Unisanta Science and Technology, **2020, 1, August**
Published Online 2020 Vol.9 N°1 http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat)

UNISANTA
Science and Technology
ISSN 2317-1316

Análise da Aquisição do Sinal de um Sensor Infravermelho Passivo-PIR

[1,2*]Rodrigo Favari de Britto, [2]Dorotéa Vilanova Garcia

[1]BP - Tecnologia Eletrônica
Rua Juazeiro, 87 - CEP 09190-620 Santo André/SP – Brasil

[2] UNISANTA- Universidade Santa Cecília - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - PPGEMec
Rua Oswaldo Cruz, 266. 11045-100, Santos-SP, Brasil.

[*]E-mail: rodrigo@bpte.com.br
Received March, 2020

Resumo: Sensores Infravermelhos são sensíveis aos raios infravermelhos são muito utilizados para detecção de movimentos. Neste artigo propomos a aquisição de dados e pós-processamento de maneira digital de um sensor infravermelho passivo (PIR) de saída analógica. A utilização de um conversor analógico digital com sobre amostragem, amplificador de ganho programável associado a uma boa velocidade de amostragem tornam possível a aquisição do sinal. Como pós-processamento um filtro passa faixa digital foi implementado. Os resultados da simulação mostram que o filtro digital implementado realmente eliminou os ruídos para as frequências definidas deixando o sinal pronto para o algoritmo de detecção de movimento.

Palavras chave: conversor analógico digital, filtro digital, sensor PIR.

PIR - Passive Infrared Sensor Signal Acquisition Analysis

Abstract: InfraRed sensors are sensitive to infrared rays and are widely used for motion detection. In this article we propose the acquisition of data and post processing digitally from a passive infrared sensor (PIR) with analog output. The use of an analog digital converter with over-sampling, a programmable gain amplifier associated with a good sampling speed make it possible to acquire the signal. As post processing a digital bandpass filter was implemented. The simulation results show that the digital filter implemented really eliminated the noise at the defined frequencies, leaving the signal ready for the motion detection algorithm.

Keywords: Analog Digital converter, digital filter, PIR sensor.

1. Introdução

Todos os objetos e seres vivos emitem raios infravermelhos acima da temperatura zero absoluta. Essa radiação pode ser detectada por dispositivos eletrônicos projetados para esse objetivo. Os sensores PIR são chamados de dispositivos passivos, pois não emite energia para detectar a presença de objetos [1]. Aplicações utilizando sensores infravermelhos passivos (PIR) vem crescendo devido ao baixo custo do sensor e grande possibilidade de aplicações como sistemas de segurança, iluminação automática, abertura automática de portas e rastreamento de pessoas [2]. Em sua maioria, em aplicações de sensores PIR são utilizados para segurança no caso de sistemas de alarmes e para economia de energia no caso de iluminação automática [3]. Uma vantagem é o fato do sensor PIR não ser intrusivo à privacidade humana [4]. Estudos sobre tratamento de dados do sensor PIR tem sido amplamente efetuados com utilização de algoritmos de *machine learning* [5] para rastreamento de pessoas dentro de um determinado ambiente, estimação de ocupação em uma sala e determinação da direção do movimento. Outros estudos utilizam o sensor PIR aplicado a *Internet* das Coisas enviando para a nuvem quando o sensor detecta um evento [6]. Muitos estudos utilizam sensores PIR com sinal de saída digital, no entanto algumas aplicações exigem a utilização de sensores PIR com sinal de saída analógico [7]. Técnicas para tratamento do sinal utilizando circuitos analógicos já foram exploradas, porém os componentes passivos possuem grande variação devido a características de construção

Copyright © 2020 ISESC.

fazendo com que os sensores tenham comportamentos diferentes em um mesmo ambiente.

Uma técnica de tratamento do sinal amplamente utilizada faz uso do conversor digital ΔΣ, porem o desempenho é inferior ao circuito analógico. Em sua maioria os sinais físicos podem ser digitalizados porque normalmente variam lentamente, como é o caso do sensor PIR [8]. Este trabalho tem como objetivo analisar o sinal analógico proveniente da saída do sensor PIR através de um conversor analógico digital com aproximação sucessiva utilizando técnicas de sobre amostragem e filtros digitais.

