Instituto Militar de Engenharia
Real Academia de Artilharia, Fortificação e Desenho-1792

Detecção e localização em tempo real de fonte de sinais de áudio impulsivos

Paulo Prandel, Izabela Freire e José Apolinário Jr. (orientador)

IME – Rio de Janeiro, Brasil

Aerospace and Defense Day 2013 – São José dos Campos

11 de setembro de 2013

Introdução

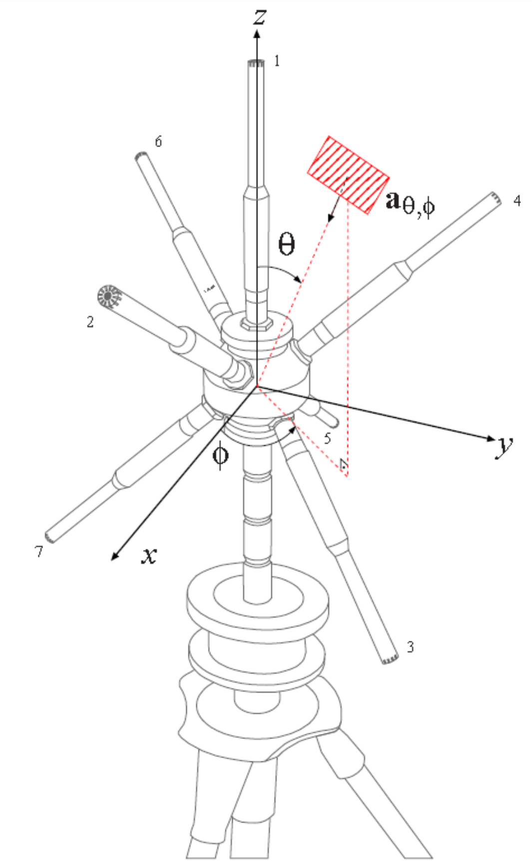
O Desafio

Implementar um sistema para a detecção e localização em tempo real de sinais de áudio impulsivos, especificamente os sinais de disparo de arma de fogo.

A Solução

Utilizar hardware e software da National Instruments para a aquisição e processamento em tempo real de sinais de áudio captados por um arranjo de sete microfones, além de proporcionar uma interface gráfica com as respostas do sistema para o usuário final.

Arranjo de microfones



Definições

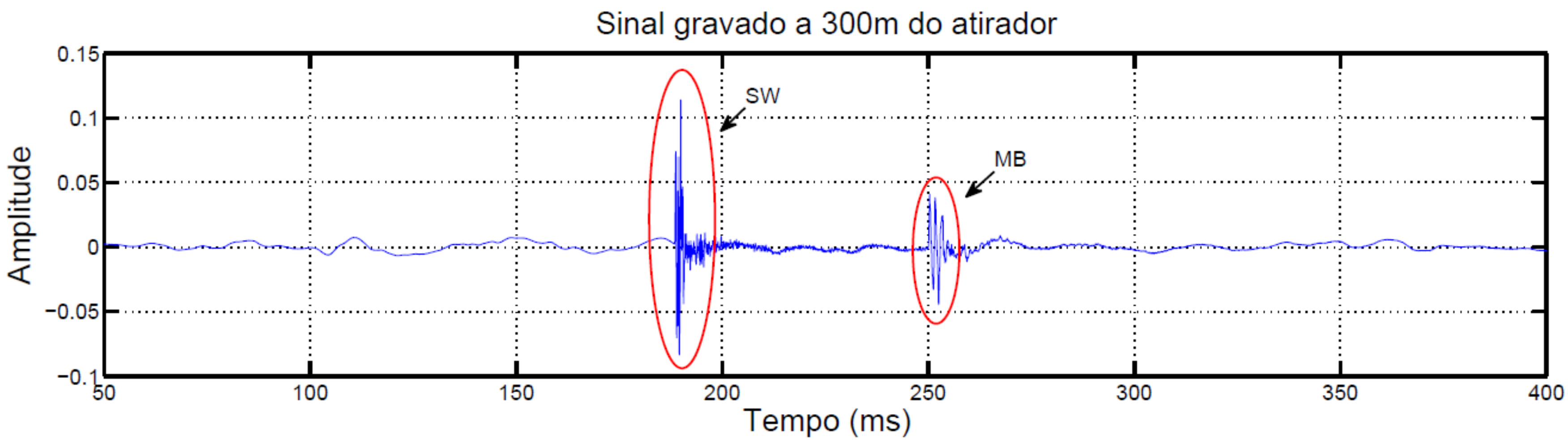
- **DoA:** *Direction of Arrival* - Direção de chegada do sinal de áudio impulsivo

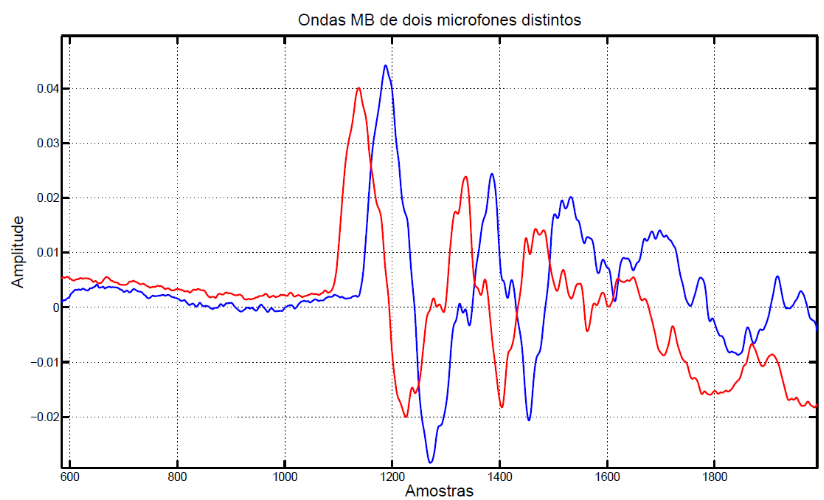
- **TDoA**: *Time-difference of arrival* – Diferença do tempo de chegada do sinal de áudio entre dois microfones

- ***Shockwave***: Onda sonora produzida por projéteis supersônicos

- ***Muzzleblast***: Onda sonora produzida pela deflagração do cartucho na câmara do armamento

Sinais impulsivos





Estimação de DoA

- Tiro é gravado (arranjo de microfones)
- Cada sinal é pré-amplificado
- Cada sinal é digitalizado
- 7 sinais digitais estão disponíveis (para processamento)

Estimação de DoA (cont.)

