

Simulador de Canais Ionosféricos em GNU Radio

Felipe Barcellos Brasil, Alexandre Amorim Pereira Júnior e Ernesto Leite Pinto

Resumo— Este artigo apresenta um simulador em tempo real de modelos usuais para canais ionosféricos na faixa de HF. O simulador foi desenvolvido utilizando o software livre e de código aberto GNU Radio. Diversos resultados numéricos de validação deste simulador são apresentados e ilustram a sua eficácia.

Palavras-Chave— HF, GNU Radio, Simulador de Canal.

Abstract— A simulator of usual ionospheric HF channel models is presented. This simulator has been implemented on using of the open source software GNU radio. Several numerical results of validation are presented and attest the simulator effectiveness.

Keywords— HF, GNU Radio, Channel Simulator.

I. INTRODUÇÃO

As comunicações a longa distância na faixa de frequências de HF (3 a 30 MHz) são possibilitadas por sucessivas refrações da onda eletromagnética na ionosfera. Apesar da limitação em largura de faixa, da seletividade em frequência e da variabilidade com o tempo dos canais ionosféricos, trata-se de um recurso alternativo de grande interesse para um país de dimensões continentais como o Brasil.

Este trabalho trata do desenvolvimento de um simulador em tempo real de canais HF utilizando o software GNU Radio [1]. O simulador desenvolvido implementa diversos modelos usuais de canais HF padronizados pelo setor de comunicações via rádio da União Internacional de Telecomunicações (UIT) [2], constituindo-se numa ferramenta útil para avaliação do desempenho de novas técnicas de modulação, equalização e codificação de canal neste ambiente de transmissão.

O artigo está organizado em cinco seções. Na segunda seção são definidos os modelos de canal implementados, na terceira descreve-se o simulador e na quarta são apresentados resultados de diversos testes realizados para sua validação. Na última seção é apresentada uma breve conclusão do trabalho.

II. MODELOS DE CANAIS DE HF

Os modelos adotados pela UIT são da classe GWSS - US (de *Gaussian Wide Sense Stationary - Uncorrelated Scattering*) [3] com dois valores de retardo associados a camadas distintas de reflexão virtual na ionosfera. Denotando por $x(t)$ o equivalente em banda básica do sinal de entrada, a saída do modelo de canal é dada por:

$$y(t) = g_0(t)x(t) + g_1(t)x(t - \tau_r), \quad (1)$$

sendo $g_0(t)$ e $g_1(t)$ os coeficientes variantes no tempo associados às camadas ionosféricas e τ_r o retardo relativo da reflexão na camada mais elevada.

Felipe Barcellos Brasil, Alexandre Amorim Pereira Júnior e Ernesto Leite Pinto, Instituto Militar de Engenharia, Departamento de Engenharia Elétrica, Laboratório de Comunicações Digitais, Rio de Janeiro - RJ, Brasil, E-mails: fbrasil.ime@gmail.com, amorim.alexandre@ime.eb.br, ernesto@ime.eb.br.

Os coeficientes $g_0(t)$ e $g_1(t)$ são modelados como processos Gaussianos complexos independentes, estacionários, de média nula, distribuição instantânea circularmente simétrica e espectros de potência idênticos associados ao efeito de espalhamento em frequência (Doppler) produzido pelo canal. Os modelos de canal da UIT são normalizados em potência, de modo que os coeficientes $g_0(t)$ e $g_1(t)$ têm variância 1/2.

O modelo de espectro Doppler adotado foi estabelecido com base em dados experimentais [4] e pode ser dado por:

$$S(f) = \sqrt{\frac{2}{\pi f_d^2}} \cdot e^{-\frac{2f^2}{f_d^2}}, \quad (2)$$

onde f_d é o valor do espalhamento Doppler.

Nesta modelagem os parâmetros τ_r e f_d podem ser ajustados para criar diferentes condições de seletividade em frequência e variabilidade com o tempo, respectivamente. Os modelos da UIT mais conhecidos e utilizados refletem 3 combinações particulares destes efeitos caracterizadas pelos seguintes pares de valores $(\tau_r; f_d)$, dados em ms e Hz: (0,5;0,1), (1;0,5) e (2;1). Estes modelos específicos são conhecidos como canais HF bom, moderado e ruim, respectivamente.

