

Efeito Doppler

Ondas eletromagnéticas para detecção de velocidade

Doppler Effect

Electromagnetic waves for speed detection

Helton Maia, Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba, Curso Superior de
Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações

Sheyla Farias, Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba, Curso Superior
de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações

Endereço: Rua Presidente Kennedy, nº 82. Tambauzinho – João Pessoa / PB.

Fax: (083) 3218 1111. Cel: (083) 8812 6769. E-mail: sheylainfo@gmail.com

Resumo

Este artigo utiliza conceitos de radar de onda contínua operando na banda k (24,1GHz), capaz de medir a velocidade e o sentido de deslocamento de um alvo. Procura-se comprovar a existência de ondas eletromagnéticas para a detecção de presença de objetos. Essa detecção se torna possível devido aos efeitos das ondas que se propagam e são refletidas através do Efeito Doppler. Foram também aprofundados os conceitos sobre o efeito Doppler, medição com equipamentos de telecomunicações e utilização do software Matlab/Simulink 7.0.

Palavras-chave: Radar de onda contínua, ondas eletromagnéticas, efeito Doppler.

Abstract

This paper describes a prototype of a continuous wave radar system at k(24,1Ghz) band to measure the velocity and sence of displacement of a target. It is important to prove the existence of electromagnetic waves for the detention of object presence. This detention if becomes possible due to the effect of the waves that if propagate and are reflected through Doppler Effect. Also we study at great length the concepts on Doppler effect, measurement with equipment of telecommunications and use of software Matlab/Simulink 7.0.

Key Words: Continuous wave radar, electromagnetic waves, Doppler effect

1 Introdução

O radar, do inglês *Radio Detection And Ranging* (Detecção e Telemetria pelo Rádio), possui seu funcionamento baseado na análise do eco da onda eletromagnética emitida. Existem dois tipos de radares, os de impulso e os de onda contínua, sendo o segundo nosso objeto de estudo. Radares são utilizados para diversos fins, mais usualmente empregados para detecção de presença de objetos, medição de velocidade e indicação espacial dos mesmos.

2 Embasamento Teórico

2.1 Efeito Doppler

O Efeito Doppler é uma característica encontrada nas ondas eletromagnéticas quando emitidas ou refletidas por um objeto que está em movimento com relação ao observador.

Para verificar o efeito, é necessário que o alvo tenha uma componente radial da velocidade relativa ao radar, esse movimento indicará uma variação de frequência emitida pela fonte. O Efeito Doppler é utilizado na implementação dos radares de onda contínua.

Figura 1 - Esquematização do Efeito Doppler

Para o Efeito Doppler ser máximo se torna necessário $\theta = 0^\circ$ (no caso em que o objeto se desloque em linha com relação ao radar), assim a velocidade medida é correspondente à velocidade efetiva do objeto. Já no caso de ser zero, a trajetória do alvo é uma circunferência com o receptor no seu centro. Neste caso, o receptor entende esta situação como se o objeto estivesse parado.

2.2 Radar de Onda Contínua

Estes radares emitem um sinal de rádio contínuo, não existindo assim a necessidade de tempos de escuta e de emissão típico dos radares de impulso. A emissão de um sinal contínuo permite que esse radar distinga objetos parados de objetos que estão em movimento, através da análise da diferença do sinal de resposta, utilizando o Efeito Doppler. Esse tipo de radar pode ser usado essencialmente para objetivos diferentes: detectar e indicar a localização do objeto, medir a velocidade e seu sentido de deslocamento.

Nesse último modo de funcionamento é preciso separar os sinais emitido e recebido, sabendo que possuem potências bem distintas, normalmente verifica-se a potência do sinal de eco como sendo 10^{18} vezes mais fraco que o do sinal enviado. Então, garantindo que exista um movimento relativo entre radar e o alvo, obtemos assim, a variação de frequência com o Efeito Doppler, estimando a velocidade relativa entre o radar e objeto.

3 Cálculos Teóricos

3.1 Efeito Doppler

Se R for a distância que separa o radar do seu alvo, tendo o comprimento de onda λ , corresponde a uma excursão angular de 2π radianos, assim essa mesma excursão angular total φ feita pela onda eletromagnética (ida e volta) é igual a $4\pi R/\lambda$ radianos .

