

Modem Acústico Usando Modulação Multiportadora via OFDM

Monira A. Gonçalves, Rafael V. Louredo, Michel P. Tcheou e Lisandro Lovisolo

Resumo—Neste trabalho, apresenta-se um projeto de modem acústico que transmite dados utilizando modulação multiportadora através do ar livre. A escolha deste tipo de modulação em detrimento da modulação monoportadora se deve a necessidade de um uso mais eficiente da largura de banda limitada, e a minimização dos efeitos de multipercurso e desvanecimento seletivo em frequência, presentes em sistemas de comunicação sem fio. Foi desenvolvido um sistema capaz de transmitir dados sob a forma de ondas sonoras, utilizando recursos dos canais de saída e entrada de áudio para o estabelecimento da comunicação. O projeto emprega as modulações digitais BPSK e QPSK com um sistema OFDM de 40 subportadoras, detecção coerente e estimador de canal.

Keywords—Modem Acústico, OFDM, Estimação de Canal.

I. INTRODUÇÃO

O Modem Acústico é um dispositivo capaz de transformar dados em ondas acústicas, e vice-versa, a fim de transmitir e receber através da água, do ar livre ou outro meio propício à propagação de ondas mecânicas. Este trabalho apresenta um projeto de um modem acústico operando com modulação multiportadora através de multiplexação ortogonal por divisão de frequência (OFDM – *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Foi elaborado um sistema de comunicação *simplex*, que permite apenas que a comunicação seja estabelecida em um único sentido, sem a possibilidade de resposta ao emissor. O sistema envolve o uso de computadores pessoais, microfone, alto-falante e do *software* Matlab[®], conforme ilustrado na Figura 1. Ao longo do texto, serão explicitados as técnicas de modulação



Figura 1. Esquema físico da estrutura do modem acústico.

escolhidas, as estratégias para uso eficiente da banda, os resultados dos testes preliminares de validação do funcionamento do sistema e testes em cenários reais.

II. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

De modo a facilitar todo o processo de implementação e permitir enxergar o projeto de um ponto de vista holístico, o processo de criação do modem foi dividido em etapas, representadas em diagrama de blocos na Figura 2. No transmissor, realiza-se, primeiramente, a codificação de uma mensagem de texto, que consiste na associação de cada caractere da mensagem ao seu código ASCII correspondente em binário, representado em oito bits [3]. Em seguida, a modulação digital associa a sequência de bits gerada na codificação a símbolos que serão transmitidos em múltiplas portadoras via OFDM. Neste trabalho, usam-se as técnicas de modulação por chaveamento em fase, mais especificamente BPSK (*Binary Phase Shift-Keying*) e QPSK (*Quadrature Phase Shift-Keying*), que associam 1 e 2 bits por símbolo, respectivamente [2]. Na modulação multiportadora OFDM, múltiplos sinais ocupando diferentes faixas de frequência são transmitidos simultaneamente. Dessa maneira, converte-se um fluxo de dados

em série em um fluxo paralelo de N feixes, resultados em N subportadoras [1], [2]. Aplica-se a transformada rápida de Fourier inversa e, em seguida, converte-se o fluxo paralelo em um fluxo de dados em série, que serão transmitidos através de sinais acústicos produzidos por caixas acústicas. Observe que o sinal transmitido à caixa acústica deve ser real. Para isso, é fundamental que o fluxo de dados em paralelo possua simetria Hermitiana. No receptor, realizam-se os processos inversos de demodulação/decodificação referentes a cada uma das etapas realizadas no transmissor.

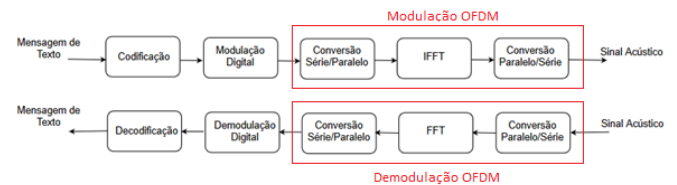


Figura 2. Diagrama de blocos das etapas de processamento.

Com relação à escolha das frequências das N subportadoras, deve-se objetivar a minimização da largura de faixa total ocupada pelo sinal modulado, a partir da sobreposição espectral dos subcanais. Para isso, é preciso garantir a ortogonalidade entre as subportadoras, através de diversos valores de espaçamento entre as subportadoras. Uma maneira de assegurar que duas subportadoras tenham o mínimo espaçamento possível entre si é limitando a largura da banda de cada uma delas entre seus respectivos pontos nulos.