- Queremos estimar os ângulos ϕ e θ

- Vetor DoA: $\mathbf{a}_{\theta,\phi} = \begin{bmatrix} -\sin\theta\cos\phi & -\sin\theta\sin\phi & -\cos\theta \end{bmatrix}^T$

- Conhecemos todos os TDoAs:

$$\overline{\tau}_{ij} = \frac{d_{ij}}{v_{sound}} = \frac{\mathbf{a}_{\theta,\phi}^T\mathbf{p}_i - \mathbf{a}_{\theta,\phi}^T\mathbf{p}_j}{v_{sound}} = \mathbf{a}_{\theta,\phi}^T\Delta\mathbf{p}_{ij}$$

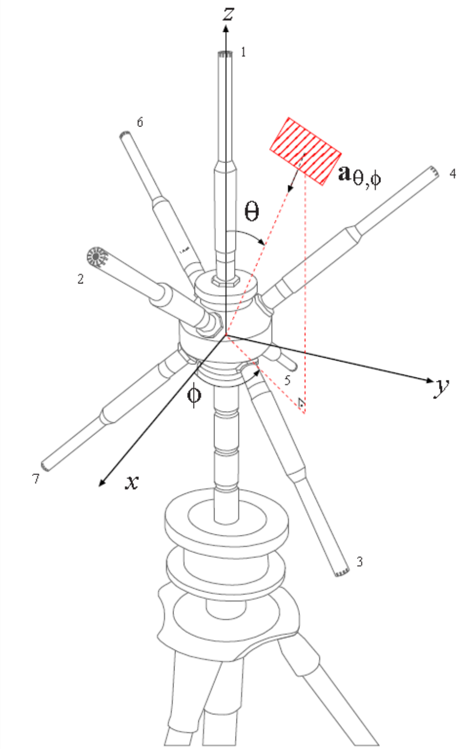
- Minimizamos uma função custo

$$\xi(\theta,\phi) = (\overline{\tau}_{12} - \Delta\mathbf{p}_{12}^T\mathbf{a}_{\theta,\phi})^2 + \cdots + (\overline{\tau}_{(N-1)N} - \Delta\mathbf{p}_{(N-1)N}^T\mathbf{a}_{\theta,\phi})^2$$

- … e resolvemos por mínimos quadrados

$$\mathbf{a}_{DOA} = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{b}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{A} &= \Delta\mathbf{p}_{12}\Delta\mathbf{p}_{12}^T + \cdots + \Delta\mathbf{p}_{(N-1)N}\Delta\mathbf{p}_{(N-1)N}^T \\ \mathbf{b} &= \overline{\tau}_{12}\Delta\mathbf{p}_{12} + \cdots + \overline{\tau}_{(N-1)N}\Delta\mathbf{p}_{(N-1)N} \end{aligned}$$



Estimação de DoA (cont.)

- Precisamos de:
  - ✓ Amostragem simultânea
  - ✓ Alta frequência de amostragem
  - ✓ Processamento em tempo real
  - ✓ Funções de alto nível
  - ✓ Robustez
  - ✓ Fazer tudo em 3 meses

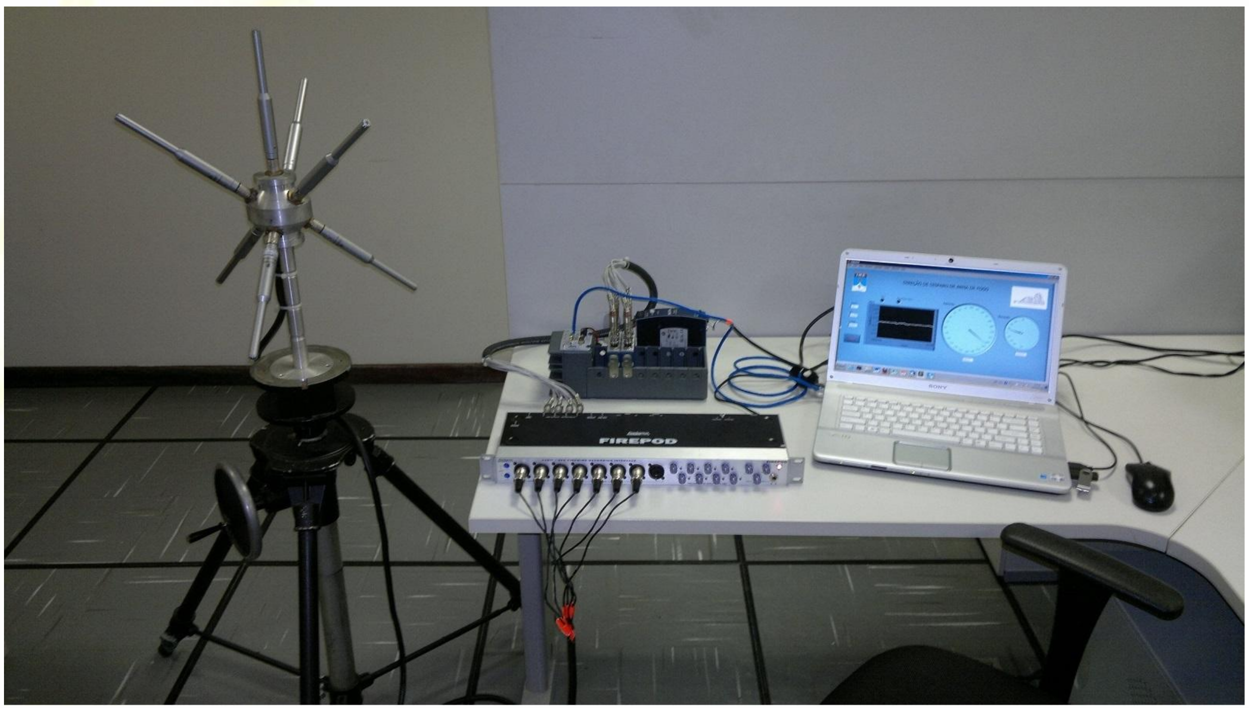
COMO??

