

Implementação de um sistema de comunicação reconfigurável para satélites de baixa órbita baseado no Simulink

Marcos Roberto Martins de Souza e Prof. Dr. Rangel Arthur
Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia

Palavras-chave: satélites de baixa órbita, reconfigurabilidade, SDR.

Introdução

O desenvolvimento de satélites de baixa órbita (SBO) têm crescido diante de novas perspectivas, tais como: a redução do custo de lançamento e de produção e iniciativas de utilizá-los em constelações, isto é, múltiplos satélites juntos que fornecem internet, de tal maneira a prover conectividade ilimitada por todo o planeta, auxiliando a conectar os não conectados [1].

Assim, torna-se necessário sistemas de comunicação que sejam capazes de fornecer uma comunicação flexível entre esses satélites e a estação radio base (ERB), alterando as características do enlace como frequência da portadora, largura de banda, taxa de dados e esquema de modulação [1]. Essa flexibilidade pode ser atingida por meio de sistemas dinâmicos, isto é, aqueles que permitem reconfigurar os parâmetros de comunicação. Sendo que, isso pode ser realizado (a) de acordo com a interação entre a relação sinal-ruído (SNR, do inglês *Signal-to-noise Ratio*) e a taxa de erro de bit (BER, do inglês *Bit Error Rate*) da transmissão; ou (b) segundo as necessidades do enlace, por exemplo, o valor necessário de taxa de dados para enviar a informação desejada.

Uma alternativa para habilitar essa reconfigurabilidade é o Rádio Definido por Software (SDR, do inglês *Software Defined Radio*), o qual torna possível que algumas ou todas as funções da camada física do *hardware* sejam modificadas de maneira remota [2]. Isso é uma grande vantagem, visto que no espaço é inviável alterar as partes físicas do *hardware*.

Diante disso, este trabalho visa simular o desempenho de um sistema reconfigurável com uma comunicação entre a ERB e o SBO, através do *software* Simulink. Bem como, pretende apresentar as formas de onda das saídas e a relação entre o SNR e o BER para a comunicação.

Metodologia

Telemetry e Command

O sistema é dividido em 2 subsistemas: *telemetry* e *command*. O primeiro se destina a monitorar a saúde e o status do satélite enviando informações de tensão, corrente elétrica, temperatura, entre outras, para a ERB, caminho denominado de *downlink*. Enquanto o segundo se dá no caminho inverso, chamado de *uplink*, referindo-se ao controle adequado do satélite que recebe os comandos da ERB. O *link budget* de [3] foi levado em consideração, o qual estabelece uma frequência UHF (435.06MHz) para a cadeia receptora e uma VHF (145.95MHz) para a cadeia transmissora.

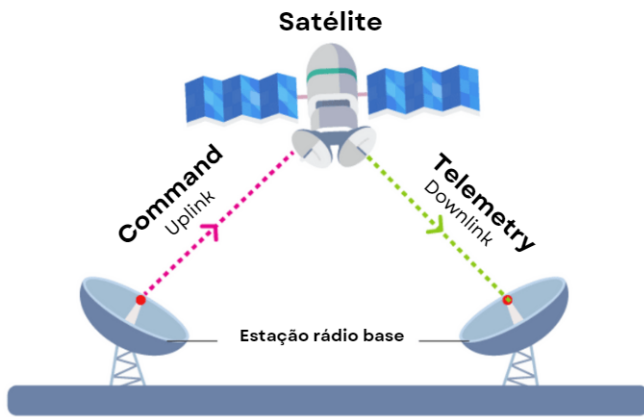


Figura 1: Esquemático da comunicação entre o satélite e a estação rádio base - fonte: <https://byjus.com/physics/satellite-communication/>.