Para o sincronismo, realiza-se a correlação do sinal recebido com uma sequência já conhecida, onde o receptor conhece essa sequência no sinal recebido e a sua posição. Para que o sinal de sincronismo seja robusto contra ruído foi escolhido a técnica Chirp de Espalhamento Espectral [5]. Uma sequência Chirp é um sinal senoidal no qual a frequência aumenta no decorrer do tempo, como ilustra a Figura 3.

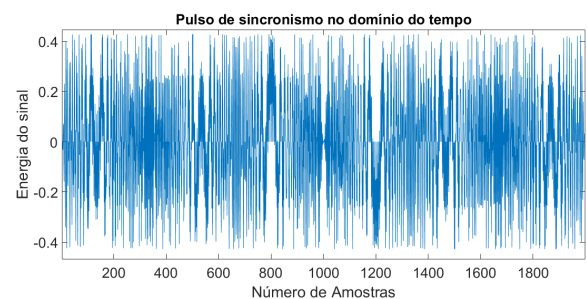


Figura 3. Pulso de sincronismo.

Quando transmitido por um canal real, o sinal recebido é uma versão distorcida do sinal transmitido. Para recuperação inteligível dos bits recebidos, os efeitos do canal devem ser estimados e compensados no receptor. De maneira geral, o canal pode ser estimado usando um preâmbulo ou a inserção de portadoras piloto, conhecidas tanto no transmissor quanto no receptor e utilizando a técnica de interpolação para estimar a resposta do canal das subportadoras entre as portadoras piloto. Neste trabalho, utilizam-se portadoras piloto para estimar a resposta do canal, no domínio da frequência através do critério Zero Forcing (ZF) [4], [5].

Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil, E-mails: moniragoncalves@gmail.com, rafaell.veloso@gmail.com, mt-tcheou@uerj.br, lisandro@uerj.br.

III. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A fim de obter os resultados experimentais, foram utilizados dois computadores portáteis, onde um era o transmissor e o outro, o receptor. Inicialmente, a comunicação foi realizada em um quarto amplo e praticamente vazio, contendo somente a mesa usada para apoiar os computadores. Dessa forma, reduz-se a influência de possíveis reflexões da onda sonora em anteparos no receptor. Neste teste, transmite-se a mensagem “Faculdade de Engenharia UERJ” através do sistema de modem acústico proposto, onde os sinais acústicos são produzidos e detectados por placas de áudio configurados a uma taxa de amostragem de 8000 amostras por segundo. Além disso, foram usadas 40 subportadoras OFDM. Na Figura 4, apresenta-se o desempenho do modem acústico usando a modulação OFDM: (i) com BPSK e (ii) OFDM com QPSK em conjunto com o estimador/igualizador de canal, em termos de taxa de erros (BER – *Bit Error Rate*) em função de razão sinal-ruído (E^b/N_0). Para isso, foi necessário inserir, artificialmente, um ruído aditivo gaussiano branco no receptor. Ao utilizar o BPSK não foi necessário a utilização do estimador de canal, pois em testes massivos que foram realizados a taxa de erro foi muito baixa. O contrário ocorreu com o QPSK, a taxa de erro estava muito alta, impossibilitando a comunicação, o que implicou no uso imprescindível do estimador. A partir da Figura 4, conclui-se que o OFDM/QPSK com estimador apresentou melhor desempenho que o OFDM/BPSK.

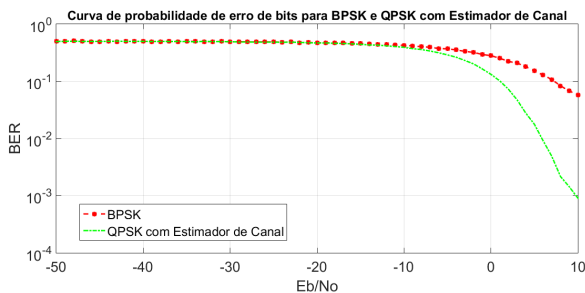


Figura 4. Desempenho do modem acústico em termos de taxa de erro de bits e razão sinal ruído.