2. Material e Métodos

Para o desenvolvimento desse trabalho utilizou-se o sensor PIR LHI778, conforme figura 1, este sensor possui 2 elementos, uma impedância de saída típica de 5kΩ e um ruído típico de 20μVpp.



Figura 1. Imagem do sensor PIR.

Para a aquisição do sinal utilizou-se um microcontrolador de 32bits cortex M0+ATSAMD21.

A escolha desse microcontrolador se deu principalmente pelo conversor analógico digital de aproximação sucessiva (SAR) com entrada diferencial e resolução de 12 bits com sobre amostragem por *hardware* capaz de atingir até 16 bits de resolução.

Outra característica é o amplificador de ganho programável (PGA) de até 16x que integra o conversor analógico digital.

A figura 2 mostra o diagrama de blocos do conversor analógico digital.

A figura 3 mostra o *kit* de desenvolvimento utilizado, onde o mesmo possui o gravador e *debug* para o microcontrolador integrado.

Para o desenvolvimento do *firmware* do microcontrolador utilizou-se o ambiente de desenvolvimento MPLAB X 5.30 e o compilador C XC32.

2.1 Aquisição dos Dados

Para a aquisição dos dados alguns cálculos são necessários, para a verificação de quanto 1 unidade de AD equivale a tensão elétrica e comparar com os dados do sensor.

A segunda verificação é com relação a frequência de amostragem.

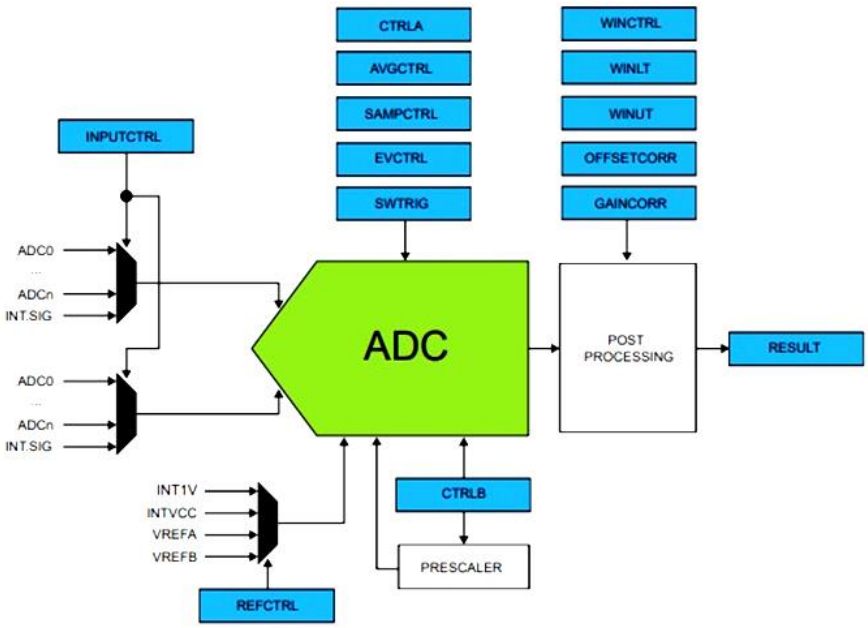

Figura 2. Diagrama de Blocos do Conversor Analógico Digital.

