



Implementação do algoritmo de autocorrelação para medição de velocidade Doppler em VHDL

Implementation of the autocorrelation algorithm for Doppler velocity measurement in VHDL

Primeiro(a) M.Matheus Filipe Maia da Silva (orientado) *,
Segundo(a) M.Prof. Dr. Fabio Rizental Coutinho (orientador) †

18 de outubro de 2021

RESUMO

O presente trabalho de iniciação tecnológica visa implementar em lógica reconfigurável, linguagem VHDL, um algoritmo de estimação de velocidade para instrumentação ultrassônica Doppler baseado no algoritmo de autocorrelação. Propõe-se validar o algoritmo no ambiente Matlab com dados previamente digitalizados numa primeira etapa. E numa segunda etapa, o algoritmo é implementado em FPGA, utilizando o kit DE10 lite. A implementação em lógica reconfigurável é testada pelo envio de dados de experimento práticos previamente adquiridos por um computador para uma placa arduino, que por sua vez, envia os dados para o kit via interface SPI. Ao final o algoritmo para cálculo de frequência implementado, foi testado com frequências variando de 120 hz a 1 khz obtendo resultados com um erro relativo máximo de 0,6%.

Palavras-chave: Frequência. Ondas mecânicas. Ultrassom.

ABSTRACT

The present technological initiation article aims to implement in reconfigurable logic, VHDL language, a velocity estimation algorithm for ultrasonic Doppler instrumentation based on the autocorrelation algorithm. It is proposed to validate the algorithm in the Matlab environment with previously digitized data in a first step. And in a second step, the algorithm is implemented in FPGA, using the DE10 lite kit. The reconfigurable logic implementation is tested by sending practical experiment data previously acquired by a computer to an arduino board, which in turn sends the data to the kit via the SPI interface. At the end the frequency calculus algorithm, was tested with frequencies between 120 hz and 1 khz, obtaining results with a maximum relative error of 0.6%.

Keywords: Frequency. Mechanical waves. Ultrasound.

1 INTRODUÇÃO

A medição da velocidade com que a água flui em um rio ou canal fluvial permite obter a vazão ou descarga do canal fluvial. Os medidores de vazão do tipo *Ultrasound Velocity Profiler*(UVP) (TAKEDA, 2012) ou também denominado *Acoustic Doppler Current Profile* (ADCP) permitem medir o perfil espacial da vazão ou corrente de um canal fluvial por meio de sensores de ultrassom. A técnica consiste em emitir pulsos de ultrassom na água e observar os efeitos Doppler nos ecos das partículas microscópicas suspensas na água. Essas partículas suspensas na água servem de rastreadores da vazão.

*  DIGRAD, COELE, Bacharelado em Engenharia Eletrônica; ✉ matheusfilipe@gmail.com.

†  DIGRAD, COELE, Bacharelado em Engenharia Eletrônica; ✉ fabiocoutinho@professores.utfpr.edu.br.



Caracterizando a vazão espacial (na direção da profundidade) periodicamente, permite a aplicação de técnicas para a predição do comportamento do canal. Prevenindo assim enchentes, assoreamento, seca e poluição. Entretanto, para obter predições precisas tais técnicas necessitam que as medições sejam realizadas periodicamente. Para obter essa periodicidade pode-se embarcar um UVP em um veículo aéreo não tripulado (VANT) anfíbio.

Um VANT pode facilmente percorrer distâncias de alguns quilômetros até o trecho do rio que se pretende realizar as medições. Ademais, o VANT pode realizar diversas viagens de monitoração num mesmo dia, permitindo obter uma grande quantidade de dados para gerar uma série temporal de medição. Utilizando um VANT com carcaça anfíbia, o mesmo pode flutuar no rio e percorrer uma grande distância dentro do canal fluvial realizando diversas medições em vários pontos do canal. Na água, o drone não precisa despendar energia para se manter flutuando e por isso tem uma autonomia muito maior de deslocamento do que no ar. Isso permite realizar uma grande série de medições locais.

