

Detecção e estimação em tempo real de direção de chegada de sinais impulsivos

Paulo C. Prandel, Izabela L. Freire e José A. Apolinário Jr.

Resumo— O presente trabalho de iniciação científica apresenta uma proposta de sistema em tempo real para a detecção e a estimação da direção de chegada de sinais de áudio impulsivos. Utiliza-se um hardware específico para processamento em tempo real e um arranjo espacial de 7 microfones. Após detectado, o sinal é processado por um algoritmo de estimação de direção de chegada (DoA, *direction of arrival*) que utiliza a correlação cruzada generalizada (GCC, *Generalized Cross-Correlation*) para medir as diferenças de tempo de chegada entre os pares de microfones. Utilizando técnicas de tempo real, não ocorre perda de informação do ambiente pois os processos de detecção e estimação de DoA ocorrem em paralelo. Este trabalho é a parte inicial (o sinal de teste é uma palma) da implementação de um sistema de localização de *sniper*, caso em que o sinal impulsivo é o disparo de uma arma de fogo.

Palavras-Chave— Detecção em tempo real, estimação da direção de chegada, sinais impulsivos, arranjo de microfones.

I. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem por objetivo descrever e implementar em tempo real uma técnica de detecção e estimação da direção de chegada de sinais de áudio impulsivos. Visamos auxiliar o desenvolvimento de equipamentos de detecção e estimação de direção de disparos de arma de fogo. No cenário militar, a localização de *snipers* é um fator de sucesso nos combates. Em aplicações civis, a proteção de autoridades e o emprego destas técnicas em grandes eventos vem tomando foco nas discussões de segurança pública. Sistemas em tempo real proporcionam a detecção sem a perda de informação, ou seja, amostras dos sinais provenientes dos microfones. Isso garante com pequena margem de erro a detecção de sinais impulsivos como, por exemplo, o disparo de uma arma de fogo. Embora já existam equipamentos militares para a detecção e localização de atiradores, a literatura no assunto não é muito vasta.[1], [2], [3], [4].

II. O ARRANJO ESPACIAL DE MICROFONES

O arranjo espacial de microfones mostrado na Fig. 1 é composto por sete microfones BEHRINGER EMC8000, dispostos simetricamente em torno de um centro. Os ângulos ϕ e θ definem o vetor unitário $\mathbf{a}_{\theta,\phi} = \begin{bmatrix} -\sin\theta \cos\phi & -\sin\theta \sin\phi & -\cos\theta \end{bmatrix}^T$, na direção da onda plana, e representam os ângulos de azimute e de complemento da elevação da fonte sonora. Os sons de disparo são coletados pelo arranjo cujos microfones são condicionados por pré-amplificadores que, além de fornecer a alimentação (*phantom power*) aos microfones, ajustam o nível do sinal para a entrada aos módulos de aquisição (conversores A/D) do sistema de detecção.

III. HARDWARE E SOFTWARE UTILIZADOS

O hardware utilizado, linha *compact RIO* (CRIO) da *National Instruments*, é mostrado na Fig. 2. A escolha do equipamento foi baseada em especificações técnicas requeridas para os algoritmos em tempo real além de uma implementação de forma rápida e didática. Os componentes do hardware são os seguintes:

Paulo C. Prandel[†], Izabela L. Freire[‡] e José A. Apolinário Jr.^{†‡}: Seção de Engenharia Elétrica[†] (SE/3) e Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Defesa[‡] (PGED), Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro-RJ, Brasil, E-mails: pauloprandel@hotmail.com, izabela.lyon.freire@gmail.com e apolin@ime.eb.br.

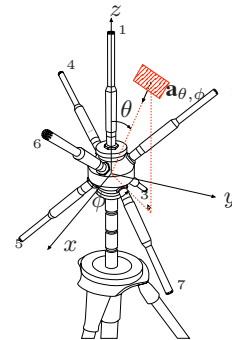


Fig. 1. O arranjo espacial de 7 microfones: a disposição e quantidade de microfones facilitam a estimação de ângulos horizontal (azimute) e vertical (elevação) bem como possibilita uma seleção dos melhores sinais.

