

Técnica de Seleção de Portadoras para Sistema OFDM em Canais Dispersivos no Tempo**Carrier Selection Technique for OFDM System in Time Dispersive Channels**

DOI:10.34117/bjdv6n3-340

Recebimento dos originais: 10/02/2020

Aceitação para publicação: 23/03/2020

Sophia Sampaio Figueiredo

Graduanda em Engenharia Elétrica pela Universidade de Fortaleza (UNIFOR)

Instituição: Universidade de Fortaleza (Unifor)

Endereço: Av. Washington Soares, 1321 - Edson Queiroz, Fortaleza - CE, 60811-905

Email: sophia.sfigueiredo@gmail.com

Antônio Macilio Pereira de Lucena

Doutor em Engenharia de Teleinformática pela Universidade Federal do Ceará (UFC)

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Universidade de Fortaleza (Unifor)

Endereço: Rua Estrada do Fio, 5624-6140 - Mangabeira, Eusébio - CE, 61760-000

Email: amplucena@gmail.com

Rubem Vasconcelos Pacelli

Mestrando em Engenharia de Teleinformática pela Universidade Federal do Ceará (UFC)

Instituição: Universidade Federal do Ceará (UFC)

Endereço: Av. Humberto Monte, s/n - Pici, Fortaleza - CE, 60440-593

Email: rubem.engenharia@gmail.com

RESUMO

Este trabalho apresenta uma técnica de seleção de portadoras para modulação OFDM quando operando em canal dispersivo no tempo. A técnica estudada visa a melhoria de desempenho do sistema OFDM em termos de taxa de erro de bits. Sabe-se que os nulos na resposta em frequência dos canais dispersivos no tempo podem resultar em forte degradação do enlace de comunicação. Descrevem-se em detalhes o transmissor, o receptor e o canal que formam o sistema OFDM e através de simulação computacional, avalia-se o desempenho do protótipo lógico desenvolvido quando submetido a técnica proposta. Os resultados de desempenho são apresentados e discutidos. Por fim, apresenta-se a conclusão do artigo com algumas perspectivas para futuras pesquisas.

Palavras-chaves: OFDM, seleção de portadoras.**ABSTRACT**

This work presents a carrier selection technique for OFDM modulation when operating in a time dispersive channel. The studied technique aims to improve the performance of the OFDM system in terms of bit error rate. It is known that nulls in the frequency response of the time dispersive channels can result in strong degradation of the communication link. The transmitter, receiver and channel that constitute the OFDM system are described in detail and through computational simulation, the performance of the developed logical prototype, when submitted to the proposed technique, is evaluated. The performance results are presented and discussed. Finally, we present the conclusion of the article with some perspectives for future researches.

Keywords: OFDM, Carrier selection.

1 INTRODUÇÃO

Para criar sistemas de comunicação móvel multimídia de banda larga, é preciso utilizar taxas de transmissão de bits de muitos megabits por segundo. No entanto, estas elevadas taxas de transmissão tornam o sistema mais suscetível a interferência intersimbólica (ISI, do inglês, *Intersymbol Interferency*). A utilização de técnicas de equalização adaptativa no receptor é a solução indicada, mas existem dificuldades práticas na operação dessa equalização em elevadas taxas de bits com *hardware* compacto de baixo custo.

Proposta inicialmente em 1968 e patenteada nos Estados Unidos em 1970, a técnica de modulação OFDM (do inglês, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) surgiu como um progresso do sistema FDM (do inglês, *Frequency division multiplexing*) onde substituiu-se o uso de bandas de guarda para a separação das subportadoras na recepção do sinal por uma sobreposição espectral de subportadoras (WEINSTEIN, 2009). Baseia-se na transmissão paralela de dados através de múltiplas portadoras ortogonais com certo grau de superposição (LITWIN, 2000; PANDHARIPANDE, 2002).