Uma proposta para projetar e desenvolver um mini UVP para ser embarcado em um VANT foi submetida para a Fundação Araucária e obteve financiamento para a sua realização no ano de 2020. O componente principal do UVP é o algoritmo de estimação de velocidade que fornece a informação base para compor a vazão. Este trabalho propõe a implementação em *VHSIC Hardware Description Language* (VHDL) do método de autocorrelação para medição de velocidade Doppler por ultrassom.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema consiste em um sistema de envio de pulsos de ultrassom, e recebimento dos ecos gerados pelas pequenas partículas imersas na água. O efeito Doppler, causa uma mudança na frequência da onda refletida quando há uma velocidade relativa entre o transmissor da onda ultrassônica e as partículas que causam o eco. tal diferença pode ser calculada a partir da Equação 1

$$f_o = \frac{v + v_0}{v + v_s} f_s, \quad (1)$$

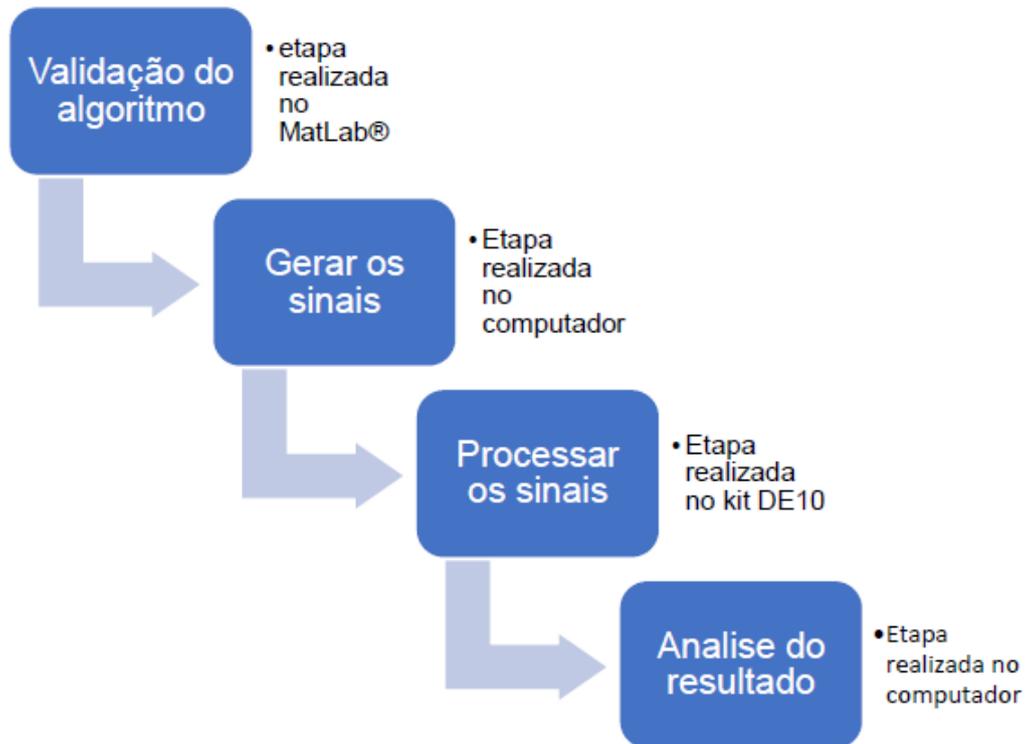
onde f_o é chamado de desvio Doppler. Ao se desenvolver um algoritmo capaz de calcular a mudança de frequência de um sinal pode-se calcular a velocidade que este sinal foi ecoado.

Para realizar a implementação do algoritmo, segue-se uma série de etapas descritas na Figura 1. A primeira etapa será realizada pelo software MatLab® no qual será feita a simulação matemática para a validação do algoritmo. Após a validação do algoritmo, um computador enviará os dados dos ecos, adquiridos previamente, para a *Field-Programmable Gate Array* (FPGA). A FPGA, que estará rodando o algoritmo validado portado para VHDL (*VHSIC Hardware Description Language*), estimará a frequência e enviará os dados de volta ao computador para a análise.