Para um alvo em movimento, R e φ estarão variando em relação ao tempo, essa variação da excursão angular total φ em relação ao tempo é igual à frequência. Esta é a frequência angular de Doppler ω_d , dada por:

$$\omega_s = 2\pi f_d = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{4\pi}{\lambda} \times \frac{dR}{dt} = \frac{4 \times \pi \times v_r}{\lambda}$$

em que f_d é a frequência de Doppler e v_r é a velocidade relativa entre o alvo e o radar. Sendo assim, a frequência de Doppler é dada pela seguinte expressão:

$$f_d = \frac{2v_r}{\lambda} = \frac{2v_r f_0}{c}$$

onde f_0 é frequência de emissão e c é a velocidade de propagação da luz (3×10^8 m/s). A velocidade relativa também pode ser escrita da forma $v_r = v \cos(\theta)$, sendo v o módulo da velocidade do alvo e θ o ângulo entre a trajetória do alvo e a linha que o une ao

radar.

Assim, quando o objeto estiver aumentando sua distância em relação ao radar, a resultante do Efeito Doppler se tornará cada vez mais negativa e decrescente, pois a frequência do eco recebido será menor que a frequência de emissão do transmissor, indicado na equação seguinte:

$$f_{eco} = f_0 - f_d$$

Por outro lado, quando o objeto estiver diminuindo sua distância em relação ao radar, a resultante do Efeito Doppler se tornará cada vez mais positiva e crescente, pois a frequência do eco recebido será maior que a frequência de emissão do transmissor, indicado na equação seguinte:

$$f_{eco} = f_0 + f_d$$

4 Sistema Completo

4.1 Funcionamento

O diagrama de blocos abaixo resume o funcionamento de um sistema simples para radar de onda contínua, base dessa implementação.

Figura 2 – Sistema básico do radar de onda contínua

Da direita para a esquerda no diagrama, percebemos seu funcionamento a partir da emissão de onda contínua com frequência f_0 , que em seguida é radiada pela antena, então parte dessa radiação é refletida $\pm f_d$ pelo alvo que é recebida pela antena. O eco recebido chega ao diodo receptor que combina com parte do sinal transmitido f_0 , obtendo após essa multiplicação duas senóides correspondente a dois sinais, sendo um seno da soma das frequências e outro o seno da diferença, já no mixer trabalha-se apenas com o da diferença, ou seja, a frequência Doppler. Por fim utiliza-se uma amplificação a níveis que possamos trabalhar juntamente com a eliminação de outros ecos desnecessários.

4.2 Elementos de Construção Analógico/Digital

A figura abaixo mostra todos os blocos que fazem parte de constituição do sistema, incluindo partes analógicas e digitais, posteriormente detalhadas. Iniciamos com uma antena tipo parabolóide, utilizada tanto para emitir como para receber os sinais, ligado a ela um módulo *Gumplexer* que opera na banda K (24,1GHz), dispositivo que permite detectar a diferença entre a frequência do sinal emitido e o eco recebido, dando diretamente a frequência *Doppler*. Entre o *Gumplexer* e a placa de som do computador será necessário um simples circuito elétrico, mas que sirva para fazer um pré-tratamento do sinal recebido, garantindo uma tensão (5v) de alimentação correta para o *Gumplexer*, amplifica e filtra-se o sinal recebido (BARROS, D.; PINTO, F, 2003). Os sinais elétricos resultantes serão encaminhados para placa de som do computador, onde um módulo do Simulink (From Wave Device) converterá essa entrada em stream

de dados binários que serão utilizados na parte digital pelo software Matlab/Simulink para extrair velocidade e sentido de deslocamento do alvo.

Figura 3 – Diagrama de partes do sistema completo

Com detalhes abaixo, a parte digital do sistema, onde podemos verificar desde a recepção do sinal elétrico, via placa de som passando pelo conversor e a obtenção da velocidade e sentido de deslocamento no velocímetro em seguida.

Figura 4 – Sistema de blocos geral da captação do Efeito *Doppler*.

4.3 Processamento do Sinal e Implementação no Matlab/Simulink

O processamento do sinal no Matlab/Simulink funciona como um conversor Analógico/Digital que recebe o sinal analógico, via placa de som, e o converte em um sinal digital. É possível configurar no Matlab tanto a frequência de amostragem como resolução por amostra, utilizando ainda o processamento com frames que é bem mais eficiente computacionalmente.

Por intermédio da placa de som ocorre a captação do sinal e o subsequente processamento digital deste sinal, através do *from wave device*.

Figura 5 – Sistema From Wave Device.

Já no *conversor*, o sinal passa por vários processos de transformação e

adaptação. O sinal recebido passa por um sistema que disponibiliza dois sinais, ambos em banda base, que se difere em 90° graus e possuem amplitudes diferentes. Assim, é necessário amplificar um dos sinais antes de calcular a *Fast Fourier Transform* (FFT) – Transformada Rápida de Fourier – do sinal recebido, para poder se ter na saída a mesma amplitude para estes sinais.