Em relação ao modelo FDM, este possui uma economia de banda de aproximadamente 50% devido a sua superposição espectral. O modelo OFDM aqui proposto possui maior robustez para aplicações em canais seletivos em frequência, se comparado aos sistemas de portadora única, devido ao seu longo período de símbolos e transmissão de dados efetuadas por múltiplas portadoras ortogonais. Outra vantagem do sistema OFDM é a possibilidade do uso de diferentes tipos de modulações nas portadoras como, por exemplo, o BPSK, QPSK ou QAM, dependendo da relação sinal-ruído (LITWIN, 2000). Em 1985 ocorreu o primeiro estudo sobre a aplicação desta técnica em comunicações móveis e foi demonstrada a sua viabilidade (PINTO; DE ALBUQUERQUE, 2002). Atualmente, o sistema OFDM vem se popularizando e é recomendado como a solução em diversos sistemas de comunicação avançados, tais como TV de alta definição (HDTV) e transmissão de dados do padrão LTE (do inglês, *Long Term Evolution*), que é uma provável implementação da quarta geração de telefonia celular móvel, em transmissões de redes sem fio dos padrões WiFi (IEEE 802.11) e Wimax (IEEE802.11a), bem como em sistemas ADSL (do inglês, *Asymmetric Digital Subscriber Line*) (PINTO; DE ALBUQUERQUE, 2002; ROBERT; STADELMEIER, 2008).

Este artigo tem como objetivo propor uma técnica de seleção de subportadoras para transmissão dos dados em função da resposta em frequência do canal, para o caso de um canal dispersivo no tempo. Sabe-se que os nulos na resposta em frequência dos canais dispersivos no tempo podem resultar em forte degradação do enlace de comunicação (HWANG, 2009). O sistema estudado utiliza 16 portadoras que sofrem diferentes atenuações ao passarem pelo canal. A técnica consiste em utilizar para transmissão das informações somente as portadoras cujas atenuações sejam menor do

que um dado limiar (ROHLING, 2011). O objetivo central desta pesquisa é determinar o desempenho do sistema OFDM quando esta técnica é adotada. Um sistema OFDM completo é implementado em *Simulink* e o seu desempenho é avaliado através de simulação.

2 METODOLOGIA

A Figura 1 mostra o digrama de blocos do sistema OFDM implementado em *Simulink*[®].

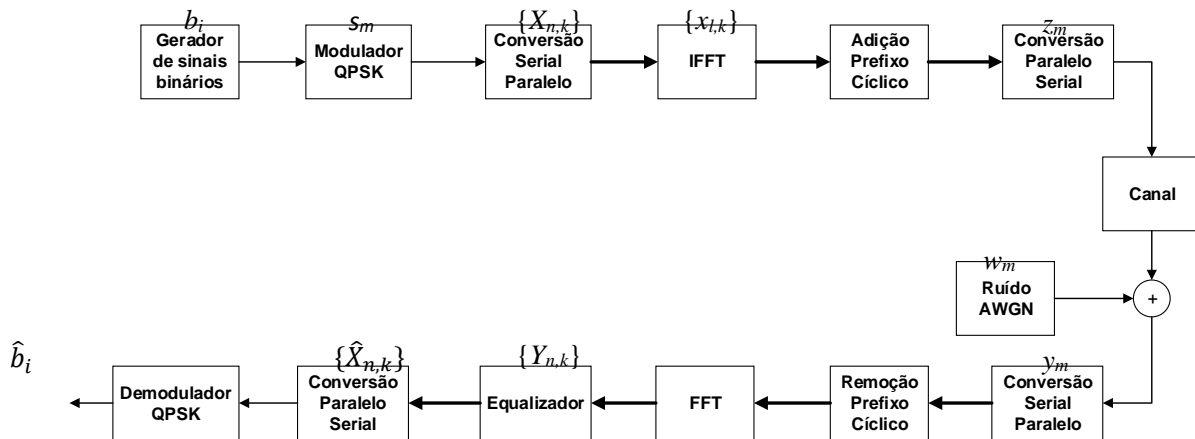


Figura 1- Diagrama de blocos do sistema OFDM.

Fonte: Autor.

Neste modelo, o bloco gerador de sinais binários gera bits aleatórios, denotados por b_i , com valores lógicos 0 ou 1, com probabilidade 1/2. O modulador QPSK faz o mapeamento de cada dois bits recebidos no símbolo complexo s_m pertencente a constelação de sinais QPSK (PROAKIS; SALEHI,2008).