A escolha dessas duas bandas é devido (a) a perda de caminho no espaço livre (FSPL, do inglês *Free-space path loss*) ser menor, pois, como expressa a fórmula dela,

$$FSPL = \left(\frac{4\pi df}{c} \right)^2$$

quanto menor a frequência, menor será a FSPL; e (b) com o desenvolvimento do DBS (*Direct Broadcasting Satellite*) TV e dos sistemas cabeados, essas bandas, antes utilizadas para a televisão, não estão mais alocadas, podendo ser empregadas para outros fins [4].

Assim, o objetivo é simular o recebimento de uma informação pelo SBO, vinda da ERB, e depois reenviar a ela. Para isso, no *command*, simulando um recebimento de um sinal modulado em FM (*Frequency Modulation*), com uma portadora de 10MHz e desvio de frequência igual à 75kHz, e em BFSK (*Binary Frequency-shift Keying*), com frequência central de 1.7kHz. De tal modo que ele seja demodulado após ser propagado por um canal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*), o qual simula os processos aleatórios que poderiam inserir ruído no sinal transmitido. Em seguida, o sinal demodulado é modulado em BPSK (*Binary Phase-shift Keying*), o qual possui uma portadora de 54.4kHz, a fim de simular o envio pelo *telemetry*.

O BFSK é empregado, pois é uma modulação de envelope constante que minimiza os efeitos não lineares que ocorrem nos amplificadores em alta potência. Enquanto o FM é aplicado pois modula o sinal em banda passante com uma portadora de 10MHz, fazendo, assim, o *upconversion* dele. E, por fim, o BPSK proporciona uma menor taxa de dados, assim, permitindo que o receptor na ERB tenha uma lar-

gura de banda estreita e então mantenha um alto *Carrier to Noise Ratio* (CNR).

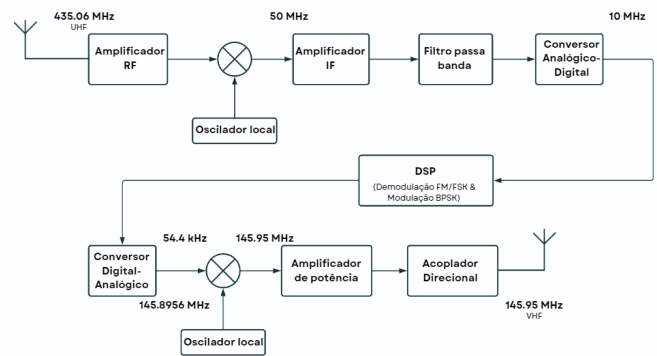


Figura 2: Diagrama de blocos explicativo do sistema de comunicação baseado em SDR, modificado de [3].

Simulink

Para a criação do sistema foi utilizado o *software* Simulink, o qual através da biblioteca *Communications System Toolbox* fornece diferentes blocos que auxiliam na criação de novas técnicas de modulação e demodulação, além das que já são disponibilizadas prontas. No caso desse trabalho foi empregado o algoritmo *Cross-differentiated multiplier* de [5] para demodular o sinal FSK, enquanto que para o FM foi aplicado o bloco de demodulação *FM Demodulator Passband* da biblioteca citada anteriormente. Por outro lado, para o BPSK foi levado em consideração as instruções de [6], o qual expõe que para modular em banda passante é necessário multiplicar a saída do bloco de modulação de banda básica por uma senóide complexa com a frequência da portadora desejada e após isso, tomar apenas a parte real $Re(u)$ do sinal de saída. Além disso, para essa última modulação foi adotado um filtro cosseno levantado com fator de *roll-off* de 0.5. Portanto, o sistema desenvolvido é mostrado nas figuras 3 e 4.

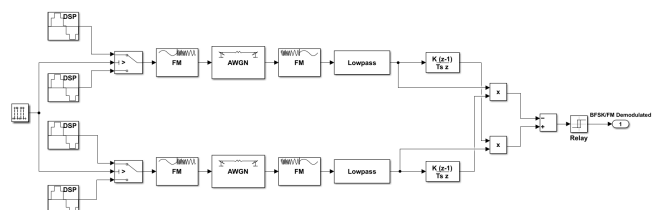


Figura 3: Receptor desenvolvido no Simulink.