Copyright © 2020 ISESC

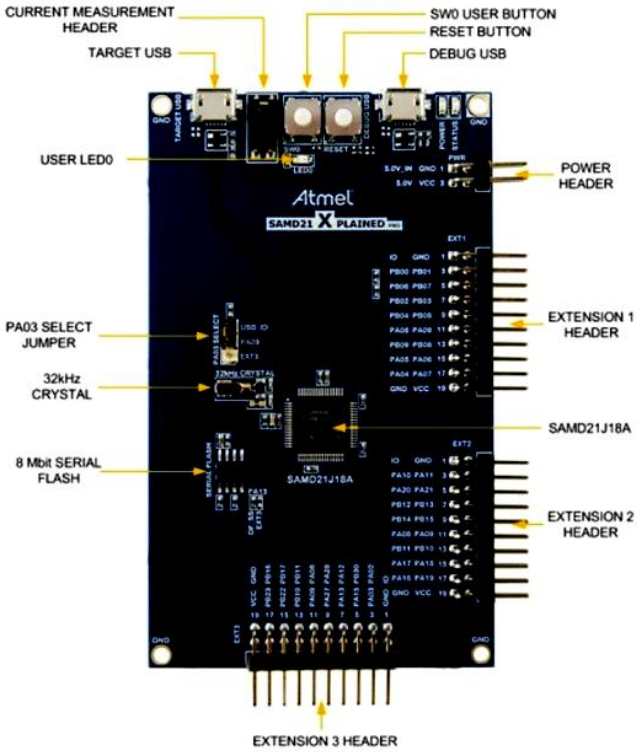

Figura 3. Imagem do *kit* de desenvolvimento utilizado.

Através da equação 1 pode-se calcular o quanto equivale 1 unidade de AD em tensão elétrica.

$$V = v_{ref}((2^n) - 1)/A \quad (1)$$

onde:

A é o ganho do amplificador de ganho programável, *n* é o número de bits de resolução do conversor analógico digital e v*ref* é a tensão de referência do conversor analógico digital.

O teorema de Nyquist estipula que o sinal deve ser amostrado pelo menos duas vezes mais rápido que a frequência do sinal medido, conforme equação 2.

$$f\text{nyquist} > 2 * f\text{sinal} \quad (2)$$

A teoria por trás de sobre amostragem e dizimação é bastante complexa, mas usar o método é bastante fácil. A técnica requer uma quantidade maior de amostras. Estas amostras extras podem ser obtidas através da amostragem excessiva do sinal. Para cada bit adicional de resolução, *n*, o sinal deve ser super amostrado quatro vezes.

Com qual frequência amostrar o sinal de entrada é dado pela Equação 2.

Para obter a melhor representação possível de um sinal de entrada analógica, é necessário sobre amostragem do sinal, porque uma quantidade maior de amostras fornecerá uma melhor representação do sinal de entrada, quando média.

$$f\text{sobreamostragem} = 4n * f\text{nyquist} \quad (3)$$

Para facilitar a análise um *script* em MATLAB foi escrito, onde como resposta do *script* temos a frequência de sobre amostragem obedecendo a equação 3 e o número de unidades de AD através da equação 4.

$$AD = ((\text{Ventrada} * A)/V_{ref}) * ((2n) - 1) \quad (4)$$

Com o dado amostrado através de uma comunicação USB entre o microcontrolador e um *laptop* criou-se um arquivo em *excel* com os valores resultantes do conversor analógico digital e no MATLAB criou-se um *script* para validar o pós processamento do sinal.

Para o pós-processamento utilizou-se um filtro FIR (finite impulse response) conforme equação 5 com Janela de *Hamming*, pois os filtros FIR são sempre estáveis.

A vantagem desse tipo de filtro é a estabilidade e a linearidade de fase [9], na configuração passa faixa com frequência inferior *fi* = 0.5Hz e frequência superior *fs*= 5Hz, pois essa é faixa de frequência na qual o sensor PIR responde para detecção de humanos.

Copyright © 2020 ISESC

$$Y(z) = H(z)X(z)$$
$$Y(z) = b(1) + b(2)z^{-1} + ... + b(n+1)z^{-n} \quad (5)$$

Para a obtenção dos coeficientes do filtro FIR utilizou-se uma aplicação no MATLAB chamada *Filter Design*, conforme figura 4.

Após o *design* do filtro gera-se uma função no MATLAB que é chamada no *script* de pós-processamento.

3. Resultados

Após as configurações do conversor analógico digital conforme descrito no item anterior obteve-se o gráfico da figura 5.

Com o filtro desenvolvido foi feito a simulação de resposta ao degrau onde a resposta pode ser observada na figura 6.