O próximo bloco do transmissor (conversão serial paralelo) converte o fluxo serial dos símbolos s_m em um conjunto de $N=16$ subsímbolos em paralelo, expresso por $X_{n,k}$, em que n representa a n -ésima portadora a qual o símbolo está associado e k é a k -ésima coleção de N símbolos. Cada coleção dos subsímbolos $X_{n,k}$ vai ser transformado para compor um símbolo OFDM a ser transmitido no instante k .

Depois da conversão serial para paralelo, a cada instante k , os N subsímbolos na entrada do bloco IFFT (do inglês, *Inverse Fast Fourier Transform*) sofre a transformada inversa discreta de Fourier, expressa pela equação

$$x_{l,k} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} X_{n,k} e^{j\frac{2\pi}{N}nl}, \quad 0 \leq l \leq N-1, \quad k \in \mathbb{N}. \quad (1)$$

A saída do bloco IFFT, a cada instante k , entrega N subsímbolos $x_{l,k}$ ao bloco adição de prefixo cíclico, que copia as últimas Np amostras da IFFT e as justapõe com as N amostras de saída da IFFT,

formando assim o símbolo OFDM. Portanto, o conjunto de amostras que formam um símbolo OFDM é dado por vetor $[x_{N-1-Np,k}, x_{N-2-Np,k}, \dots, x_{N-1,k}, \dots, x_{0,k}]$. É necessário que o tamanho do prefixo cíclico Np seja igual ou maior do que o tempo de espalhamento do canal para evitar a interferência intersimbólica (HWANG,2009). No sistema em estudo, adota-se $Np=4$.

O símbolo OFDM completo, com $N+Np$ subsímbolos, a cada instante k , passam pelo bloco conversão paralelo serial originando a sequência de sinais representada por z_m , $m \in \mathbb{N}$, que é transmitida pelo canal. O sinal transmitido z_m passa por um canal dispersivo no tempo, modelado por um filtro de resposta impulsiva finita, indicado pelo vetor \mathbf{h} .

Neste trabalho, utiliza-se um canal de dois raios em que $\mathbf{h}=[0,816; 0,578]$ e resposta em frequência está mostrada na Figura 2.

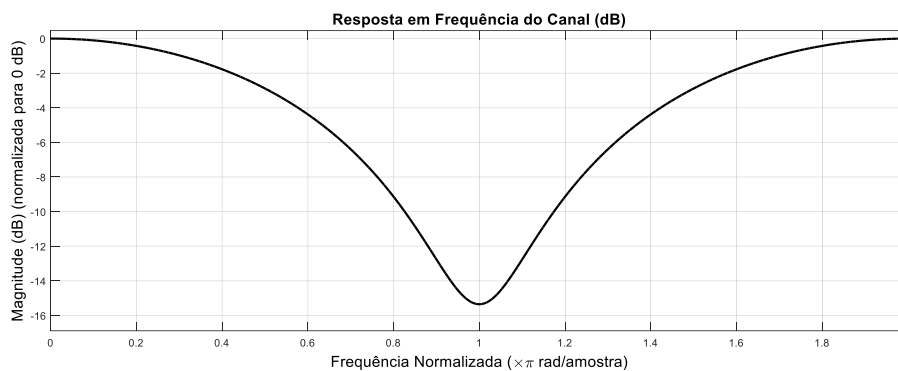


Figura 2: Resposta em frequência do canal.

Fonte: Autor.

É possível observar que o canal é seletivo na frequência, portanto, as portadoras que se encontram próximo da frequência de π rad sofreram uma forte atenuação. Como são utilizadas 16 portadoras, o espaçamento entre cada portadora é de $0,125\pi$ rad.

Na entrada do receptor, é adicionado ruído gaussiano branco representado por w_m . O sinal recebido, representado por y_m é o resultado da convolução do sinal transmitido z_m com a resposta impulsiva do canal \mathbf{h} , adicionada ao ruído branco gaussiano w_m , conforme indicado pela Equação 3:

$$y_m = \mathbf{h} * z_m + w_m \quad (3)$$

No receptor, ocorrem as operações inversas àquelas efetuada pelo transmissor e após a paralelização e a remoção do prefixo cíclico, o sinal é convertido de volta para o domínio da frequência através da FFT, resultando em

$$Y_{n,k} = H_n X_{n,k} + W_{n,k}, \quad (4)$$

em que $Y_{n,k}$ corresponde ao subsímbolo recebido da n -ésima portadora no instante k , H_n é a amplitude da resposta em frequência do canal para a portadora n e $W_{n,k}$ é a parcela de ruído Gaussiano associada.