III. IMPLEMENTAÇÃO DO SIMULADOR

Foram adotados como parâmetros de entrada deste simulador a taxa de amostragem dos sinais transmitidos (f_a), o espalhamento Doppler (f_d), o atraso relativo (τ_r) e a razão entre as variâncias de $g_1(t)$ e $g_0(t)$, que será denotada por r .

Os coeficientes do canal são obtidos pela filtragem de processos Gaussianos complexos brancos gerados com facilidade no GNU Radio. Para tanto foi modificada a implementação já existente de um filtro FIR (*Finite Impulse Response*) em linguagem C++, a qual foi integrada como uma nova classe naquele software.

Diversos outros blocos do ambiente GNU Radio Companion (GRC) foram utilizados para implementar a equação (1), para compatibilizar taxas de amostragem (os coeficientes do canal têm largura de faixa muito menor que os sinais normalmente transmitidos) e para aproximar adequadamente os valores do atraso τ_r . A combinação de todos os blocos que compõem o simulador foi programada na linguagem *Python*, dando origem a um novo bloco no ambiente GRC.

IV. RESULTADOS NUMÉRICOS

Para validar a geração dos coeficientes do canal foram levantadas estimativas da função autocorrelação e do espectro de potência destes coeficientes a partir de 40 gravações de amostras geradas pelo simulador, com duração correspondente à transmissão de aproximadamente 10.000 bits. Foram utilizados dois valores do espalhamento Doppler, 0,1 Hz e 1 Hz, com frequência de amostragem de 4800 Hz.

Na Figura 1 são mostrados os resultados empíricos relativos ao espectro de potência normalizado, juntamente com as referências teóricas. Observa-se um ajuste muito bom entre os resultados empíricos e teóricos, o que também foi visto na avaliação da função autocorrelação e em outros testes com valores diferentes de f_d e f_a .

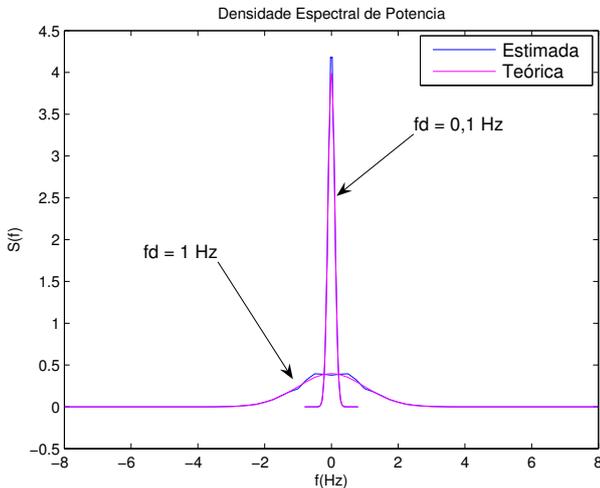


Fig. 1. Espectro de potência normalizado dos coeficientes do canal para $f_d = 0,1 \text{ Hz}$ e 1 Hz .

A fim de testar o simulador de canal o mesmo foi utilizado para simulação de Monte Carlo em GNU Radio de um sistema com taxa de 1200 bit/s, modulação DBPSK (*Differential Binary Phase Shift Keying*), filtros de transmissão e recepção do tipo raiz quadrada de cosseno levantado, espalhamento Doppler 0,1 Hz, $f_a = 4800 \text{ Hz}$ e valores do atraso relativo τ_r múltiplos inteiros do intervalo de amostragem $\Delta_t \triangleq 1/f_a$.

Cabe notar que este simulador também pode ser empregado para o caso de canais com desvanecimento plano, em que a avaliação teórica da probabilidade de erro (P_b) em função da razão E_b/N_0 leva ao seguinte resultado [5]:

$$P_b(E_b/N_0) = \frac{1}{2(E_b/N_0 + 1)}. \quad (3)$$

Para os casos em que há seletividade em frequência adotou-se neste trabalho o procedimento usual de tratar a parcela de interferência entre símbolos de cada amostra na entrada do decisor DBPSK como acréscimo de ruído Gaussiano branco, com o intuito de obter uma aproximação analítica simples para a probabilidade de erro de bit.