- Controladora NI CRIO-9022, com processador de 533MHz rodando o sistema operacional VxWorks;
- Rack CRIO-9112: abriga a controladora e as placas de aquisição além de possuir internamente um FPGA modelo Virtex 5 LX30 da *Xilinx*;
- Dois módulos de aquisição simultânea CRIO-9234 (conversores A/D), totalizando 8 entradas analógicas (das quais são utilizadas apenas 7) com resolução de 24 bits e taxa de amostragem máxima de 51.2kHz.

O software utilizado foi o *LabView*, também da *National Instruments*, complementado por seus módulos *FPGA* e *Real Time*.



Fig. 2. Hardware da National Instruments (CRIO 9022, 9112 e 9234) utilizado para a implementação do sistema.

IV. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Os sinais de cada microfone, provenientes dos pré-amplificadores, chegam aos módulos de aquisição do CRIO, onde são digitalizados a uma taxa de 51.2kHz. Após amostrados, os dados são enfileirados pelo FPGA, que está fisicamente conectado aos módulos de aquisição. Este enfileiramento é do tipo *first in - first out* (FIFO) e realiza um *buffer* circular de dados através de uma janela deslizante com sobreposição de 50%. Esta janela é transmitida pelo barramento do FPGA para a controladora através de um acesso direto à memória (*direct memory access - DMA*). Uma vez na controladora, os dados do microfone 1¹ são tratados por um algoritmo de detecção, que é executado em um *loop* determinístico, cuja característica é possuir um tempo de execução conhecido e mantido a cada iteração,

¹O microfone 1 é padronizado para a detecção do sinal impulsivo por estar posicionado na vertical, possuindo assim uma captação omnidirecional.

característica de um sistema em tempo real [5]. Este tempo de execução é ligeiramente menor que o tempo de composição da nova janela dados no FPGA, o que evita o estouro (*overflow*) da FIFO e consequente perda de dados, o que poderia causar a não detecção do sinal impulsivo.

O algoritmo de detecção [4] obedece ao diagrama de blocos da Fig. 3. O sinal passa por um pré-processamento onde é realizada uma correlação cruzada com um sinal de referência (neste trabalho o sinal sonoro produzido pelo bater de uma palma, anteriormente gravado). O pico desta correlação é comparado ao valor médio da mesma multiplicado por uma constante, detectando a ocorrência do sinal impulsivo caso ultrapasse um limiar estabelecido.

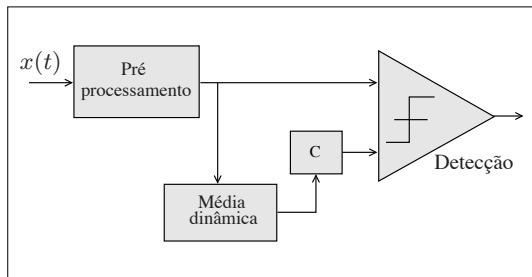


Fig. 3. Esquema usado para a detecção de sinais impulsivos.

Uma vez detectado o sinal impulsivo, os sinais de todos os 7 microfones são enfileirados em uma nova FIFO, que será repassada para outro *loop*, este não-determinístico, que processará o sinal através do algoritmo de estimação de DoA descrito em [2] e em [3], implementado na controladora. Este segundo *loop* não possui tempo de execução definido, realizando suas tarefas na medida em que o *loop* determinístico (prioritário) libera os recursos de processamento. Isto não prejudica a detecção de sinais consecutivos pois os mesmos vão sendo armazenados na FIFO entre os dois *loops*.

Os resultados do algoritmo DoA (ângulos de azimute e elevação da direção de chegada) são transmitidos por meio de variáveis a um notebook através de uma conexão *ethernet*, sendo os resultados mostrados na tela em uma interface de fácil compreensão pelo usuário, além de permitir o *debug* dos possíveis erros de execução. Vale ressaltar que o processamento é feito todo no equipamento (CRIO), não dependendo do notebook, que realiza apenas a interface. Para deixar o sistema mais compacto pode-se realizar a interface diretamente pelo CRIO, por meio de *leds* indicadores da direção de chegada (DoA) ou um mostrador LCD embarcado no próprio equipamento, dispensando o uso do notebook. O resumo de todo o processo é visualizado no diagrama da Fig. 4.

V. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E CONCLUSÕES

O tempo de processamento computado desde a detecção do sinal impulsivo até a saída do resultado é de 1,730 segundos; este tempo será melhorado com a otimização dos algoritmos e do fluxo de dados pelos diferentes caminhos. Foram realizados testes com o sistema em um laboratório de dimensão aproximada de 4x5 metros, utilizando sinais sonoros de um bater de palma gravado, que foi reproduzido em uma caixa de som Yamaha modelo MSP3. Foi utilizada uma caixa de som para garantir uma posição fixa para uma rajada de sinais impulsivos de mesma característica. A caixa de som foi posicionada nos azimutes de 45, 135, 225 e 315 graus, sendo executados 20 disparos em cada posição; os resultados são mostrados nos histogramas da Fig. 5.

A eficiência do sistema, além de possíveis influências de relação sinal ruído, é também função da geometria do local pois, como já

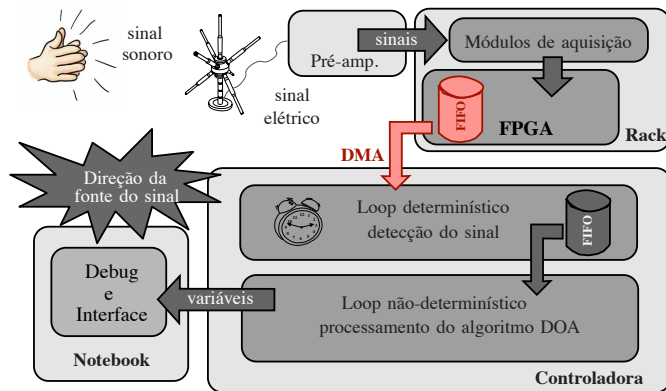


Fig. 4. Diagrama em blocos com o resumo do sistema de detecção e estimação de DOA em tempo real.

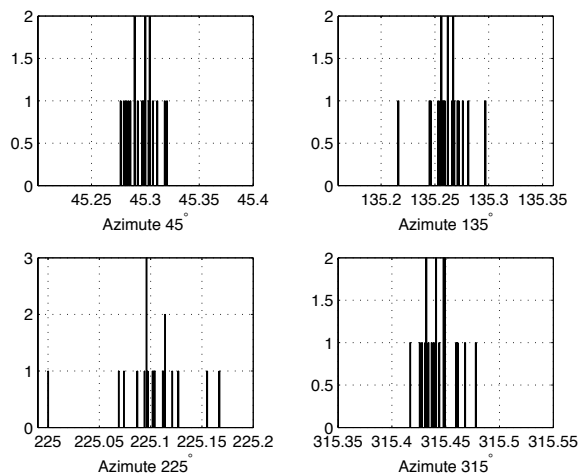


Fig. 5. Histograma dos resultados de DoA para 4 posições diferentes.

foi citado, reflexões podem comprometer a correlação realizada para a detecção e a estimação da DoA. A eliminação de TDOAs (*time difference of arrival* [3], diferença de tempo de chegada) entre pares de microfones que são superiores ao TDOA máximo para cada par (correspondente a própria distância entre os microfones) permitiu o uso deste sistema em ambientes com alta reverberação, diminuindo consideravelmente os erros de estimação. Concluímos afirmando que a implementação realizada apresentou resultados idênticos aos algoritmos implementados em Matlab porém agora rodando em tempo real.

REFERÊNCIAS

- [1] I. L. Freire e J. A. Apolinário Jr., "GCC-based DoA Estimation of Overlapping Muzzleblast and Shockwave Components of Gunshot Signals", *Proceedings of the 2nd IEEE Latin American Symposium on Circuits and Systems (LASCAS 2011)*, Bogotá, Fevereiro 2011.
- [2] I. L. Freire e J. A. Apolinário Jr., "DoA of gunshot signals in a spatial microphone array: performance of the interpolated Generalized Cross-Correlation method", *Proceedings of the 5th Argentine Conference on Micro-Nanoelectronics, Technology, and Applications (CAMTA 2011)*, Buenos Aires, Agosto 2011.
- [3] I. L. Freire e J. A. Apolinário Jr., "Localização de atirador por arranjo de microfones", *Anais do X Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI 2011)*, São João del Rey, Setembro 2011.
- [4] A. Chacon-Rodriguez and P. Julian, "Evaluation of Gunshot Detection Algorithms", *IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: regular papers*, vol. 58, no. 2, February 2011.
- [5] "Lab View Real Time", *Apostila do Curso Lab View Real Time, da National Instruments*.