



A Comunicação Acústica Submarina no IEAPM

PS - FEMAR Fábio Contrera Xavier.

Ajudante da Divisão de Comunicações Submarinas.

Grupo de Acústica Submarina – IEAPM.

Graduado em Licenciatura em Matemática pela UFF.

Bolsista DTI/CNPQ Eng. Jefferson Osowsky.

Ajudante da Divisão de Comunicações Submarinas.

Grupo de Acústica Submarina – IEAPM.

Doutorando em Modelagem Computacional pelo LNCC.

Capitão-de-Corveta Leonardo Martins Barreira.

Encarregado da Divisão de Comunicações Submarinas.

Grupo de Acústica Submarina – IEAPM.

Doutor em Engenharia Oceânica pela COPPE-UFRJ.

SC-NS Eng. Celso Marino Diniz.

Encarregado da Divisão de Processamento de Sinais.

Grupo de Acústica Submarina – IEAPM.

Graduado em Engenharia Elétrica pela UNICAMP.

Pós Graduado em AMS Design pela CADENCE EUA e TOSHIBA SEMICONDUCTOR JAPAN

Capitão-de-Mar-e-Guerra (RMI- T) Marcus Vinícius da Silva Simões

Encarregado do Grupo de Acústica Submarina – IEAPM.

Doutorando em Engenharia Oceânica pela COPPE-UFRJ.



A acústica submarina é um ramo da oceanografia física que estuda a influência e o comportamento das ondas sonoras em ambientes submarinos. Dentre as inúmeras aplicações da acústica submarina, as mais comuns são: a localização de fontes sonoras por meio da detecção ativa e passiva, como é o caso do sonar usado pelos navios e submarinos; as inversões acústicas que nos permitem, através de um sinal conhecido, inferir parâmetros oceanográficos ambientais como temperatura, salinidade, velocidade do som etc; e a comunicação submarina, que nos permite estabelecer contato, sem a utilização de fios com veículos submarinos, plataformas navais e sensores.

Nas últimas décadas, os Institutos Tecnológicos e de Pesquisa do mundo têm se beneficiado dos avanços na área da computação, que refletidos na acústica submarina propiciaram o aumento das pesquisas nas aplicações já citadas. Dentre os esforços principais em Pesquisa & Desenvolvimento as comunicações submarinas vêm atraindo grande parte dessa atenção ante ao seu enorme potencial para aplicações relacionadas à indústria do petróleo, à proteção de portos e defesa nacional e às pesquisas oceanográficas em geral.

Neste contexto, os autores apresentam uma retrospectiva sobre desenvolvimento de um protótipo de modem acústico submarino, bem como alguns

resultados obtidos nos últimos experimentos realizados pela Divisão de Comunicações Submarinas do IEAPM, nas proximidades da Ilha do Cabo Frio, na região de Arraial do Cabo – RJ.

Transmissão submarina

A comunicação submarina no IEAPM teve origem na transposição do conceito do telégrafo para um algoritmo que controla dois transdutores eletroacústicos¹ submarinos nas transmissões de sinais (mensagem), utilizando como protocolo o código Morse². Seu desenvolvimento por pesquisadores do Grupo de Acústica Submarina do IEAPM teve como meta principal a transmissão submarina de textos curtos com confiabilidade que proporcionasse comunicação entre dois pontos na maior distância possível.

O algoritmo foi dividido em dois módulos: transmissão/codificação (MTx); e recepção/decodificação (MRx). O protocolo de comunicação especificado neste primeiro algoritmo foi baseado na regra de pontos, traços e pausas, descrita pelo código Morse, i.e, um ponto é codificado como uma forma de onda senoidal contínua (Continuous Waveform - CW) com frequência de 7kHz, duração de 0.3 segundos e amplitude unitária; um traço é representado pela combinação de três pontos

1 Transdutores - São equipamentos que transformam um tipo de energia em outro, principalmente sinais elétricos. Transdutores eletroacústicos transformam energia elétrica em acústica e vice-versa. Ex.: Hidrofones, Alto-falantes, Sonares, etc.