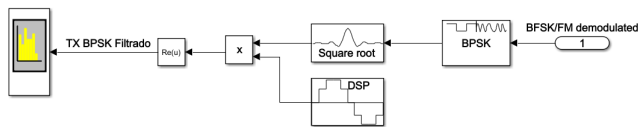


Figura 4: Transmissor desenvolvido no Simulink.

Resultados e discussões

Os resultados para a demodulação foram avaliados a partir das formas de onda recebidas comparando com as enviadas, demonstrando que a informação não foi perdida, conforme mostra as figuras 5 e 6:

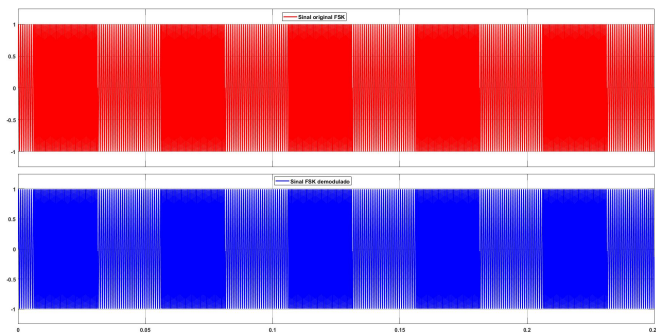


Figura 5: Sinal de saída da demodulação FM.

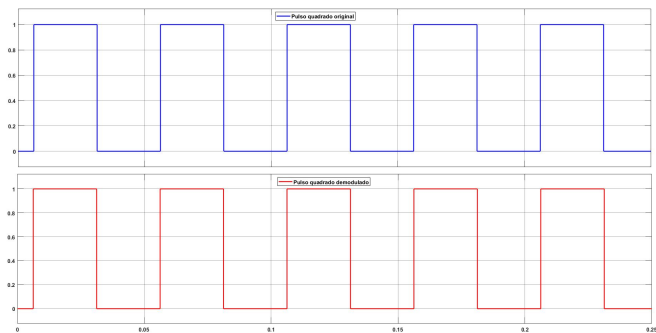


Figura 6: Sinal de saída da demodulação FSK.

Bem como, avaliou-se os valores obtidos para o BER para diferentes valores de SNR, como mostra a figura 7, obtendo para um SNR de 30dB, BER da ordem de 10^{-4} , menor valor encontrado na simulação, destacando que na literatura não há valores típicos de BER para essa combinação de modulação. Além disso, Vale ressaltar que em um sistema de comunicação completo seria utilizado um FEC (*Forward Error Correction*), o qual auxiliaria na redução do BER.

Por outro lado, para a modulação BPSK, a análise do resultado foi realizada em torno da densidade espectral de potência do sinal, apresentada na figura 8, na qual foi obtido uma potência de transmissão próxima de 0 dBm em torno da portadora de 54.4kHz,

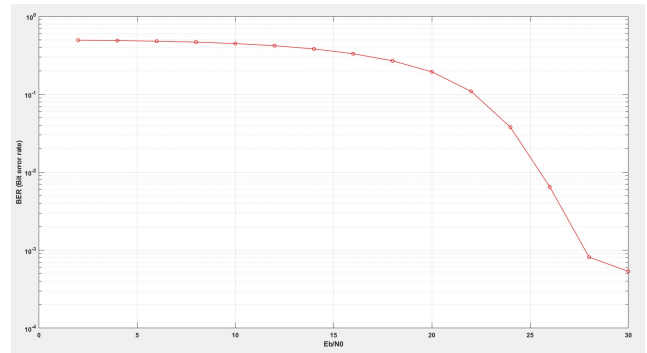


Figura 7: Gráfico do SNR(E_b/N_o) pelo BER.

o que é satisfatório, tendo em vista que o sinal passará ainda por um amplificador de potência para atingir o nível mínimo requerido de potência de transmissão, o qual é +23dBm, de acordo com [3].