Com a soma da quadratura dos dois sinais recebidos e previamente tratados, obtemos com isso o sinal analítico. O espectro do módulo da FFT é calculado e seu resultado dar-se-á entre zero e a frequência de amostragem. Para as taxas superiores, as amostragens são rejeitadas, pois esse processamento significa que os sinais receberam maiores ruídos.

Nesse momento o sinal está complexo, o que é determinante para detectar o sentido do deslocamento. A determinação da velocidade através do Efeito *Doppler*, também desenvolvida nessa fase do processo do sinal recebido, é obtida com os índices da FFT que são responsáveis pelo valor da frequência Doppler e esta frequência é responsável pela conversão na velocidade que será medida pelo velocímetro.

Logo após o espectro é reorganizado, pois será necessário a simetria do sinal em relação ao eixo para distinguir o sentido do deslocamento. O período do espectro do sinal amostrado é aproveitado para a realização da simetria. Ocorre apenas uma troca de linhas da matriz do sinal em duas linhas diferindo entre si em 90° .

Figura 6 – Sistema do Conversor.

Por fim, no velocímetro encontramos velocidades tanto positivas quanto negativas, o que decorre do objetivo desse projeto, que não visa só a medição da velocidade, mas também o sentido de deslocamento do objeto. Quando se obtém valores negativos o objeto está se afastando e, quando positivos, este está se aproximando.

Figura 7 – Sistema do Velocímetro.

5 Resultados Obtidos

5.1 Gráficos

Através dos dispositivos de saída que se encontra em todo o decorrer do sistema (Scoop) foram obtidos alguns gráficos que demonstram as etapas e modificações do processamento do sinal. Primeiramente o sinal em frequência é convertido para unidades binárias.

Figura 8 – Gráfico da conversão do sinal de frequência para digital.

Durante o processamento podemos encontrar também, ao mesmo tempo, aproximadamente dois momentos do sinal. Um é em relação ao espectro de frequência que é medido antes da FFT.

Figura 9 – Gráfico da captação do sinal no domínio do tempo antes da FFT.

E logo após a uma seleção, a resultante do sinal obtido da FFT no domínio do tempo passa por um seletor e já no domínio da frequência é captado.

Figura 10 – Gráfico da captação do sinal no domínio da frequência depois da FFT.

5.2 Sistema

Com esses dados do processo do sinal, verifica-se que as modificações no tacômetro foram significativas, passando de 0 km/h para -15km/h, como mostrado no sistema abaixo.

Figura 11 – Sistema de blocos geral. Captação do Efeito *Doppler* em funcionamento.

Percebe-se com isso que, neste caso, os dados inseridos no *From Wave Device* indica à captação do sinal de um objeto se afastando.

Assim o funcionamento do radar de onda contínua por Efeito Doppler depende da detecção de riscas no espectro e da determinação de sua frequência. Após esses estudos, foi detectado que a potência de ruído recebida era significativamente superior nas frequências mais baixas em relação às frequências mais elevadas.

6 Conclusões

Considerando os objetivos desse projeto, foi possível verificar que para detecção através dos sensores de velocidade precisa-se, essencialmente, de um processo de detecção, correção e processamento dos sinais recebidos através do Efeito Doppler gerado pelas frequências eletromagnéticas de um sinal contínuo. Assim, é ineficaz classificar os equipamentos valendo-se apenas, de simples conceitos técnicos.

A simulação do processamento e da amostra do sinal no velocímetro foi capaz de aprofundar e obter idéias concretas do funcionamento de um radar.

Já sua implementação prática foi realizada apenas parcialmente devido a certas dificuldades ao acesso físico de tais equipamentos, utilizando-se algumas vezes de valores dos trabalhos informados nas referências.

7 Referências

- BARROS, D.; PINTO, F. Apontamentos: *Radar de onda contínua na banda K (24,1 GHz) para medição da velocidade e do sentido de deslocamento de um alvo*. Universidade do Porto, Portugal, 2003. Disponível em: <http://paginas.fe.up.pt/~srui/st2/>
- Math Works. *Signal Processing Toolbox For use with Matlab*. 2001 - Version 5
- Randall R.B., Tech B., *Frequency Analysis*, September 1987.

- Skolnik, M. *Introduction to Radar Systems*, 2001 - 3ª edição. McGraw-Hill.