2 Código Morse - Desenvolvido em 1835, pelo pintor e inventor Samuel Finley Breese Morse, o Código Morse é um protocolo binário de representação à distância de números, letras e sinais gráficos, utilizando-se de sons curtos e longos transmitir mensagens. Esse protocolo é composto pelas letras do alfabeto e todos os números. Na mensagem esses caracteres são representados por uma combinação específica de pontos e traços.

consecutivos.

Além disso, uma pausa separava pontos e traços sendo codificada como um período de silêncio, com duração igual à do ponto. Duas letras e duas

palavras eram separadas por duas e três pausas, respectivamente. Como exemplo deste protocolo, a Figura 1 mostra o sinal que codifica o texto "MARINHA DO BRASIL".

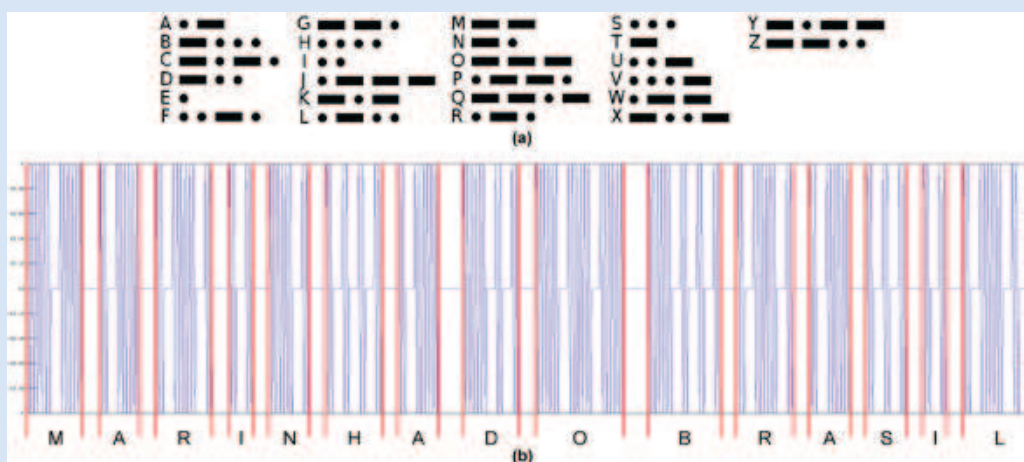


Figura 1: Exemplo de um sinal transmitido pelo MTx. (a) símbolos do código Morse para o alfabeto; (b) texto "MARINHA DO BRASIL" codificado pelo protocolo deste algoritmo.

O sucesso dos resultados obtidos com essa metodologia, em experimentos realizados no tanque acústico de testes do IEAPM, propiciou a criação de um projeto maior e mais complexo de comunicação submarina que atualmente vem sendo desenvolvido na Divisão de Comunicações Submarinas do IEAPM.

Na primeira etapa dessas pesquisas foram realizados estudos sobre técnicas de modulação e demodulação digital a fim de melhorar o desempenho do algoritmo anterior, que até então tinha sua eficácia garantida em ambiente controlado (tanque acústico). A modulação digital pode ser definida como um sistema que possui duas entradas a informação (digital) e a portadora (analógica); e um sinal de saída, que é usado para transportar tal informação numa determinada transmissão. Dentre as técnicas de modulação digital existentes, foi selecionada a modulação digital por chaveamento de frequência (Frequency Shift-Keying - FSK), por possuir uma boa eficiência na transmissão de dados em banda estreita. Essa modulação consiste, resumidamente, em associar cada símbolo a ser transmitido, a

um pulso senoidal de frequência específica com duração predefinida. Desta forma, uma sequência de dados se transforma em uma série de pulsos modulados em n frequências distintas, que são transmitidos sequencialmente através do canal de comunicação (meio).