2.1 O Kit de desenvolvimento De10-Lite

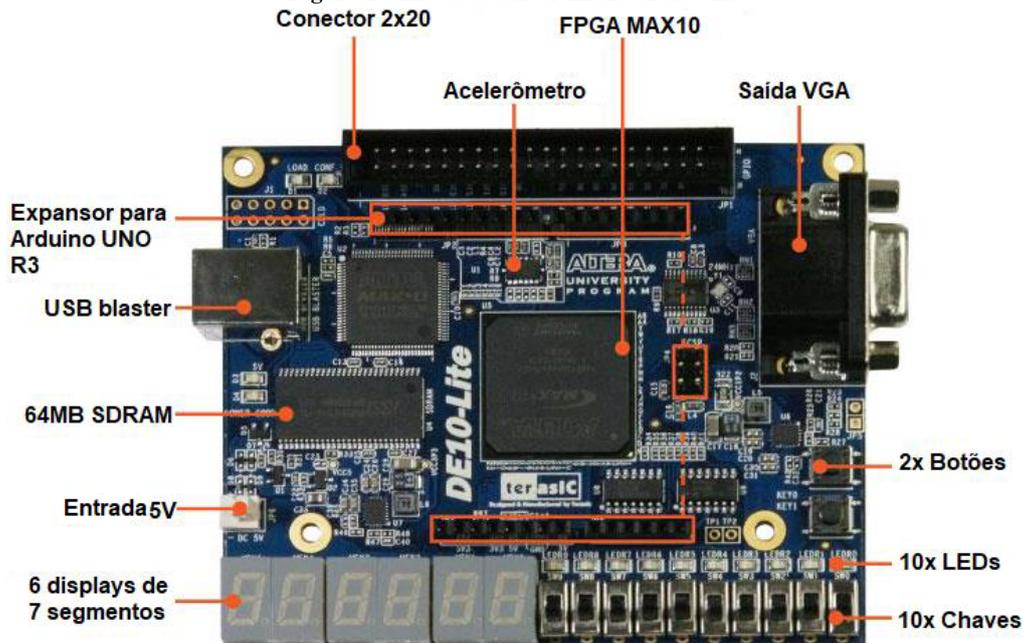
Será utilizado um kit DE10-Lite, da Terasic®, mostrado na Figura 2. No kit será utilizado a FPGA, para o processamento do sinal com um algoritmo feito em VHDL e o expansor para arduino, para flexibilizar a entrada de dados podendo assim realizar diversos testes com entradas diferentes

Figura 1 – Fluxograma da Metodologia a ser implementada



Fonte: Autoria Própria

Figura 2 – Kit de desenvolvimento De10- Lite
Conector 2x20



Fonte: adaptado de (DE10. . . , 2020)



2.2 Validação do Algoritmo

Para a validação do algoritmo, será gerado um *script* no Matlab® como descrito na Figura 3. O *script* gera um seno de uma frequência específica e faz a transformada de Hilbert de duas formas, a tradicional e uma forma implementável, então realiza-se a autocorrelação do sinal com um atraso de 2 amostras e se obtém a frequência do sinal.

Figura 3 – *Script* de Validação do algoritmo

```
clear all
fc=119; % frequência onda de referência
fs=fc*8; % frequência de amostragem
t=linspace(0,1,1*fs); % vetor de tempo t=0 a 1 segundo
y=sin(2*pi*fc*t); % sinal senoidal com frequência fc
plot(t,y)
%% demodulação complexa
iq=hilbert(y); % aplica transf Hilbert
t=(0:1/fs:size(iq,1)*(1/fs)-(1/fs))';
datad=iq.*exp(-1i*2*pi*fc*t);

%% demodulação complexa (implementável)
lag=2; % atraso
datad=y(1:end-lag)-y(1+lag:end)*i; % gera um vetor de num complexos
%% aplica autocorrelação lag 1
R=datad(2:end)*datad(1:end-1)';
w=atan2(imag(R),real(R));
fc_est=fs*w/(2*pi) % mostra a freq estimada
```

Fonte: Autoria Própria

2.3 Comunicação

Como o kit DE10 lite não contém uma forma de comunicação direta com o computador e gravação direta dos dados deixa a aplicação menos flexível para testes, será utilizado um Arduino uno R3, para fazer a interface entre o computador e o kit.