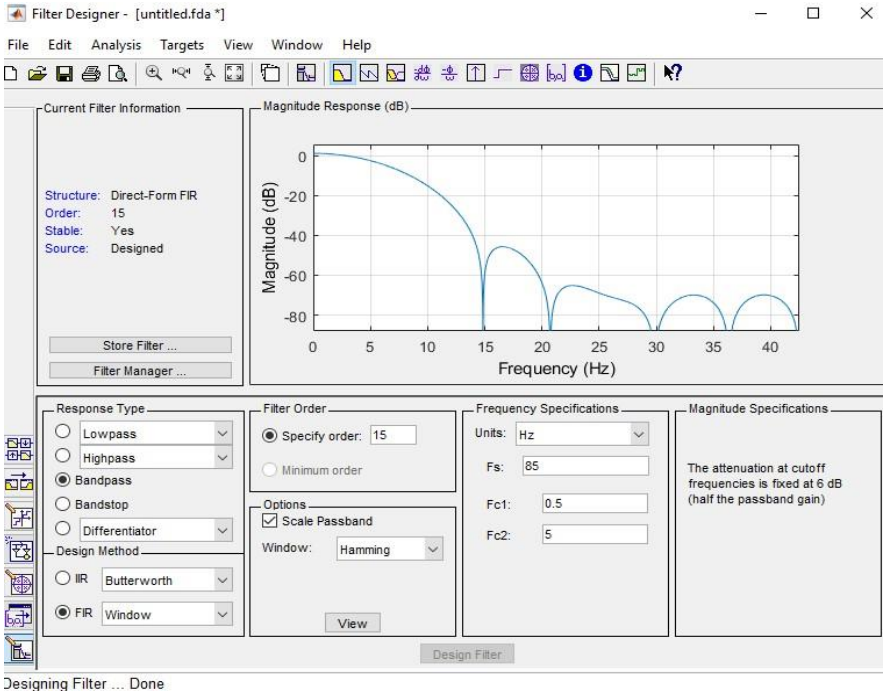

Figura 4. Imagem do *Filter Design*.

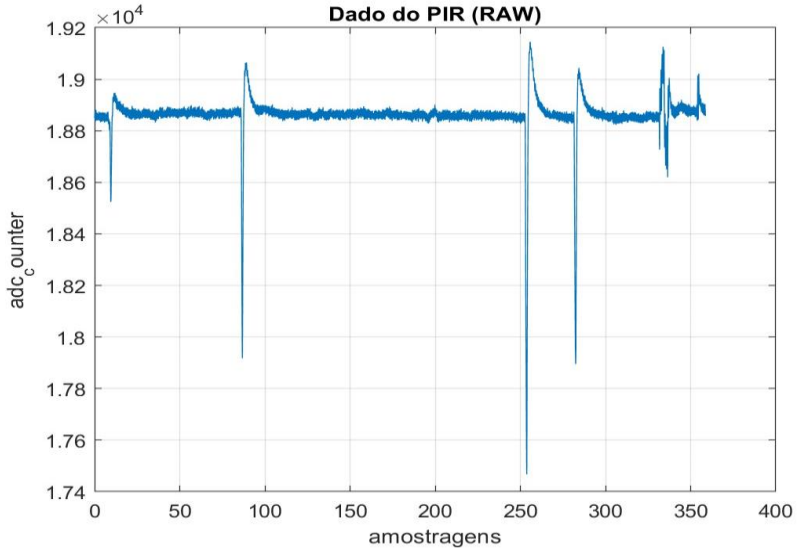

Figura 5. Dados obtidos na saída do conversor AD.

Copyright © 2020 ISESC

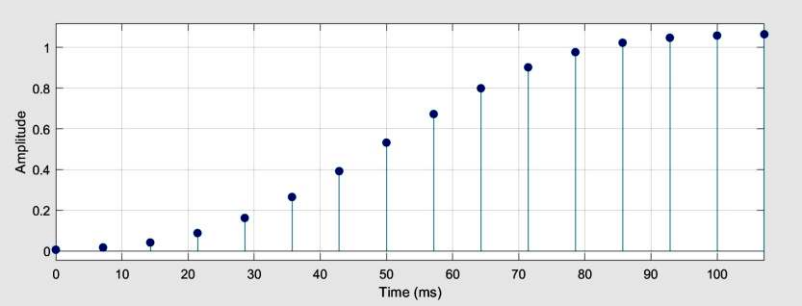

Figura 6. Gráfico de resposta ao degrau do filtro.

