

Sintetizador de sinais de tiros

Pedro Couto L. de Almeida e José A. Apolinário Jr.

Resumo—O presente trabalho de iniciação científica apresenta um *software* desenvolvido em MATLAB® capaz de sintetizar um sinal de áudio adquirido por um arranjo de microfones em função de um sinal de tiro e de diversos parâmetros que o caracterizam. Após tais dados de entrada serem inseridos pelo usuário em uma interface gráfica de usuário (em inglês, GUI), o programa analisa se será observada uma onda de choque ou não e, após o cálculo dos atrasos em cada microfone, constrói a onda a ser observada por cada microfone do arranjo, utilizando para isso sinais sonoros reais gravados no CAEx (Centro de Avaliações do Exército). Esse trabalho, além de útil para a avaliação de algoritmos de estimação de direção de chegada e de localização do atirador, é a parte inicial do desenvolvimento de um simulador para treinamento militar no qual um militar com *headphones* perceberá sinais de tiro provenientes de diferentes direções e distâncias.

Palavras-Chave—Simulador de sinal de tiro, *muzzle blast*, *shock wave*, arranjo de microfones, HRTF.

I. INTRODUÇÃO

No âmbito militar, as Forças Armadas dispõem recursos (munições reais) para o treinamento de militares para situações de combate com a presença de atiradores. Na esfera civil, a indústria do entretenimento está constantemente buscando tornar a experiência do usuário a mais real possível. O presente trabalho de iniciação científica descreve um *software* simulador de sinal de tiro, desenvolvido em MATLAB®, que pode atender a demanda dessas duas indústrias, contribuindo com a geração de sinais de disparos de armas de fogo tanto para equipamento de simulação de combate quanto para games de última geração.

II. BASE TEÓRICA

Existem duas ondas sonoras geradas no disparo de uma arma de fogo que nos interessam para o desenvolvimento deste trabalho. A primeira delas, conhecida por sua expressão em inglês *muzzle blast* (MB), é o resultado de uma súbita expansão gasosa seguida por explosão no cano da arma. Esta onda se propaga na velocidade do som e pode ser considerada omnidirecional, como pode ser visto na Figura 1. A segunda é a *ballistic shockwave* (SW), chamado deste momento em diante apenas de *shockwave*, que é somente formada quando o projétil se desloca em velocidades supersônicas (o que é o caso para um tiro de um fuzil de precisão como os usados por um *sniper*, por exemplo) e que, ao empurrar o ar, cria uma onda impulsiva cuja frente de onda é um cone que forma um ângulo α_M com a trajetória do projétil, dado por:

$$\alpha_M = \arcsin\left(\frac{v_s}{v_p}\right), \quad (1)$$

onde v_p se refere à velocidade do projétil e v_s denota a velocidade do som. A esse ângulo dá-se o nome de ângulo de Mach.

Dois fatos relativos à *shockwave* são importantes notar: o primeiro é que ele é direcional, não sendo detectado por microfones fora do seu campo de visão (vide Figura 1 onde FOV denota *field of view*). O ângulo que limita o FOV é dado por [1]:

$$\beta = \pi - 2\alpha_M, \quad (2)$$

α_M sendo o ângulo de Mach. O segundo fato é que, na maioria das vezes, esta onda vai chegar aos microfones antes do *muzzle blast*. Sendo assim, espera-se observar dois sinais impulsivos distintos nos sensores acústicos.

A geometria do arranjo de microfones é um fator determinante no som a ser executado, pois é ela quem vai gerar um retardo entre cada um dos microfones e, conseqüentemente, dar uma noção de onde o som seria proveniente.

