

Competição de Inovação do SBrT 2016- Desenvolvimento de Forma de Onda para Rádio Definido por Software

Nilson Maciel P. Jr., Elaine C. Marques, Francisco C. Ribeiro Jr., David F. Cruz Moura e Juraci F. Galdino

Resumo – No Brasil, as transmissões ionosféricas na faixa de HF são estratégicas devido à grande extensão territorial do país. Diversas normas foram desenvolvidas para padronizar essas comunicações, como a norma militar MIL-STD-188-110C. Esta competição tem por objetivo propor e implementar o equalizador e/ou decodificador do receptor de uma forma de onda da norma MIL-STD-188-110C.

Palavras-chaves – MIL-STD 188-110C, HF, Forma de Onda

I. INTRODUÇÃO

Transmissões em canais de *High Frequency* (HF) ionosféricas são muito empregadas em todo o mundo, em especial no Brasil, pois possibilitam a implementação de uma rede de comunicações digitais de cobertura nacional e autônoma. A fim de padronizar essas comunicações, foram desenvolvidas diversas normas, dentre elas a norma militar MIL-STD-188-110C [1]. Amplamente utilizada, essa norma apresenta requisitos mínimos de desempenho (sob diversas condições de operação) e padrões técnicos necessários para garantir a interoperabilidade para transceptores militares operando na faixa de HF, além de padronizar a estrutura do transmissor.

A despeito de tais características, verifica-se que alguns componentes do receptor não são especificados. Dessa forma, fica aberto o campo para a investigação de novas técnicas de recepção que permitam atingir o desempenho almejado com a menor complexidade possível. As principais questões em aberto giram em torno do desenvolvimento de eficientes estratégias de equalização, técnicas de sincronização e de decodificação de códigos corretores de erro.

Assim, a competição de inovação do SBrT 2016 tem por objetivo propor e implementar o equalizador e/ou decodificador do receptor de uma forma de onda presente na norma MIL-STD-188-110C. O participante poderá escolher a forma de onda prevista na parte principal da norma com largura de banda de 3kHz e taxa de transmissão 2400bps ou a forma de onda número 6, largura de banda 24kHz, do apêndice D da norma MIL-STD-188-110C. Em ambos os casos competidores enfrentarão problemas intrínsecos à recepção em HF, como:

- equalização adaptativa; e
- técnicas de decodificação convolucional.

A avaliação dos trabalhos será com base na formalidade da técnica apresentada e no desempenho em termos de BER (*Bit Error Rate*) e de complexidade computacional (memória

e operações aritméticas). Além disso, os competidores deverão descrever as técnicas utilizadas e apresentar os resultados em um documento de 2 páginas, com formato de 2 colunas. Serão fornecidos o transmissor e o canal implementados em MATLAB em código fechado. Também será fornecido o sinal amostrado, na taxa de símbolo, na saída do amostrador. Além disso, serão apresentadas curvas de desempenho padrão em termos da taxa de erro de bit e erro quadrático médio (EQM) na saída de um equalizador padrão (DFE) e a taxa de erro de bit na saída de um decodificador de Viterbi que implementa uma regra de decisão abrupta. Tais curvas de desempenho devem ser utilizadas pelos competidores para fim de comparação.

II. NORMA MIL-STD-188-110C

A norma MIL-STD-188-110C apresenta, além de requisitos mínimos de desempenho, diretrizes técnicas para o projeto de transceptores militares operando na faixa de HF [1].

Um quadro, segundo a norma, é composto de preâmbulo e de sucessivos blocos de dados (*payload*), intercalados por blocos contendo sequências de treinamento (*miniprobos*). Além disso, registra-se que o quadro possui tamanho fixo, de acordo com o tipo de entrelaçador empregado.

A norma apresenta em detalhes toda a cadeia de transmissão, sugerindo inclusive parametrizações do filtro de transmissão, além do codificador de canal (código convolucional), entrelaçador, mapeamento de bits em símbolos, embaralhador e modulador.