Dessa forma, foram realizados testes adicionais usando o OFDM/QPSK com estimador considerando diferentes cenários de comunicação, onde cada cenário está relacionado a um ensaio distinto. Para que a realização dos testes gerasse estatísticas das taxas de erro e acerto satisfatórias e confiáveis, duas condições deveriam ser observadas nos testes, a primeira delas é a consideração de múltiplas situações possíveis dentro do ambiente *indoor* ao qual o sistema poderia estar confinado, caso estivesse em uma situação real; a segunda é a quantidade de repetições dos ensaios, que é diretamente proporcional à confiabilidade das estatísticas de erro versus sucesso. Dentro dessas premissas foram gerados 4 ensaios, conforme são apresentados na Figura 5. O primeiro ensaio, tem por objetivo obter o melhor desempenho possível, o que é garantido por distâncias curtas ou muito curtas em visada direta. O segundo ensaio estabelece que a taxa de erro seja limitada em no máximo 25% dos bits recebidos para que não haja significativa degradação do sinal, o que nos leva a buscar a distância máxima em visada direta na qual o sinal atenda o limite de erros de bit estabelecido. O terceiro ensaio considerou um ambiente com obstrução da visada direta entre transmissor e receptor, onde usamos um anteparo de madeira como obstáculo nas simulações. O quarto ensaio visa medir o desempenho do sistema em um ambiente ruidoso.

A Tabela I apresenta a compilação dos resultados obtidos para as 100 realizações dos quatro ensaios, gerando para cada um a Taxa de Erro Média, com a qual podemos avaliar em que cenários obtivemos os melhores e os piores desempenhos. A taxa de erro média foi calculada a partir da média aritmética das taxas de erro de

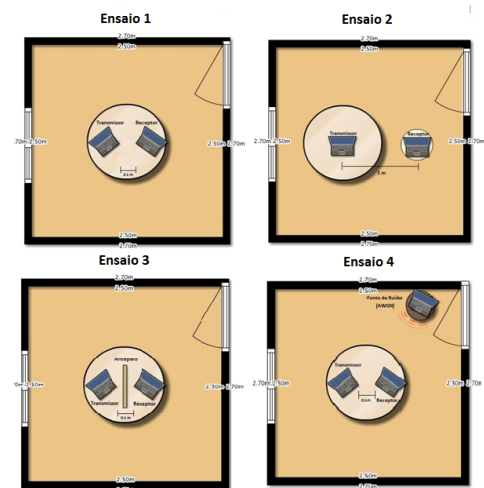


Figura 5. Diferentes configurações do ambiente de comunicação.

todas as repetições, geradas no próprio software *MATLAB*. O sistema apresentou um desempenho satisfatório com relação a integridade dos sinais recebidos pelo receptor nos Ensaios 1, 2 e 4. Com relação ao Ensaio 3, a ausência da condição de transmissão em visada direta contribuiu para a alta taxa de erro de bits, o que comprometeu consideravelmente o desempenho do sistema.

Tabela I. RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DOS ENSAIOS EM DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DO AMBIENTE DE COMUNICAÇÃO.

Ensaio	Configuração	Taxa de erro média (%)
1	Máximo desempenho	3,42
2	Máxima distância	24,85
3	Obstáculos	42,86
4	Interferência	8,48

IV. CONCLUSÃO

Neste artigo, foi proposto um projeto de modem acústico com base em modulação multiportadora via OFDM. Avaliou-se seu desempenho de forma experimental em diferentes cenários de comunicação, incluindo situações de visada direta, interferência e existência de obstáculos. O protótipo se comportou bem frente a esses cenários, com exceção ao cenário envolvendo obstáculos. Para trabalhos futuros, sugere-se a utilização de *hardware* dedicado, aumento da taxa de transmissão através do aumento de subportadora OFDM e a inclusão de códigos corretores de erros.

REFERÊNCIAS

- [1] Proakis, J. and Salehi, M. — Digital Communications. 5th edition. New York: McGraw-Hill, 2008. 1150p.
- [2] Haykin, S., Sistemas de comunicação: analógicos e digitais. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. 512p, Tradução de: Communication systems.
- [3] American Standard Code for Information Interchange. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/ASCII>. Acessado em 08/08/2015.
- [4] Cho, Y., Kim, J., Yang, W., Kang, C., MIMO-OFDM Wireless Communications with MATLAB, John Wiley & Sons, 2010.
- [5] Lampe, J., Ianneli, Z., Introduction to Chirp Spread Spectrum (CSS) Technology, Nanotron technologies, 2003.
- [6] Coleri, S., Ergen, M., Puri, A., and Bahai, A., Channel estimation techniques based on pilot arrangement in OFDM systems. IEEE Trans. on Broadcasting, v. 48, n. 3, p. 223-229, 2002..