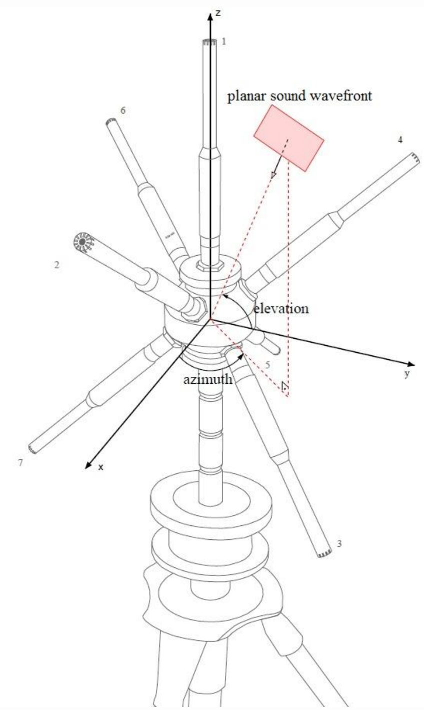
A IMPLEMENTAÇÃO EM LABVIEW

Hardware e software utilizados

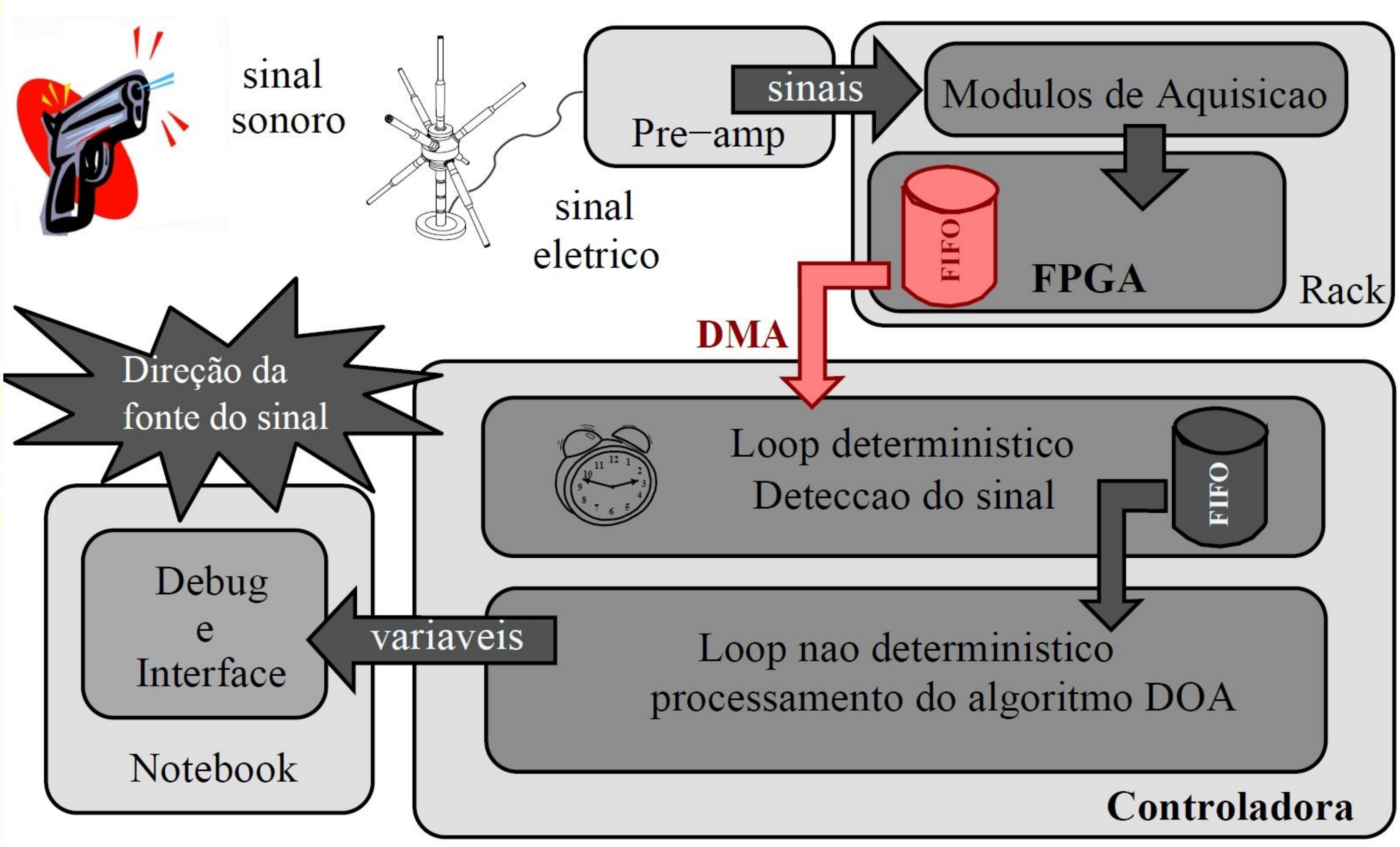
- NI cRIO-9022, controladora de tempo real
- NI cRIO-9112, chassi de oito slots reconfigurável com FPGA embarcado
- Dois NI 9234, módulos de aquisição simultânea (A/D)
- NI LabVIEW 2012
- LabVIEW 2012 Real Time Module
- LabVIEW 2012 FPGA Module

