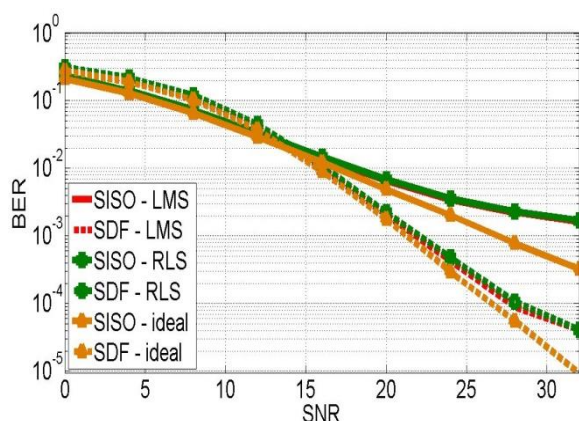


Fig. 3 – Avaliação do sistema com mobilidade relativa de 120 km/h.

Como observado nas Fig. 2 e 3, ambos estimadores conseguem bom desempenho para a velocidade de 60 km/h, porém existe uma grande perda de desempenho para a velocidade de 120 km/h.

Ao contrário do esperado, o estimador LMS obteve um melhor desempenho que o RLS. Este resultado ocorreu devido aos fatores de passo e de esquecimento não terem sido otimizados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentou a avaliação de um sistema cooperativo com mobilidade, que utiliza o protocolo SDF. Foram avaliados os estimadores clássicos LMS e RLS para diferentes velocidades relativas do sistema. Foi verificado que ambos os estimadores conseguem manter seu desempenho para velocidades relativas próximas de até 60

km/h, porém, para velocidades superiores, como 120 km/h, os sistemas perdem desempenho devido aos estimadores, para estas situações é necessária a utilização de estimadores mais robustos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Comissão Organizadora do XXV CRICTE - 2013 pela oportunidade de apresentação dos nossos resultados. O trabalho foi parcialmente financiado pela FAPERGS e pelo CNPq.

7. REFERÊNCIAS

SENDONARIS A.; ERKIP E.; AAZHANG B.. **User Cooperation Diversity, Part I: System Description**, IEEE Transactions on Communications, vol. 51(11), p.1927-1938, Novembro 2003.

RAY LIU, K. J.; et al. A. **Cooperative Communications and Networking**. 1st ed. Cambridge, 2009.

HOSSAIN, E.; KIM, D.; BHARGAVA, v. k. **Cooperative Cellular Wireless Networks**. 1st ed. Cambridge, 2011.

MIRANDA, A. L. S. **Implementação de um Filtro Equalizador LMS num Kit DSK TMS320C6711..** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade de Brasília. Brasília, 2002. 54 p.

LOIOLA, M. B.; LOPES, R. R. **Estimação Semicega de Canais com Correlação Usando Filtro de Kalman e Códigos Espaço-Temporais**, XXVI Simp. Bras. de Telecomun. - SBrT'08, Rio de Janeiro, Brasil, Setembro 2008.

BELLO, P. A. **Characterization of Randomly Time-Variant Linear Channels**, IEEE Trans. Commun. Syst., vol. CS-11, p. 360-393, Dezembro 1963.