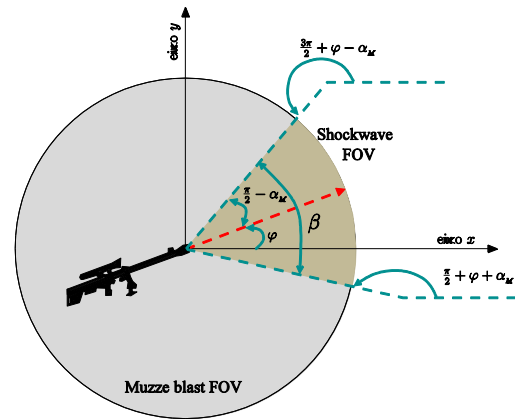


Fig. 1. FOV do *muzzle blast* e da *shockwave*. Note para que a *shockwave* não é omnidirecional, apresentado um campo de visão (FOV) limitado pelo ângulo β , dado na Eq. (2).

III. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Geramos um GUI (*Graphical User Interface*) no MATLAB® que pode ser observado na Figura 2. Ao usuário, é permitido escolher o arranjo de microfones que ele deseja utilizar (número e geometria), as coordenadas do atirador, o armamento, a direção do disparo (em coordenadas esféricas), a velocidade do projétil (assumida constante nesta fase do projeto), a relação sinal-ruído (SNR) em dB, a temperatura ambiente (que determina a velocidade do som no ar) e se ele deseja ou não visualizar *muzzle blast* e *shockwave*.

A partir dos dados informados pelo usuário, é realizado um tratamento matemático nas gravações limpas de sinais de tiros (*muzzle blast*, *shockwave* e ruído isolado) obtidas de testes de campo no CAEx (Centro de Avaliações do Exército). O algoritmo desenvolvido analisa se haverá uma *shockwave*, calcula o atraso ou avanço em cada um dos microfones, faz as somas de sinais necessárias e acrescenta um ruído, como função da SNR.

Como resultado, o programa gera uma figura que representa as ondas sonoras detectadas por cada microfone do arranjo e grava os sinais de tiro simulados em arquivos .WAV.

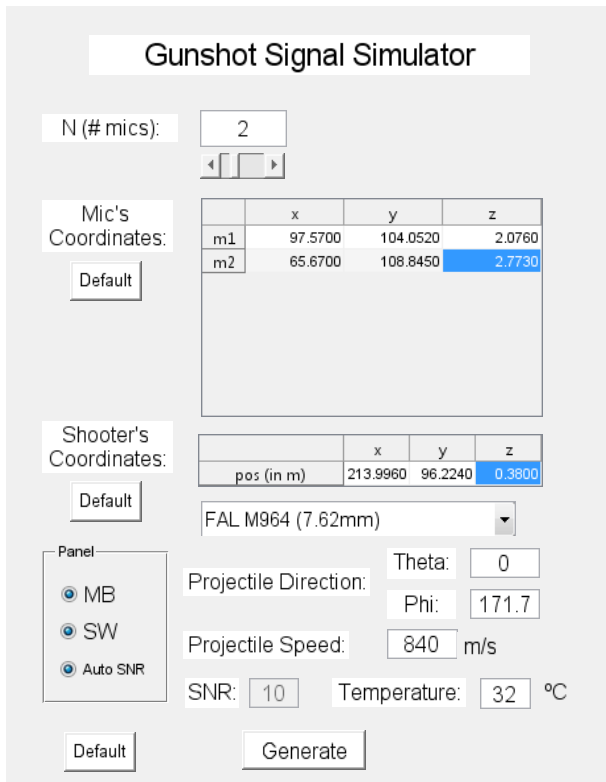


Fig. 2. GUI de um Simulador de Sinal de Tiro gerado em MATLAB®.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Entramos com os dados informados na Figura 2 para simular disparos realizados nestas condições no CAEx. Os ângulos θ e φ representam a direção em coordenadas esféricas que o atirador realiza os disparos. Os resultados podem ser observados na Figura 3, que mostra os sinais reais (parte superior) e os sinais gerados pelo simulador (parte inferior).

Note que, a despeito de uma leve diferença no SW do microfone 2, provavelmente devido a alguma reflexão no solo (que o simulador não leva em consideração), o modelo parece executar bem o seu papel. É possível perceber o sinal da *shockwave* chegando antes do sinal do *muzzle blast*, além de atrasos e avanços devidos à geometria dos microfones. Uma análise espectral revela que a SW apresenta uma frequência maior que a onda que a sucede. Sabe-se também que diferença de tempo entre a chegada da SW e a chegada do MB (nos diferentes microfones de um arranjo) permite estimar a direção e a posição do atirador [2], [3].