Para a frequência de corte superior 5Hz obteve-se a atenuação em 1.3dB e para a frequência de corte inferior 0.5Hz obteve-se a atenuação em 0.5dB.

O gráfico da magnitude em função da frequência pode ser visto na figura 7.

Na figura 8 encontra-se a função do filtro FIR gerada pelo *filter designer*.

Colocando o dado colhido na saída do conversor analógico digital na entrada do filtro FIR, obteve- se o sinal filtrado, conforme figura 9.

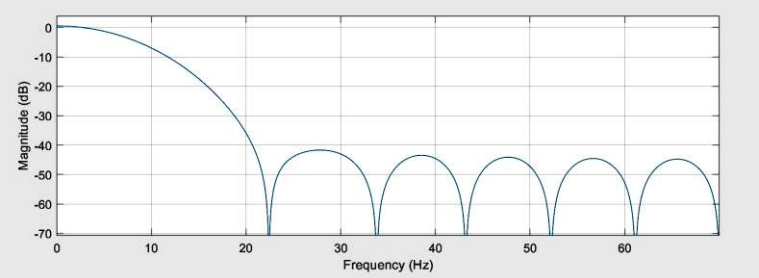

Figura 7. Gráfico da Magnitude em função da frequência.

```
function y = filtro_fir(x)


persistent Hd;

if isempty(Hd)

    % The following code was used to design the filter coefficients:
    % % FIR Window Bandpass filter designed using the FIR1 function.
    %
    % % All frequency values are in Hz.
    % Fs = 50;  % Sampling Frequency
    %
    % N    = 15;       % Order
    % Fc1  = 0.5;      % First Cutoff Frequency
    % Fc2  = 5;        % Second Cutoff Frequency
    % flag = 'scale';  % Sampling Flag
    % % Create the window vector for the design algorithm.
    % win = hamming(N+1);
    %
    % % Calculate the coefficients using the FIR1 function.
    % b  = fir1(N, [Fc1 Fc2]/(Fs/2), 'bandpass', win, flag);

    Hd = dsp.FIRFilter( ...
        'Numerator', [-0.0066912277022888 -0.00958856438351437 ...
        -0.0117984678023469 0.00114530356607681 0.0428332339269351 ...
        0.112094695326424 0.187559925514167 0.237130308324835 0.237130308324835 ...
        0.187559925514167 0.112094695326424 0.0428332339269351 ...
        0.00114530356607681 -0.0117984678023469 -0.00958856438351437 ...
        -0.0066912277022888]);
end

y = step(Hd,double(x));


% [EOF]
```

Figura 8. Função do filtro FIR.

Copyright © 2020 ISESC

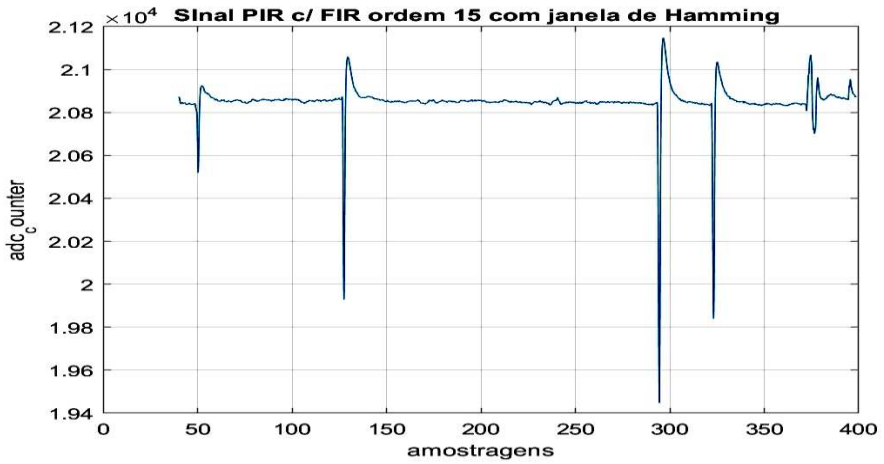

Figura 9. Gráfico do sinal filtrado.

