

ACIONAMENTO DE SERVOMOTORES ATRAVÉS DE SINAIS MIOELÉTRICOS

Marcela Tuler De Oliveira, mestrande de Engenharia de Telecomunicações na UFF
Andreane Spano da Roza, graduanda de Engenharia de Telecomunicações na UFF
Rafael Vaz de Carvalho, graduando de Engenharia de Telecomunicações na UFF
Sofia Corrêa Santos, graduanda de Engenharia de Telecomunicações na UFF
Natalia Castro Fernandes, Doutora em Engenharia Elétrica na UFRJ
Ricardo Campanha Carrano, Doutor em Computação na UFF
Flávio Luiz Seixas, Doutor em Computação na UFF

marcelatuler, andreaneroza, rafaelvaz, sofiacorreia, nataliacf, flavio_seixas, ricardocarrano@id.uff.br

Resumo. Este artigo descreve um projeto de código aberto para ativação automática de um braço eletromecânico usando sinais mioelétricos, servomotores, microcontrolador baseado em Arduino e peças de braço impressas em uma impressora 3D. O objetivo é detectar automaticamente os estímulos musculares relacionados a um movimento individual da mão e reproduzir o movimento correspondente em um braço eletromecânico, usando sensores mioelétricos posicionados em um músculo correspondente. Ao final, a contração muscular e o relaxamento relacionados aos movimentos da mão humana foram reproduzidos com sucesso no braço eletromecânico.

Abstract. This article describes an open source project for automatic activation of an electromechanical arm using myoelectric signals, servo motors, Arduino-based microcontroller, and arm parts printed in a 3D printer. The objective is to automatically detect the muscular stimuli related to an individual movement of the hand and reproduce the corresponding movement in an electromechanical arm, using myoelectric sensors fixed on a muscle of the human arm. At the end, muscle contraction and relaxation related to human hand movements were successfully reproduced in the electromechanical arm.

Palavras chave: sinais mioelétricos, prótese eletromecânica, EMG, robótica, servomotores.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, há aproximadamente 40.000 amputações/ano (Dos Reis et al, 2012), por motivos de doença ou acidente. Visando auxiliar essa parte da população, foi criado um projeto voltado para a construção de próteses robóticas acionadas através da interpretação de sinais mioelétricos. O projeto usado como base foi o InMoov, iniciado em 2012 como o primeiro a oferecer um modelo de código aberto de prótese de mão feito por manufatura aditiva. O InMoov foi o primeiro projeto 3D utilizado como plataforma de desenvolvimento voltado para universidades, laboratórios e pesquisadores independentes. Através do uso de tecnologias abertas e componentes de código aberto, como o circuito impresso Arduino, muitos desenvolvedores propuseram mudanças no InMoov para ampliar suas funções (Langevin, 2014). O objetivo desse trabalho é desenvolver um método de aquisição de sinais eletromiográficos, processamento e ativação de uma mão eletromecânica, com qualidade e baixo custo, sobre a qual focamos nesse artigo seu aspecto eletro/eletrônico. Como resultado foi construído um protótipo de mão eletromecânica, utilizando uma impressora 3D, uma placa de Arduino Uno, cinco servomotores e um sensor mioelétrico.

O método utilizado para a captação dos sinais musculares é a eletromiografia, que é uma técnica de medição da variação de sinais elétricos (potenciais elétricos) produzidos na musculatura de acordo com o relaxamento e contração das fibras musculares. Esse registro permite que a partir do músculo escolhido seja possível medir a intensidade e duração do estímulo. A partir da captação do sinal mioelétrico pelo sensor e utilizando a plataforma Arduino para processamento dos dados, os servomotores são acionados de forma que estes se posicionem de acordo com a movimentação muscular. Com essa montagem, a mão eletromecânica funciona de forma a captar os sinais musculares do paciente e reproduzir os movimentos provenientes desses sinais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A eletromiografia é uma técnica utilizada para mensurar e avaliar a atividade elétrica muscular. Esta atividade elétrica, presente nos músculos, é gerada pela despolarização das células musculares durante o processo de contração muscular (Najarian e Splinter, 2012). Conhecido como sinal mioelétrico ou eletromiográfico, o sinal é produzido a partir de correntes elétricas geradas pela troca de íons através das membranas musculares e podem ser detectados com a ajuda de eletrodos (Jamal, 2012). Os eletrodos de eletromiografia convertem o sinal mioelétrico, gerado pela despolarização das fibras, em um sinal elétrico capaz de ser amplificado e processado (Mendonça, 2013).