O setup


FIREPOD

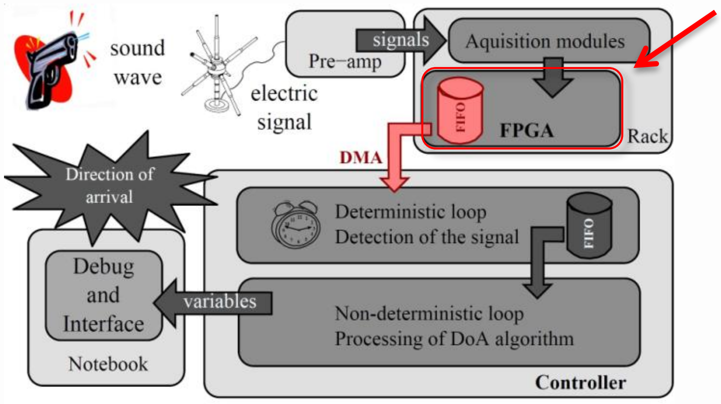

z
1
planar sound wavefront
6
4
2
elevation
azimuth
5
y
7
x
3

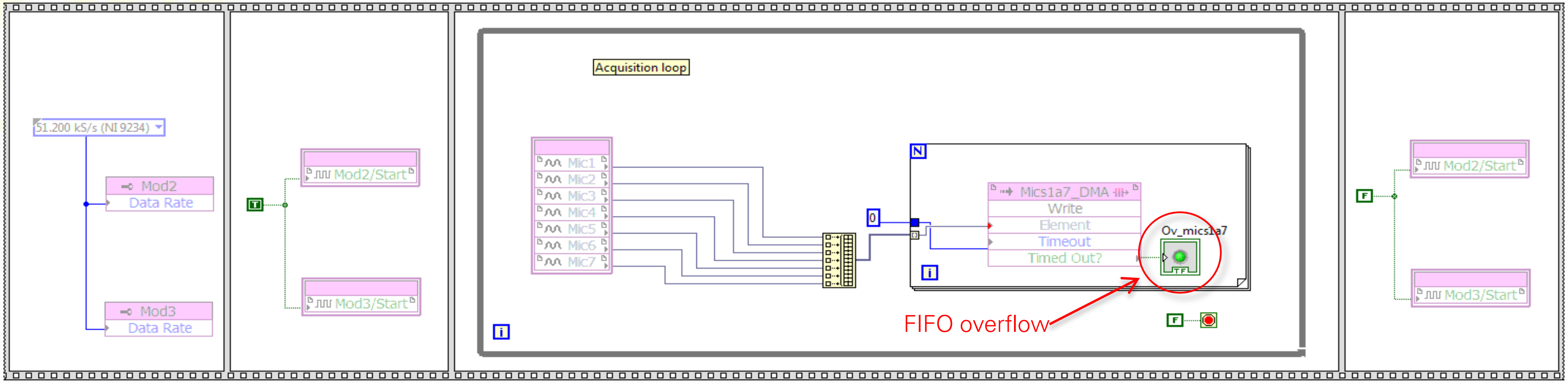
Visão geral


sinal
sonoro
sinal
eletrico
sinais
Pre−amp
Modulos de Aquisicao
FIFO
FPGA
Rack
DMA
Direção da
fonte do sinal
Loop deterministico
Deteccao do sinal
FIFO
Loop nao deterministico
processamento do algoritmo DOA
Debug
e
Interface
variaveis
Notebook
Controladora