A Figura 4 foi obtida a partir de uma série de disparos para o FAL. Ela relaciona o SNR com a distância entre atirador e microfone. A partir disso, pudemos fazer uma aproximação linear que estime um valor razoável para a relação sinal-ruído por meio da opção “Auto SNR” no simulador.

Os resultados observados fornecem um modelo que busca fazer a melhor aproximação possível da realidade. Algumas melhorias neste projeto são possíveis; dentre elas, destacamos

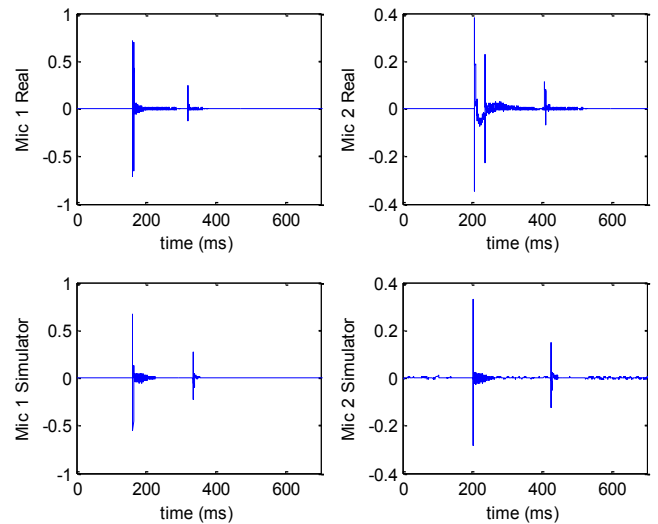


Fig. 3. Ondas observadas em cada microfone do arranjo e seus respectivos sinais reais. Foi utilizada uma frequência de amostragem $f_s = 96\text{kHz}$.

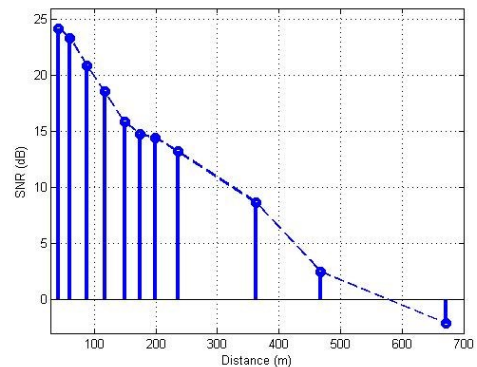


Fig. 4. Gráfico relação sinal-ruído versus distância entre microfone e atirador, utilizada na função “Auto-SNR”.

um tratamento balístico à onda de choque (considerando uma desaceleração do projétil e conseqüente deformação da frente de onda) e, quando de seu emprego em simulador de combate ou em games (usando *headphones*), a incorporação de uma HRTF (*Head-Related Transfer Function*). Esta técnica, o emprego da HRTF, leva em conta o formato e a condução da onda sonora pela cabeça do ouvinte, necessário à criação de um sinal 3D. Um outro aprimoramento também aberto para investigação é a utilização de modelo digital do terreno para simular as reflexões que o sinal sofrerá.

REFERÊNCIAS

- [1] J. George e L. M. Kaplan, “Shooter localization using soldier-worn gunfire detection systems.” 14th International Conference on Information Fusion. Chicago, July 2011.
- [2] P. C. Prandel e J. A. Apolinário Jr., “Estimação da direção de disparo de arma de fogo: uma implementação em tempo real”, Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação, vol. 3, nr. 2, Julho de 2014.
- [3] I. L. Freire e J. A. Apolinário Jr., “Localização de atirador por arranjo de microfones”, X Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, São João del Rei-MG, Setembro de 2011.
- [4] R. C. Maher, “Modeling and signal processing of acoustic gunshot recordings,” Proc. IEEE Signal Processing Society 12th DSP Workshop, Jackson Lake-WY, USA, September 2006.