Isso posto, para modelar os efeitos inerentes à comunicação na faixa de HF, como dispersões no domínio do tempo e da frequência, ocasionados pelas reflexões ionosféricas, utiliza-se o modelo de canal proposto por Watterson em [2]. O referido modelo consiste em um filtro transversal com 2 componentes principais (raios) de mesma potência média, variantes com o tempo e cujos espectros Doppler seguem uma distribuição Gaussiana. As características do canal variam de acordo com o tipo de canal conforme a Tabela I. O sinal é ainda contaminado por ruído branco gaussiano aditivo (AWGN - *Additive White Gaussian Noise*).

Tabela I
TIPOS DE CANAL.

Tipo de Canal	Bom	Moderado	Ruim
Atraso entre os raios (ms)	0,5ms	1ms	2ms
Espalhamento Doppler (Hz)	0,1Hz	0,5Hz	1Hz

No lado da recepção, o preâmbulo é empregado na identificação de parâmetros da forma de onda (número, largura de banda, tamanho do entrelaçador etc.). Além disso, ele é útil na sincronização de início de quadro e de símbolo e como treinamento inicial para o equalizador. Já o rastreamento dos parâmetros do equalizador e o ajuste fino de sincronização de símbolos ao longo da transmissão podem ser realizados com a ajuda das sequências contidas nos *miniprobos*. Muitos dos componentes presentes na cadeia de recepção realizam papel inverso ao daqueles presentes na transmissão. No entanto, à luz da leitura da norma em comento, verifica-se que equalização e o decodificador, por outro lado, ficam em aberto.

III. CONFIGURAÇÕES DE REFERÊNCIA PARA A COMPETIÇÃO

Os competidores poderão escolher uma das duas formas de onda a seguir para desenvolverem o equalizador e/ou decodificador do código corretor de erros.

A. Forma de Onda Narrowband

Como referência da forma de onda narrowband, implementou-se um padrão de comunicação de camada física de acordo com a parte principal da norma MIL-STD-188-110C [1] que oferece taxa de transmissão de 2400 bps, modulação 8PSK e largura de banda de 3 kHz. Foi utilizado o entrelaçador na configuração "LONGO". O canal simulado foi o canal ruim da Tabela I (canal CCIR *Poor* [1]).

A sincronização de quadro implementada considera, como ponto de início da transmissão, o ponto do raio de maior valor absoluto no começo da transmissão. Para a equalização, implementou-se um equalizador com realimentação de decisão (DFE - *Decision-Feedback Equalizer*) utilizando o algoritmo *Inverse QR-RLS* (IQR-RLS), que é uma variação numericamente estável do algoritmo *Recursive Least Squares* (RLS) [3], [4]. A título de ilustração, foram usados 16 coeficientes diretos e 5 coeficientes de realimentação. O fator de esquecimento do algoritmo IQR-RLS foi 0,975. Finalmente, para a decodificação convolucional, recorreu-se ao algoritmo de Viterbi com decisão abrupta.

A Fig. 1 apresenta o erro quadrático médio (EQM) na saída do equalizador. Já a Fig. 2 mostra os resultados de BER na saída do equalizador ("sem codificação") e do decodificador ("com codificação") obtidos para uma faixa de razão sinal-ruído (*Signal-to-Noise Ratio* - SNR), aqui definida como E_s/N_o , onde E_s é energia média do símbolo e N_o é a densidade espectral de potência do ruído AWGN. Cada ponto da curva é o resultado médio de 5000 transmissões independentes, cada uma destas de um bloco de *entrelaçador* longo (11520 bits).