LabVIEW VIs

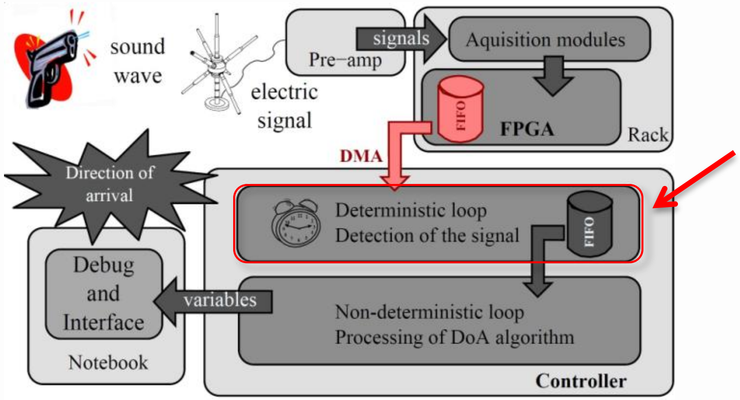
- FPGA: Aquisição e enfileiramento

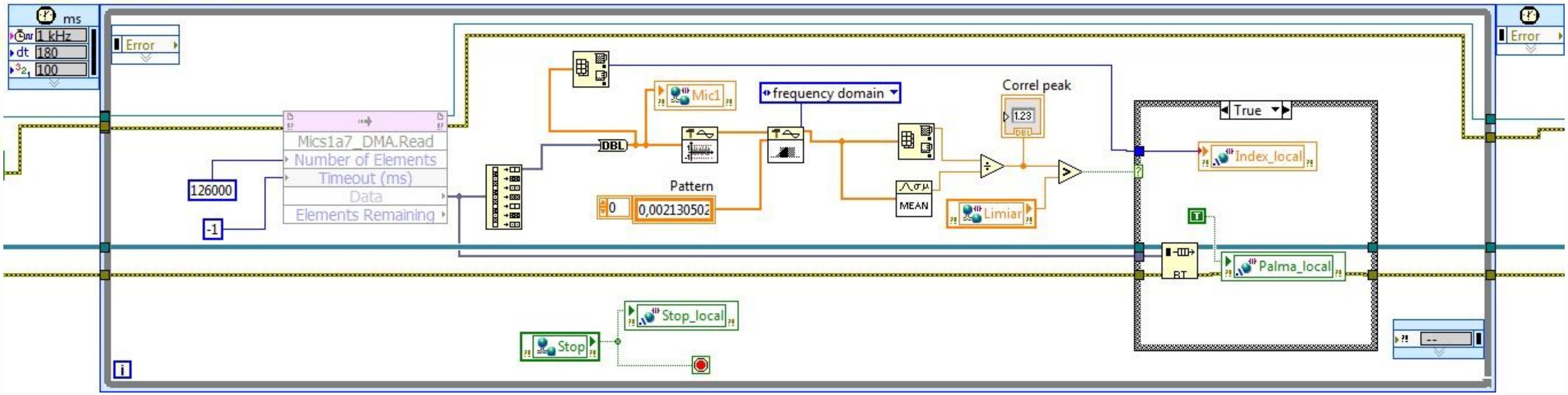




LabVIEW VIs

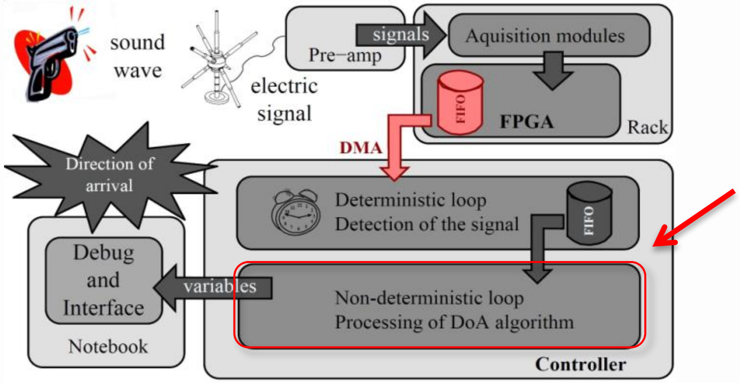
- Detecção em tempo real: loop determinístico

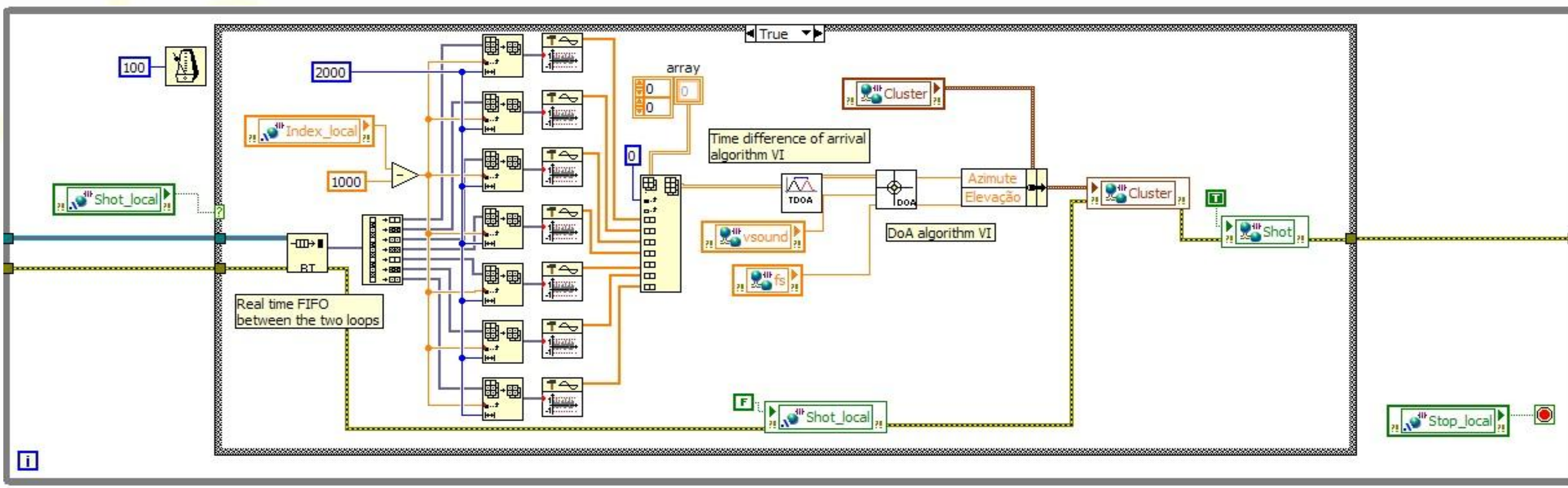




LabVIEW VIs

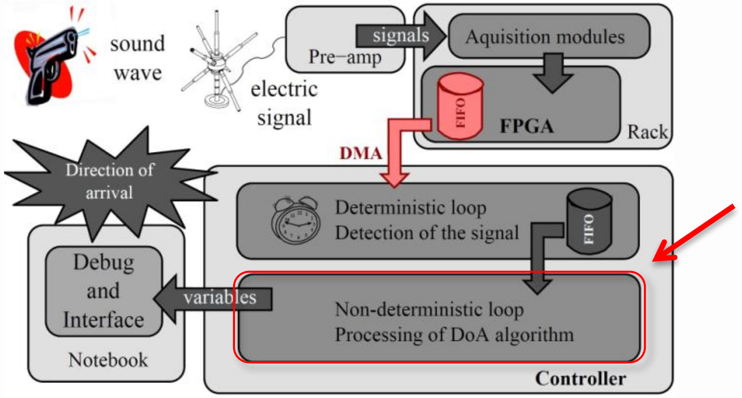
- Processamento do algoritmo DoA: loop não determinístico