Utilizando SPI (Serial Peripheral Interface, em português, Interface Periférica Serial), para se comunicar com o kit e a serial USB do Arduino para se comunicar com o computador. Como mostrado na Figura 4.

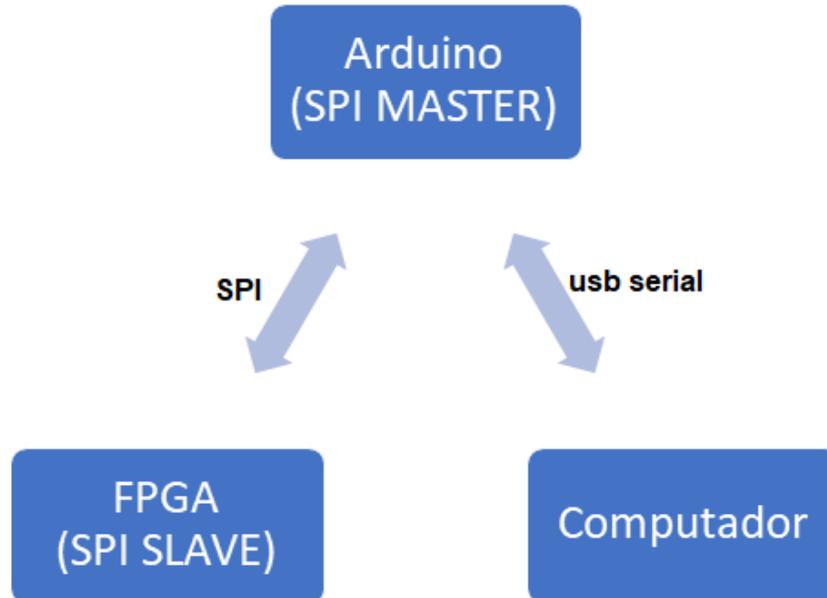
3 RESULTADOS

Após a implementação do algoritmo para calcular a frequência do sinal recebido pela FPGA, os resultados podem ser vistos na tabela 1.

Com os resultados obtidos, pode-se entender que o algoritmo de autocorrelação para o cálculo de velocidade Doppler, que é fundamentado no cálculo da frequência de um sinal, quando implementado em FPGA ganha uma velocidade e ferramentas suficientes para o cálculo da velocidade Doppler.



Figura 4 – Diagrama de comunicação



Fonte: Autoria Própria

Tabela 1 – Resultado do algoritmo de calculo de frequência

| Frequência gerada | Frequência calculada | Erro relativo |
|-------------------|----------------------|---------------|
| 120 hz | 120,8 hz | 0,6% |
| 240 hz | 241,4 hz | 0,58% |
| 480 hz | 482,0 hz | 0,41% |
| 1 khz | 1005,1 hz | 0,51% |

Fonte: Autoria própria (2021).

4 CONCLUSÕES

Embora não tenha sido possível implementar todo o algoritmo, como era o objetivo, os resultados parciais da implementação mostram que com algum tempo a mais dedicado ao projeto, pode-se melhorar a precisão do que já foi implementado e terminar a implementação completa do algoritmo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente, a Deus, que permitiu a execução deste trabalho. Aos meus pais que me incentivaram a estudar e buscar a realização dos meus sonhos. A todo corpo Docente da UTFPR campus Toledo, que me guiou em toda minha jornada acadêmica. Em especial ao professor Fabio Coutinho, que teve a paciência necessária para me orientar neste trabalho. À Fundação Araucária pelo financiamento deste projeto. Emfim, a todos que ajudaram este projeto de alguma forma.



REFERÊNCIAS

TAKEDA, Yasushi. **ULTRASONIC DOPPLER VELOCITY PROFILER FOR FLUID FLOW**. Tokio, Japão: Springer, 2012.

TERASIC. **DE10 user Manual**. [S.l.], 2020. Disponível em:<https://www.terasic.com.tw/cgi-bin/page/archive.pl?Language=EnglishNo=1021PartNo=4> , acesso 15/08/2021 09:51.