Admitindo que a razão $r \leq 1$, sem perda de generalidade, obteve-se a expressão abaixo para a razão E_b/N_0 equivalente:

$$E_b/N_{0eq} = E_b/N_0 \frac{r + f_1(\tau_r)}{1 + r + f_2(\tau_r) \cdot E_b/N_0}. \quad (4)$$

Os fatores $f_1(\tau_r)$ e $f_2(\tau_r)$ na expressão acima são não negativos e resultam do efeito conjunto dos filtros de transmissão e recepção, do atraso relativo τ_r e do fator aleatório $g_1(t)$, o qual usualmente varia de forma muito lenta em relação ao sinal transmitido. O fator $f_1(\tau_r)$ corresponde à parte deste efeito que está alinhada com o bit a ser detectado, enquanto $f_2(\tau_r)$ está associado à interferência entre símbolos.

Substituindo-se E_b/N_0 na expressão (3) por E_b/N_{0eq} obtém-se a aproximação desejada. Cabe notar que $f_1(0) = 1$ e $f_2(0) = 0$, o que torna $E_b/N_{0eq} = E_b/N_0$ quando $\tau_r = 0$. A mesma igualdade se verifica quando $r = 0$. Note-se que em ambos os casos o canal produz desvanecimento plano.

Na Figura 2 são mostradas estimativas da probabilidade de erro de bit em função de E_b/N_0 para diferentes valores do atraso relativo τ_r , $f_d = 0,1 \text{ Hz}$ e razão de potências $r = 1$, juntamente com suas contrapartidas analíticas. Verifica-se que o simulador produz resultados bastante coerentes com as condições de canal estabelecidas e bem ajustados aos resultados analíticos¹. O mesmo comportamento foi observado em outros testes realizados com valores diferentes de f_d e r .

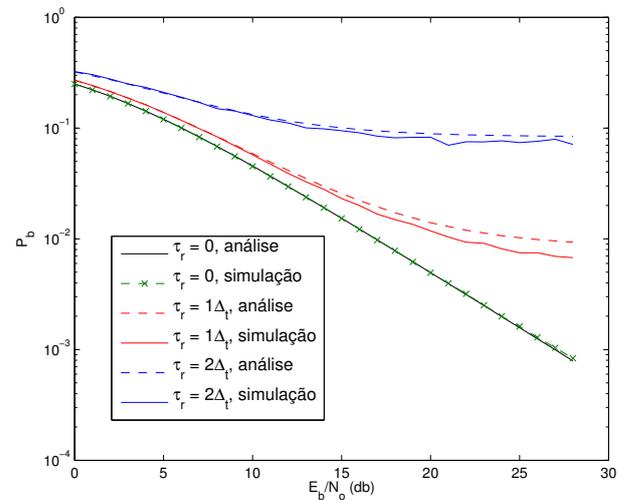


Fig. 2. P_b em função da razão E_b/N_0 para razão de potências $r = 1$ e diferentes valores do atraso relativo τ_r .

V. CONCLUSÕES

Foi implementado no software GNU Radio um simulador de modelos internacionalmente adotados para canais ionosféricos em HF. Diversos testes de validação desse simulador produziram resultados bastante satisfatórios, atestando a sua eficácia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio recebido do CNPq através do processo 461895/2014-5.

REFERÊNCIAS

- [1] G. Radio, "The gnu software radio," Available from World Wide Web: <https://gnuradio.org>, 2007.
- [2] ITU-R, *Rec. ITU-R F.1487: Testing of HF modems with bandwidths of up to about 12 KHz using ionospheric channel simulators*, 2000.
- [3] A. Guimaraes, C. Silva, J. Galdino, and E. Pinto, "Comparação de desempenho de simuladores de canais com desvanecimento rápido: Parte i-avaliação numérica," *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBrT'97)*, pp. 426–430, 1997.
- [4] C. Watterson, J. Juroshek, and W. Bensema, "Experimental confirmation of an hf channel model," *IEEE Transactions on Communication Technology*, vol. 18, no. 6, pp. 792–803, 1970.
- [5] S. Haykin, *Communication systems*. John Wiley & Sons, 2001.

¹Apenas no caso de desvanecimento plano o resultado analítico é exato.