As próteses controladas por sensores usam sinais eletromiográficos (EMG) gerados pela ativação muscular e detectados por eletrodos de superfície. No controle direto tradicional, um par de eletrodos em cada local do músculo é usado para acionar atuadores eletromecânicos que movem cada articulação protética. Desta forma, cada par de locais musculares antagonistas controla diretamente um movimento da prótese, e vários métodos de troca podem ser usados para controlar movimentos adicionais da prótese. As mãos eletromecânicas de última geração possuem mais de uma dúzia de possíveis padrões de aderência que podem ser selecionados manualmente pelo usuário. Por isso, uma mão eletromecânica com muitas movimentações conjuntas disponíveis e opções de compreensão podem apresentar problemas, uma vez que existem mais graus de liberdade do que o número disponível de sinais de controle do usuário humano (Scheme, Englehart, 2011).

Existem desafios a serem enfrentados em relação a captação do sinal mioelétrico já que, primeiramente, um sinal EMG não é estacionário. Em segundo lugar, o número de fibras musculares que consistem em uma única unidade motora é diferente de pessoa para pessoa. Peles e outros tecidos musculares modificam as formas de onda dos sinais EMG, pois a espessura destes tecidos não é igual em todas as pessoas. As pessoas geram formas de onda diferentes e, portanto, os sinais EMG são complexos de analisar. Em terceiro lugar, a amplitude dos sinais EMG é muito pequena podendo ser afetada pelo ruído no meio ambiente (Han, 2000). Uma técnica para resolver esse problema é o usuário alternar entre todas as articulações disponíveis ou padrões de aderência em uma ordem pré-projetada e otimizada. Como outra opção, a prótese pode reduzir seletivamente o número de opções de controle disponíveis, de modo que o usuário só tenha acesso a um pequeno subconjunto das funções disponíveis do dispositivo (Kocejko, 2017).

No entanto, à medida que a funcionalidade do dispositivo aumenta e o controle se torna mais desafiador, uma solução alternativa pode ser que as próteses comecem a assumir mais autonomia na interpretação (Edward et al, 2016)). Isso poderia reduzir o peso sobre o usuário para controlar conscientemente e de forma independente cada movimento individual da prótese.

Em comparação com os trabalhos relacionados que utilizam próteses convencionais (Xavier, 2016), esse projeto propõe uma aquisição de sinais eletromiográficos, processamento e ativação dos servomotores, utilizando um modelo aberto, com qualidade e de baixo custo. A ideia é utilizar esse projeto como ponto de partida para pesquisas e desenvolvimentos de próteses acessíveis à população.

3. DETALHAMENTO DO PROJETO

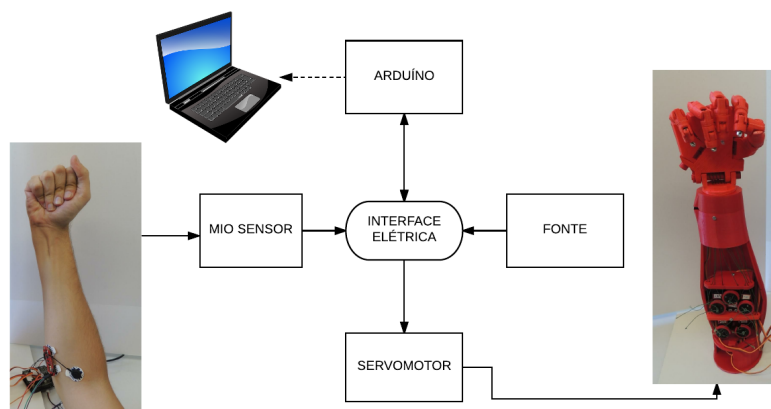


Figure 1. Diagrama de montagem eletro/eletrônica do braço robótico.