Como indicado na Fig. 1, as N amostras $Y_{n,k}$ passam pelo bloco de equalização que utiliza a técnica de forçagem à zero para cancelar os efeitos do canal. O processo de equalização consiste na

multiplicação do sinal $Y_{n,k}$, expresso pela Eq. 4, pelo fator $1 / H_n$ que resulta em $X_{n,k} + W_{n,k} / H_n$ (LITWIN, 2000). Nota-se que, a menos da parcela $W_{n,k} / H_n$, os subsímbolos $X_{n,k}$ transmitidos são os sinais resultantes após a equalização. Por fim, os sinais equalizados são detectados para gerar uma estimativa dos N subsímbolos transmitidos no instante k denotado por $\hat{X}_{n,k}$ que são serializados e demodulados, em seguida, gerando as estimativas \hat{b}_i dos bits transmitidos.

Na técnica proposta, o receptor faz a identificação do canal, e seleciona para transmissão somente as portadoras que sofrem pouca atenuação. Neste projeto, considera-se os limiares de atenuação de 3dB, 6dB e 10dB para a habilitação da portadora. Ressalta-se que em um sistema real, além da identificação do canal, a seleção das portadoras precisa ser passada também ao transmissor.

Se um sistema OFDM de N portadoras transmite com a taxa de R bps, cada subportadora irá transmitir R/N bps. Portanto, ao optar por utilizar a técnica de exclusão de portadora, a nova taxa de transmissão do sistema OFDM, R_t , é igual a

$$R_t = R - LR/N, \quad (5)$$

em que L é o número de portadoras descartadas. Claramente, quanto mais portadoras forem descartadas melhor é o desempenho do sistema em termos de taxa de erro de bits mas pior é sua capacidade em termos de taxa de transmissão. Portanto, para adoção desta técnica, deve-se optar por utilizar um número de portadora que alcance uma boa taxa de transmissão de dados e, ao mesmo tempo, uma taxa de erro de bits razoável.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 3 estão os resultados da taxa de erro de bits (BER) em função da energia de bit por densidade espectral de ruído (E_b/N_0) do sistema OFDM desenvolvido quando se utiliza a técnica de seleção de portadora proposta. Como referência, também são apresentados o desempenho do sistema com o canal AWGN, o desempenho global com todas portadoras e os desempenhos com a melhor e pior portadora.

É possível observar que o desempenho alcançado quando se utiliza todas as portadoras é inferior ao desempenho quando há algum critério de seleção. Quanto mais rigoroso for o critério de seleção das portadoras, mais o desempenho do sistema que se aproxima do desempenho com o canal AWGN. Nota-se que para $E_b/N_0=10$ dB, a BER do sistema é $9 \cdot 10^{-3}$, $2 \cdot 10^{-3}$ e $4 \cdot 10^{-4}$, quando os critérios de 10 dB, 6 dB e 3 dB, respectivamente, são aplicados, e $2 \cdot 10^{-2}$ para o caso de se utilizar todas portadoras. Por outro lado, perde-se 2, 4 e 6 portadoras das 16 possíveis portadoras pelos mesmos critérios. Está evidente o compromisso entre taxa de erro e capacidade de transmissão.