Com o objetivo de reduzir a taxa de erro (Bit Error Rate - BER) e elevar taxa de transmissão de dados (bits por segundo - bps), um protocolo mais robusto foi especificado fazendo com que os módulos MTx e MRx fossem reprojatados utilizando a modulação 16-FSK, ou seja, chaveamento de 16 frequências distintas que permitem a transmissão de 4 bits em um pulso de determinada frequência onde cada caractere de um texto, que é representado por um conjunto de 8 bits, é transmitido como uma sequência de 2 pulsos (símbolos) em frequências específicas.



Resultados

Diversos experimentos foram realizados a fim de avaliar o desempenho do modem acústico submarino desenvolvido. Três deles representam com fidelidade a evolução do trabalho.

No ano de 2010 foram realizados testes de desempenho, com uma taxa de erro de 5% em transmissões de até 1500 metros de distância.

Em 2011, foram realizados experimentos na Enseada dos Anjos em Arraial do Cabo - RJ, onde a taxa de erro, em distâncias de 800 metros, diminuiu para 0,3%, num ambiente de testes altamente desfavorável, com a ocorrência de um fenômeno físico chamado de multicaminhamento, que é caracterizado pelas múltiplas reflexões do sinal na superfície, no fundo do mar e nas encostas da enseada, causando uma indesejável interferência dos dados.

Finalmente, o último experimento realizado em maio de 2012, mostrou sólidos resultados, comparáveis com os obtidos nas publicações científicas mais recentes da área. Foram obtidas taxas de erro por transmissão da ordem de 10^{-2} , a distâncias de até 3.400 metros do receptor à fonte, com a profundidade variando entre 4 e 30 metros.

Os resultados obtidos ao longo destes dois anos têm sido satisfatórios e dentro das expectativas, pois mostraram que a modulação utilizada é adequada. Muito da robustez do sistema foi alcançada após o desenvolvimento de códigos específicos para a correção de erro e técnicas, adaptadas de sistemas usados na telefonia celular, que aumentaram a confiabilidade do modem e as distâncias de transmissão, diminuindo significativamente a taxa de erro.

Futuros trabalhos buscarão melhorar o sincronismo e diminuir os efeitos do canal, tais como o efeito Doppler³ e o multicaminhamento e, ainda, aumentar as taxas de transmissão de dados, que atualmente está em torno de 200 bps.

Agradecimentos

À tripulação do Aviso de Pesquisas Oceanográficas "Diadorim" pelo constante apoio nos diversos experimentos realizados pelo Grupo de Acústica Submarina (GAS).

Ao 1ºTen (EN) Vale, ao 1ºTen (RM2-T) Giuseppe e ao estagiário Marcos Felipe Medeiros pela condução, organização e participação eficaz no último experimento realizado pela Divisão de Comunicações Submarinas. Ao CNPq pelo suporte financeiro concedido através da subvenção número 381984/2012-5/DTI ao Pesquisador Jefferson Osowsky.

Em especial, ao SO-EL (RM1) Nonato pelas contribuições significativas e criativas para o avanço das pesquisas na área de Acústica submarina.



Experimento realizado nas proximidades da Ilha do Cabo Frio em Arraial do Cabo - RJ .

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chitre M., Shahabudeen S. & Stojanovic M., 2008. *Underwater acoustic communications and networking: recent advances and future challenges*, Marine Tech. Soc. Journal, 42(1), pp. 103-116.

Viterbi, A. J. & Omura, J. K., 1979. *Principles of digital communications and coding*, McGraw-Hill, USA.

Watson, B., 1980. *FSK: Signals and demodulation*, WJ Tech-notes: The Communications Edge, 7(5).

Elliott, E. O., 1963. *Estimates of error rates for codes on burst-noise channels*, Bell System Technical Journal, 42(5), pp. 1977-1997.