4. Discussão

Observando-se a figura 5 onde temos os dados da saída do conversor analógico observa-se um valor de offset em torno de 18830 com ruído e uma grande variação no valor de contagem do conversor analógico digital quando ouve um movimento em frente ao sensor.

O valor da contagem do conversor analógico digital vai diminuindo na medida em que a distância do movimento detectado aumenta, ou seja quanto maior a distância do movimento em relação ao sensor menor a variação da contagem do conversor analógico digital. Dependendo da distância a variação do conversor analógico digital pode ser tão pequena e devido ao ruído não será possível a detecção, por isso a necessidade de um filtro.

Aplicando um degrau na entrada do filtro observa-se que o mesmo demora 80ms para a resposta que no caso do sensor PIR como a variação do sinal é lenta 80ms não comprometerá o sistema.

Na figura 7 tem-se o gráfico da magnitude em função da frequência onde para a frequência de corte superior tem-se uma atenuação de 1.3bB e para a frequência de corte inferior tem-se uma atenuação de 0.5dB quando o sinal a ser filtrado possui baixa ordem de grandeza é importante uma baixa atenuação até as frequências de corte para que o sinal permaneça integro durante toda a faixa de frequência estipulada. Como o sinal na saída do sensor PIR é na ordem de µV um filtro analógico atenuaria o sinal em 3dB nas frequências de corte o que exigiria ainda uma resolução maior do conversor analógico digital.

Na saída do filtro FIR de ordem 15 tem-se na figura 9 o gráfico onde se verifica que os ruídos existentes na figura 5 foram atenuados, com isso pode-se detectar movimentos a uma distância maior do sensor PIR.

5. Conclusão

Neste trabalho foi proposta a aquisição do dado de um sensor PIR e a utilização de filtros digitais para o pós-processamento dos dados. Com base nos resultados desse trabalho pode-se construir um sensor de presença sem a utilização de circuitos externos analógicos o que acarreta em sensores com mais baixo custo e com maior tecnologia embarcada devido a aplicação de técnicas de processamento digital de sinal.

Referências

[1] Y. Pawar, A. Chopde, and M. Nandre. Motion detection using pir sensor. change, 5(04), 2018.

[2] S. Colliard-Piraud. Signal conditioning for pyroelectric passive infrared sensors. 2016.

[3] M. Simeon, A. Elizabeth, ST Wara, A. Adoghe, and Orovwode Hope. Efficient energy management system using pir sensor. In 2018 IEEE PES/IAS PowerAfrica, pages 601–606. IEEE, 2018.

Copyright © 2020 ISESC

[4] H. Gami. Movement direction and distance classification using a single PIR sensor. IEEE sensors letters, 2(1):1–4, 2017.

[5] C. Leech, Y. P Raykov, E. Ozer, and G. V Merrett. Real-time room occupancy estimation with bayesian machine learning using a single PIR sensor and microcontroller. In 2017 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS), pages 1–6. IEEE, 2017.

[6] K. C. Sahoo and U. C. Pati. Iot based intrusion detection system using PIR sensor. In 2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT), pages 1641–1645. IEEE, 2017.

[7] B. Mukhopadhyay, S. Srirangarajan, and S. Kar. Modeling the analog response of passive infrared sensor. Sensors and Actuators. A: Physical, 279:65–74, 2018.

[8] Yun-Shiang Shu, Liang-Ting Kuo, and Tien-Yu Lo. An oversampling sar adc with dac mismatch error shaping achieving 105 db sfdr and 101 db sndr over 1 khz bw in 55 nm cmos. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 51(12):2928–2940, 2016.

[9] V. Varshney and M. Tiwari. Realization of an fir filter using atmega32 microcontroller. In 2017 International Conference on Emerging Trends in Computing and Communication Technologies (ICETCCT), pages 1–4. IEEE, 2017.

Copyright © 2020 ISESC