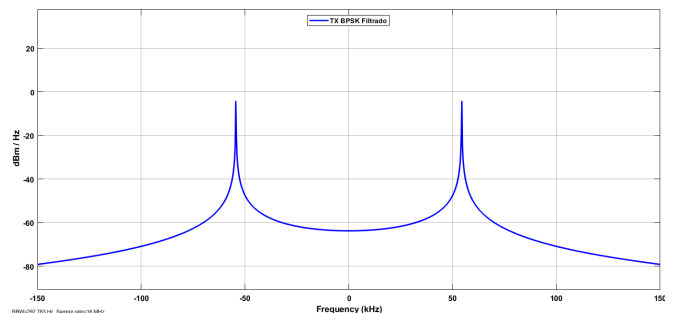


Figura 8: Densidade espectral de potência da modulação BPSK.

Conclusões

O objetivo proposto de simular uma comunicação entre um satélite de baixa órbita com a estação rádio base, em que o SBO recebe a informação, processa e realiza o tratamento para o reenvio, foi promissor tendo em vista os resultados obtidos. Em [3] foram apresentadas as formas de onda obtidas por meio da simulação, entretanto, os valores de taxa de erro de bit para a comunicação não foram mostrados, o que o presente trabalho faz.

Além disso, a reconfigurabilidade é possível na medida em que o *software* possibilita a alteração dos blocos. Por exemplo, para o *downlink*, quando é necessário um aumento na taxa de dados é possível alterar a modulação de BPSK para QPSK (*Quadrature Phase-shift Keying*), como mostra a figura 9. Isso acontece, visto que ela é uma modulação de quarta ordem dobrando, assim, a taxa de dados. Logo, de acordo com a aplicação e os requisitos para o enlace, é possível alterar os blocos do sistema.

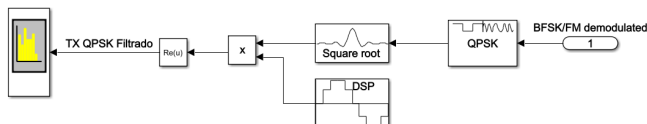


Figura 9: Transmissor com a modulação QPSK.

Referências

- [1] LIN, Xingqin, et al. **On the Path to 6G: Embracing the Next Wave of Low Earth Orbit Satellite Access.** IEEE Communications Magazine, vol. 59, no. 12, pp. 36-42, 2021, Dezembro, doi: 10.1109/MCOM.001.2100298.
- [2] WYGLINSKI, Alexander; PU, Di. **Digital Communication Systems Engineering with Software-Defined Radio.** Artech, 2013.
- [3] R, Nivin; P, Vidhya; RANI, J Sheeba. **Design and hardware implementation of reconfigurable nano satellite communication system using FPGA based SDR for FM/FSK demodulation and BPSK modulation.** 2016 International Conference on Communication Systems and Networks, 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/CSN.2016.7823976.
- [4] PRATT, Timothy; ALLNUTT, Jeremy. **Satellite Communications.** Wiley, 3ª edição, 2020.
- [5] NEIFAR, Amel; TRABELSI, Hatem; MASMOUDI, Mohamed. **An FSK Demodulator Design for RF Wireless Sensor Applications Using Zigbee Protocol.** International Journal of Electronics and Electrical Engineering, Vol. 3, No. 4, pp. 285-291, 2015, Agosto. doi: 10.12720/ijeee.3.4.285-291.
- [6] MathWorks. **Passband Modulation.** Disponível em: <https://www.mathworks.com/help/comm/ug/passband-modulation.html>. Acesso em: 26 de Julho de 2022.