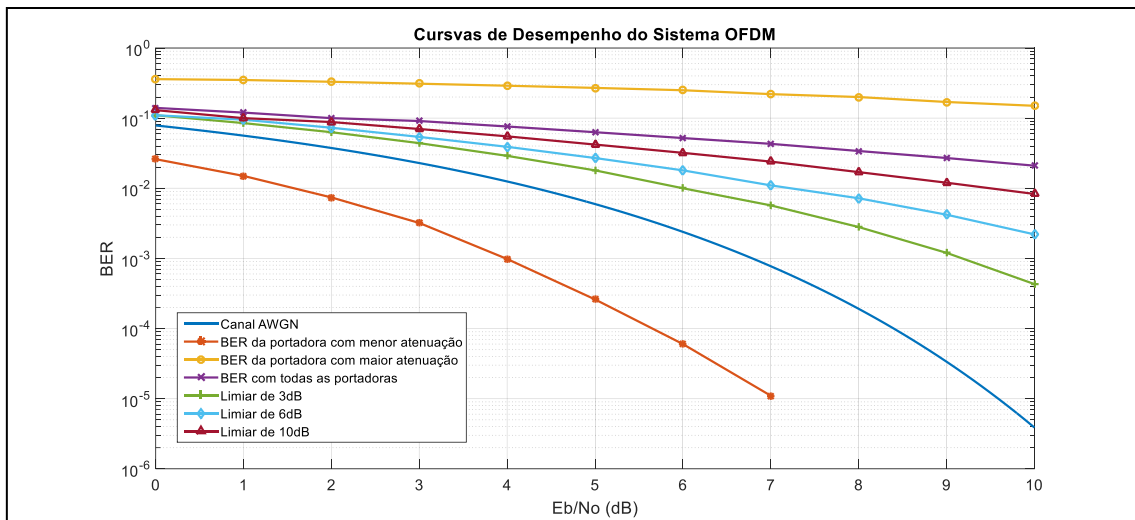


Figura 3: Várias curvas de BER do sistema OFDM em função de E_b/N_0 .

Fonte: Autor.

Na curva da melhor portadora há um ponto a ser considerado. Na simulação, a adição do ruído AWGN é feito baseado na potência média global (de todas as portadoras) do sinal recebido. Portanto, para a melhor portadora, a potência é superior à potência média global e consequentemente a relação E_b/N_0 é maior do que o caso do canal ideal. Isto explica porque o seu desempenho está superior ao limite teórico. No caso da pior portadora, o resultado já é esperado.

4 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foram implementados em *Simulink* transmissor, receptor e canal para modulação OFDM com objetivo de estudar a eficácia de uma técnica para seleção de portadoras de forma a melhorar o desempenho do sistema OFDM em termos de taxa de erro de bits quando utilizado em canal dispersivo no tempo. Ficou evidente a eficácia da técnica proposta e a dependência entre a BER almejada e capacidade de transmissão em termos de taxa de bits. Como exemplo, para o caso do limiar de seleção de 6 dB e $E_b/N_0=10$ dB, a taxa de transmissão foi reduzida pelo fator de 1/4 enquanto a BER foi melhorada de fator de 10.

Um possível avanço para este trabalho seria a aplicação de outras técnicas de seleção de portadora, aproveitando o protótipo de sistema OFDM desenvolvido, ou ainda a utilização desta mesma técnica em canais duplamente dispersivos.

REFERÊNCIAS

- LITWIN, Louis. An introduction to multicarrier modulation. IEEE potentials, v. 19, n. 2, p. 36-38, 2000.
- PANDHARIPANDE, Ashish. Principles of OFDM. IEEE potentials, v. 21, n. 2, p. 16-19, 2002.

PINTO, E. L.; DE ALBUQUERQUE, C. P. A técnica de transmissão ofdm. Revista Científica, v. 1516, p. 2338, 2002.

PROAKIS, J. G.; SALEHI, M. Digital communications. 5. ed. New York, USA: McGraw-Hill, 2008.

ROBERT, J.; STADELMEIER, L. Application of OFDM in the second generation DVB digital cable standard (DVB-C2). In: Consumer Electronics, 2009. ISCE'09. IEEE 13th International Symposium on. IEEE, 2009. p. 312-316.

ROHLING, H. OFDM: concepts for future communication systems. Springer Science & Business Media, 2011.

WEINSTEIN, Stephen B. The history of orthogonal frequency-division multiplexing [History of Communications]. IEEE Communications Magazine, v. 47, n. 11, 2009.

HWANG, Taewon et al. OFDM and its wireless applications: A survey. IEEE transactions on Vehicular Technology, v. 58, n. 4, p. 1673-1694, 2009.