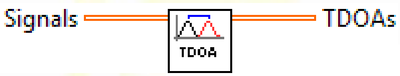


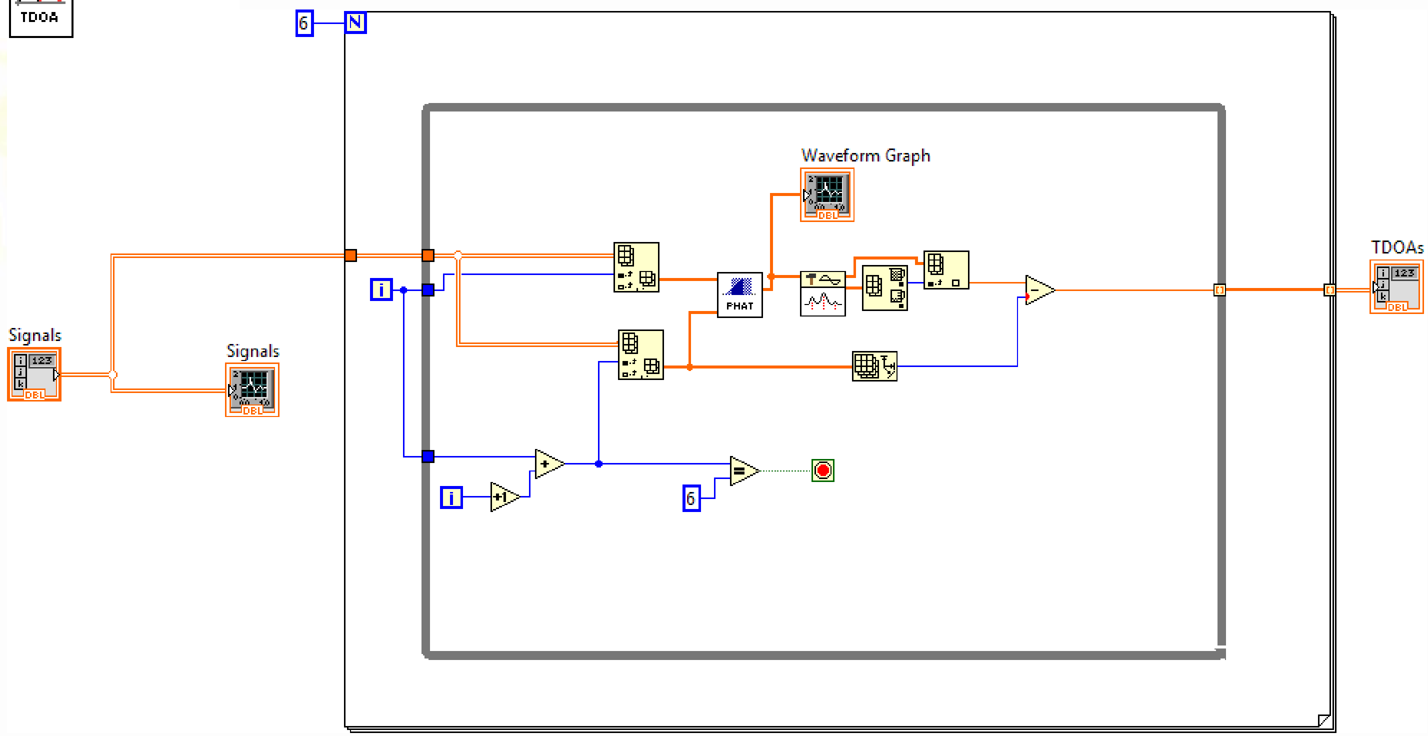


LabVIEW VIs

- Diferença do tempo de chegada (TDoA)

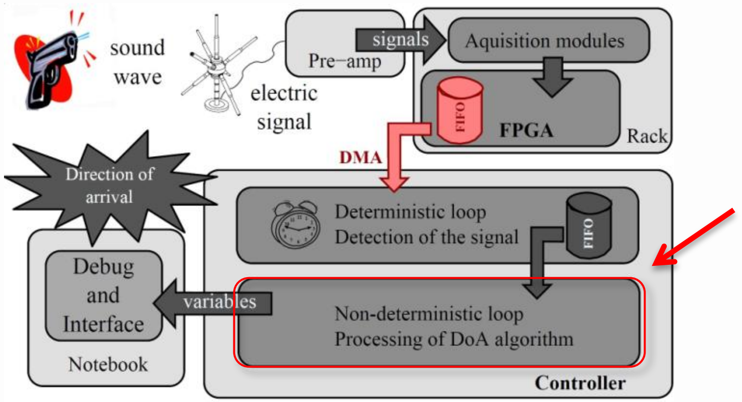


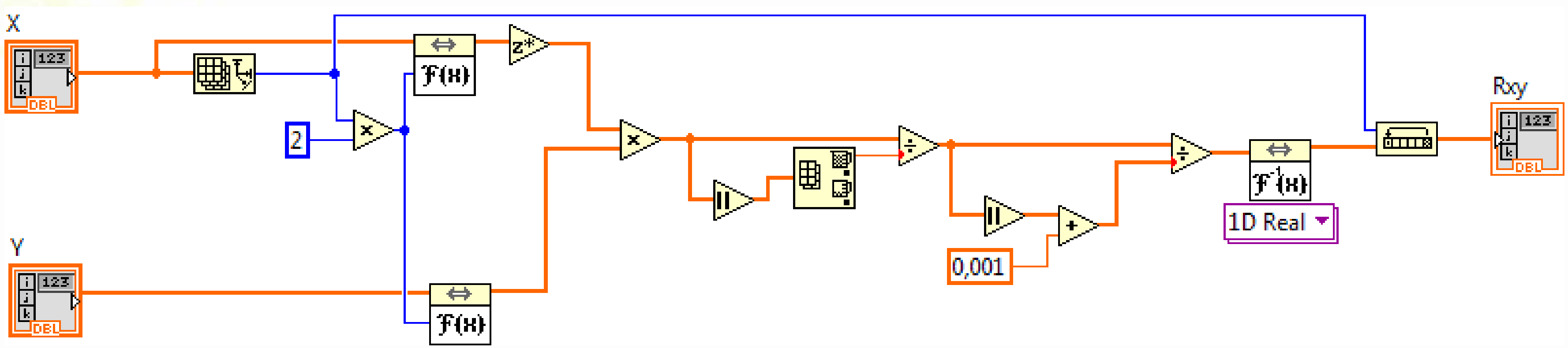




LabVIEW VIs

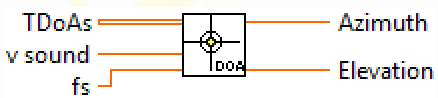
- Correlação cruzada generalizada com transformada de fase