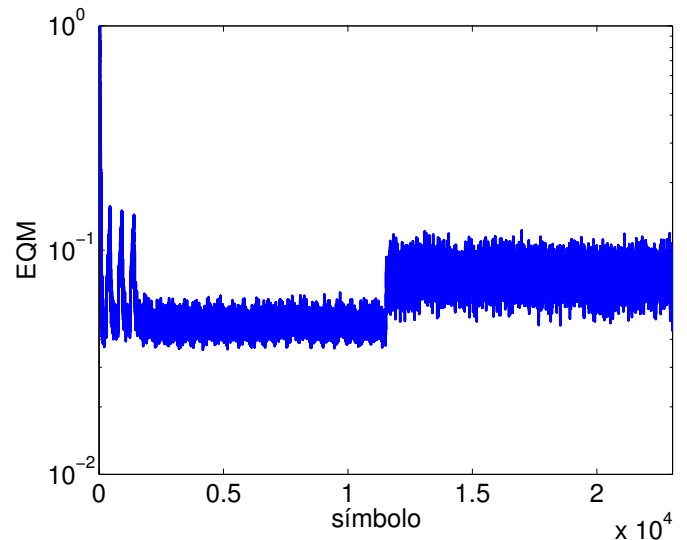


Figura 1. Erro quadrático médio (EQM).

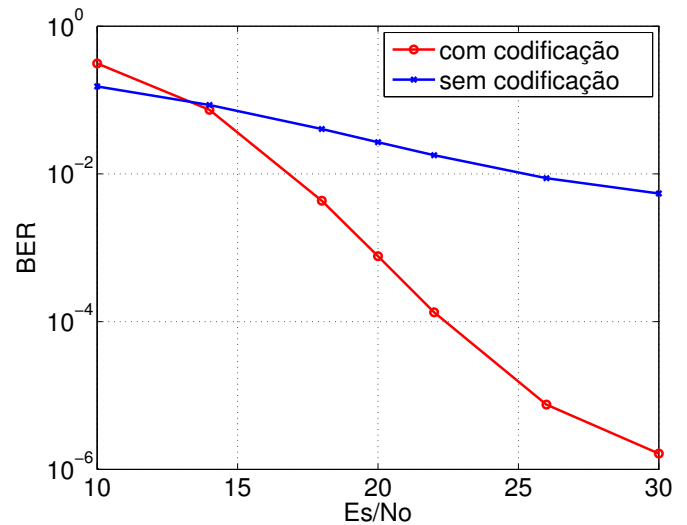


Figura 2. Curva de BER em função da E_s/N_o (dB).

B. Forma de Onda Wideband

Como referência da forma de onda wideband, implementou-se um padrão de comunicação de camada física de acordo com o Apêndice D da norma MIL-STD-188-110C [1], particularmente a forma de onda número 6, que oferece taxa de transmissão de 25600 bps, modulação QPSK e largura de banda de 24 kHz. Foi utilizado o entrelaçador na configuração "LONGO". O canal simulado foi o canal ruim da Tabela I (canal CCIR *Poor* [1]).

A sincronização de quadro implementada considera, como ponto de início da transmissão, o ponto do raio de maior valor absoluto no começo da transmissão. Para a equalização, implementou-se um equalizador com realimentação de decisão (DFE) rodando o algoritmo *Inverse QR-RLS* (IQR-RLS) [3], [4]. A título de ilustração, foram usados 80 coeficientes diretos e 41 coeficientes de realimentação. O fator de esquecimento do algoritmo IQR-RLS foi 0,995. Finalmente, para a decodificação convolucional, recorreu-se ao algoritmo de

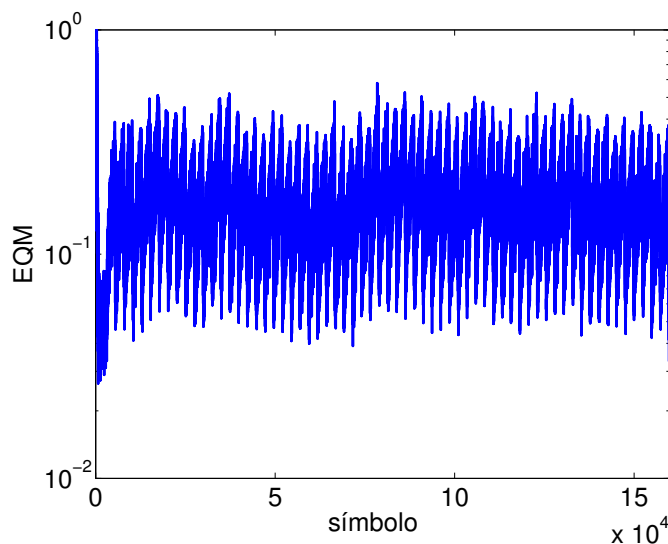


Figura 3. Erro quadrático médio (EQM).

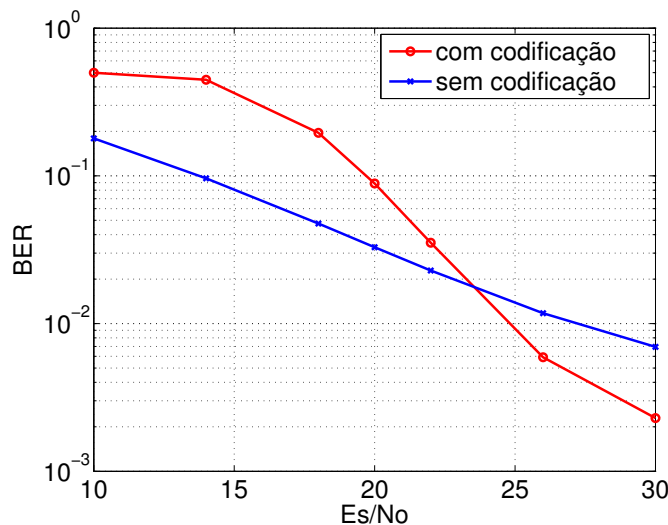


Figura 4. Curva de BER em função da E_s/N_o (dB).

Viterbi com decisão abrupta.

A Fig. 3 apresenta o erro quadrático médio (EQM) na saída do equalizador. Já a Fig. 4 mostra os resultados de BER na saída do equalizador (“sem codificação”) e do decodificador (“com codificação”) obtidos para uma faixa de E_s/N_o . Cada ponto da curva é o resultado médio de 100 transmissões independentes, cada uma destas de um bloco de *entrelaçador* longo (208896 bits).

IV. CONCLUSÃO - DETALHAMENTO DA TAREFA

Dados o transmissor e o canal implementados em MATLAB em código fechado, bem como os componentes do receptor, com exceção do equalizador e do decodificador do código corretor de erros, tem-se que o objetivo da presente competição é que as equipes apresentem soluções que ofereçam resultados melhores do que os apresentados na Fig. 2 ou na Fig. 4, para uma das condições descritas a seguir:

- Forma de onda narrowband:

- Forma de onda da parte principal da norma MIL-STD-188-110C;
- Taxa de transmissão de 2400 bps;
- Modulação 8PSK;
- Largura de banda de 3kHz; e
- *Entrelaçador* longo.
- Forma de onda wideband:
 - Forma de onda número 6 do apêndice D da norma MIL-STD-188-110C;
 - Taxa de transmissão de 25600 bps;
 - Modulação QPSK;
 - Largura de banda de 24kHz; e
 - *Entrelaçador* longo.

Conforme mencionado anteriormente, a avaliação dos trabalhos será com base na formalidade da técnica apresentada e no desempenho em termos de BER (*Bit Error Rate*) e de complexidade computacional (memória e operações aritméticas). Além disso, os competidores deverão descrever as técnicas utilizadas e apresentar os resultados em um documento de 2 páginas, com formato de 2 colunas.

REFERÊNCIAS

- [1] D. O. D Interface Standard, “Interoperability and Performance Standards for Data Modems: MIL-STD-188-110C,” 2011.
- [2] C. Watterson, J. Juroshek, and W. D. Bensema, “Experimental Confirmation of an HF Channel Model,” *IEEE Transactions on Communication Technology*, Dec. 1970.
- [3] P. S. R. Diniz, *Adaptive Filtering: Algorithms and Practical Implementation*, 3rd ed. Springer, 2008.
- [4] F. Carlos Ribeiro Junior, E. Crespo Marques, N. Maciel de Paiva Junior, and J. Ferreira Galdino, “Avaliação de Desempenho de Equalizadores DFE Adaptativos em Enlaces HF Ionosféricos que Empregam a Norma MIL-STD-188-110C,” *Cadernos CPQD Tecnologia*, vol. 10, pp. 101–112, 2014.