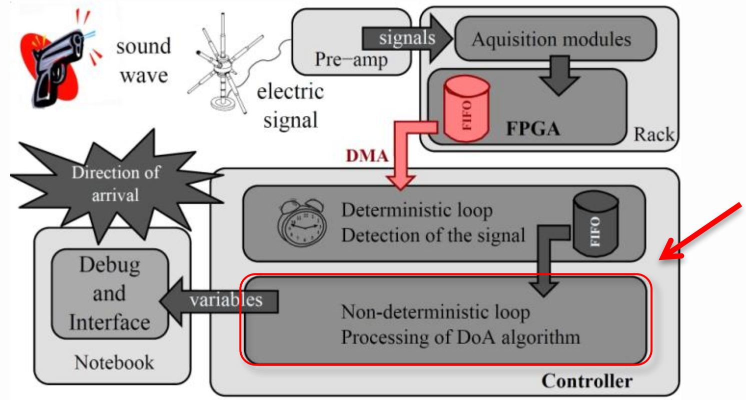


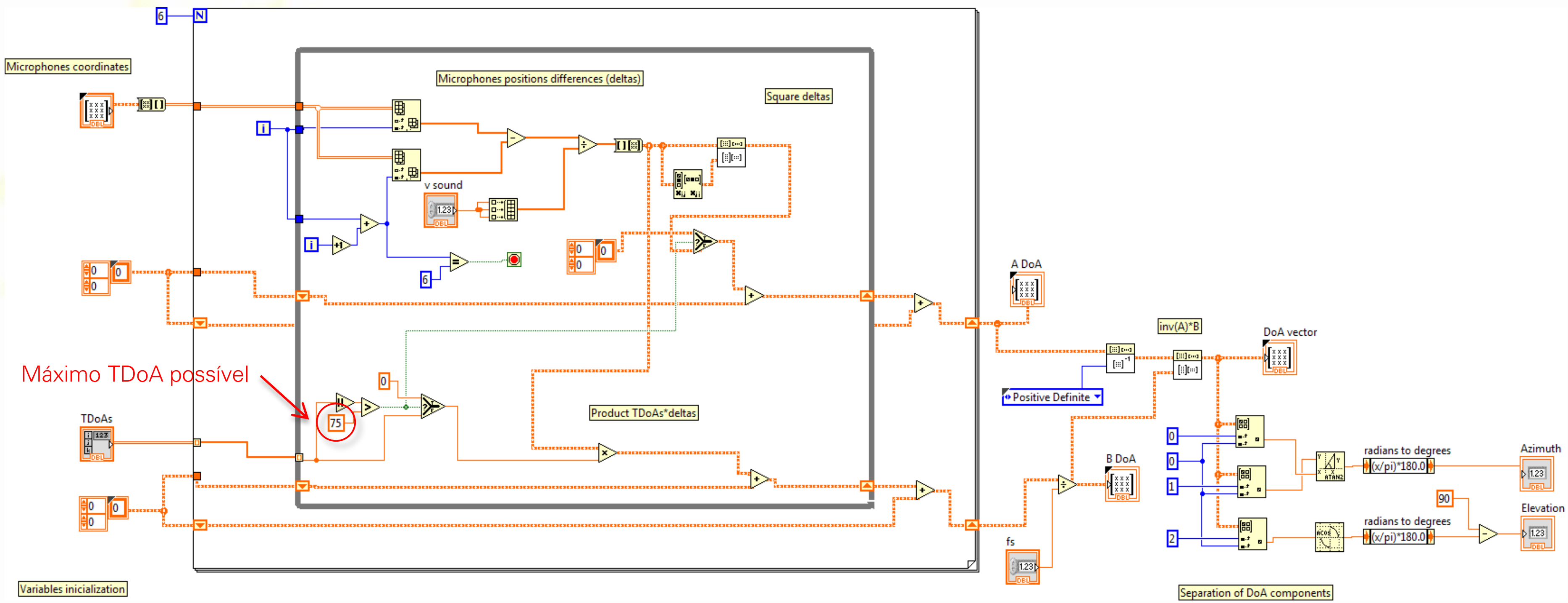


LabVIEW VIs

- Direção de chegada (DoA)

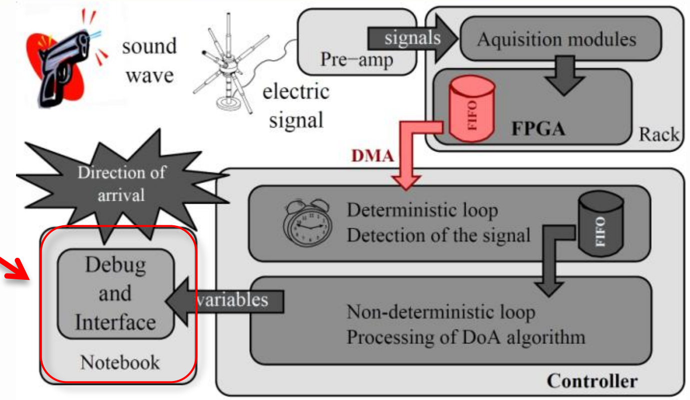


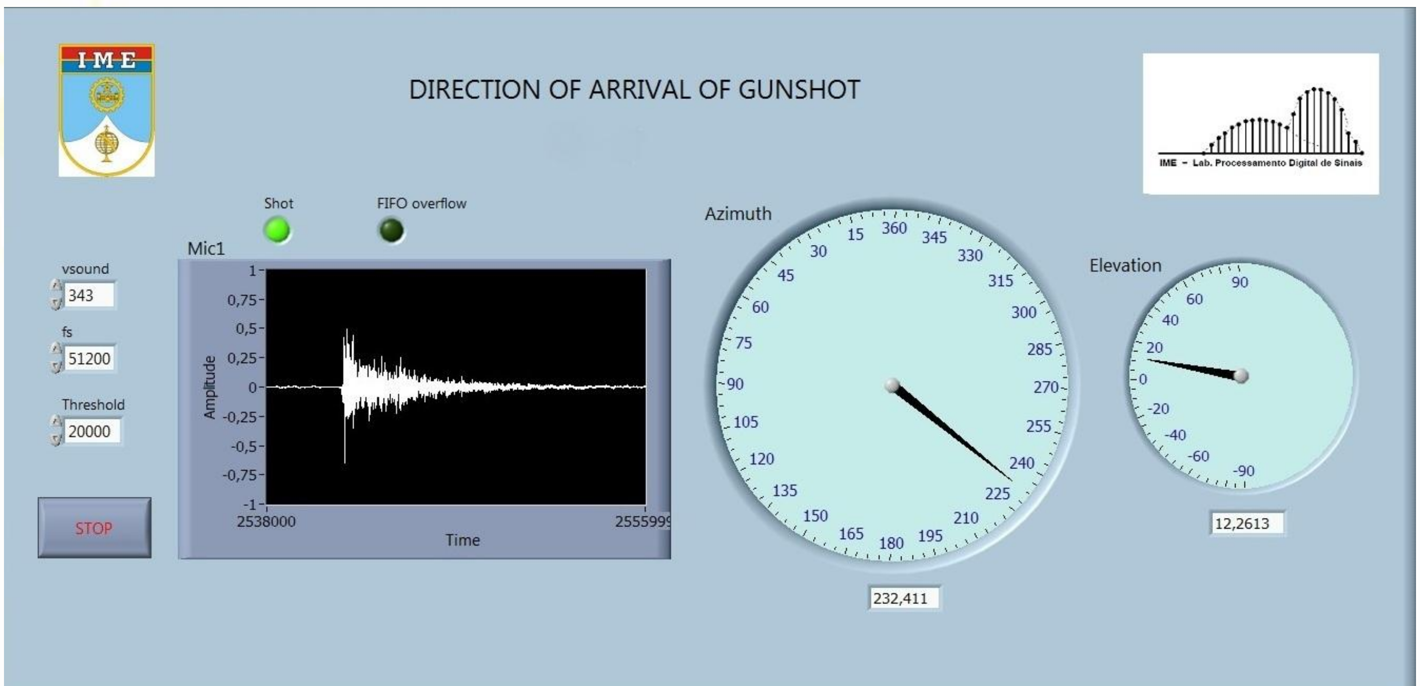




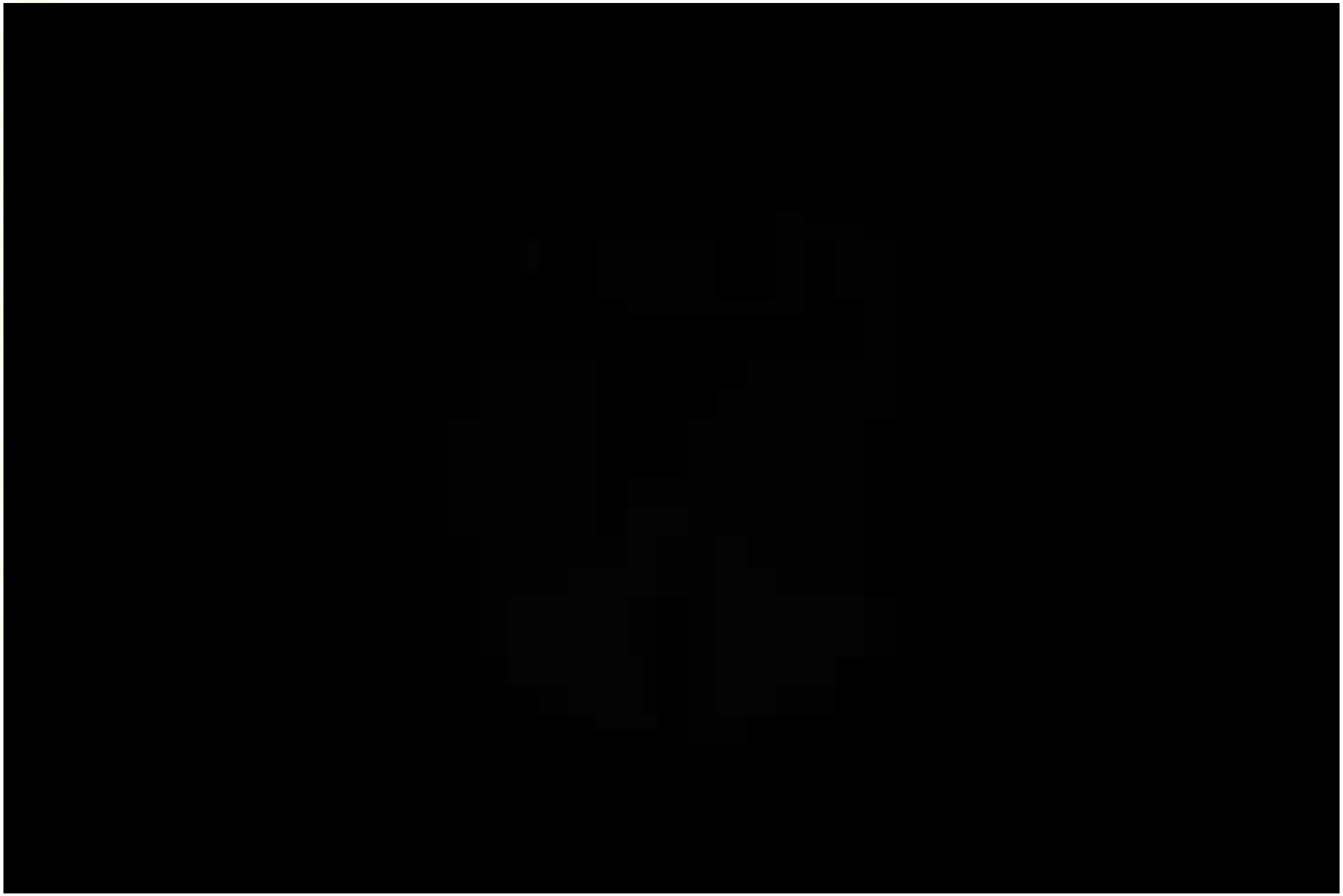
LabVIEW VIs

- Interface





Vídeo demonstrativo



Conclusão

- Este projeto abordou um importante problema de segurança pública
- A estimação de DoA de sinais de arma de fogo pode ser utilizada tanto no cenário de segurança pública quanto em conflitos armados (*snipers*)
- Os *hardwares* e *software* da NI utilizados neste projeto permitiram a sua realização com sucesso em um tempo reduzido (3 meses)
- A análise dos dois sinais componentes (*muzzleblast* e *shockwave*) de um disparo supersônico será incluída (próximo passo)
- Seleções inteligentes de pares de microfones para a estimação da DoA estão sendo estudadas

- Vencedor do IX Concurso Acadêmico NI Brasil - Melhores aplicações acadêmicas em projeto gráfico de sistemas - 2012

- Finalista no *Students Design Competition 2013* - NIWeek - Austin – TX

Obrigado !!!