A “Fig. (1)” ilustra como é feita a montagem eletroeletrônica do braço, no qual utiliza-se uma interface de conexão entre os principais componentes para o seu funcionamento. Como mostra a figura, é necessário uma fonte de energia, um miosensor e os servomotores, os quais são conectados ao shield, enquanto este fica acoplado à plataforma Arduino.

O shield é uma placa de circuito impresso que tem a função de atuar como interface elétrica, acoplada imediatamente acima do Arduino. O computador também é conectado ao Arduino com dois objetivos primeiro, carregar o código que é utilizado no Arduino e, segundo, monitorar os valores lidos pelo sensor. As próximas subseções descrevem os principais componentes do projeto.

3.1 Plataforma Arduino

O Arduino é uma plataforma de hardware de código aberto. Seu intuito é ser uma plataforma fácil de usar para pessoas que não possuem conhecimento específico nas áreas de eletrônica e programação. O Arduino é controlado pelo microcontrolador ATmega328P, que armazena o programa e faz o processamento do mesmo na placa.

3.2 Miosensor

Como apresentado no referencial teórico, a eletromiografia é um método de registro dos potenciais elétricos gerados nas fibras musculares em ação. O método consiste em uma técnica que utiliza eletrodos de superfície para avaliar a capacidade das células nervosas de transmitirem sinais elétricos, ou eletrodos em forma de agulha para avaliar a atividade muscular.

Para este experimento utilizamos o miosensor do modelo MyoWare™ Muscle Sensor (AT-04-001). A utilização e aquisição dos dados gerados pelo sensor EMG apresenta algumas questões, como o potencial de ação da unidade motora, que depende das características da membrana da fibra muscular e a distância entre as fibras. Foi constatado que, devido a essas características fisiológicas individuais, a diferença de potencial obtida quando o músculo está relaxado ou contraído varia de pessoa para pessoa.

Além disso, para maximizar a eficiência do sensor é necessário escolher adequadamente o local de captação do sinal e o posicionamento dos eletrodos. Depois de alguns testes, foi concluído que a melhor forma de se posicionar o miosensor consiste em colocar o eletrodo de referência do sensor imediatamente acima do tendão, e o leitor do sensor nos extensores comuns.

3.3 Servomotor

Servomotor é uma máquina eletromecânica utilizada quando se deseja movimentar algo de forma precisa e controlada. Sua característica mais importante é a capacidade de girar seu eixo até um determinado ângulo. O modelo utilizado é alimentado por uma tensão de 5V. O acionamento do mesmo é através de um sinal digital PWM (do inglês, Pulse-Width Modulation), o circuito interno do servo interpreta este sinal em um determinado intervalo de tempo. Se o controle detectar uma alteração na largura do sinal, ele altera a posição do eixo para que a sua posição coincida com o sinal recebido.

Neste experimento cada servomotor é designado a movimentação de um dedo da mão eletromecânica.

3.4 Interface de conexão

Durante o desenvolvimento do experimento notou-se que o mesmo ficaria com diversos cabos de conexão espalhados, ligando os servos e o sensor ao Arduino, o que poderia gerar falhas na conexão e dificuldades no manejo e na organização, por isso foi pensado em uma placa de circuito impresso que facilitasse a montagem e possíveis manutenções. Conforme a placa era montada, percebeu-se que seria ainda melhor se fosse utilizada uma interface elétrica de Arduino para conectar os componentes.

Na primeira tentativa de desenvolver uma interface elétrica, a impressão dessa placa foi feita utilizando uma impressora de circuitos, porém ocorreram problemas na soldagem nas interfaces de conexão. Com este problema em mente foi feito uma interface de conexão de Arduino já pronto, especialmente desenvolvido para a prototipagem de circuitos. Os terminais de dados dos servomotores foram conectados aos terminais 11, 9, 6, 5 e 3 do Arduino, representando os dedos polegar, indicador, médio, anelar e mínimo, respectivamente, e o sensor foi ligado ao terminal analógico A0. Esses sinais estão configurados para modular os sinais PWM, necessários para a ativação dos servomotores.

3.5 Descrição do experimento

Os componentes são interligados conforme descrito nas subseções anteriores, os miosensores posicionados em locais apropriados do braço do paciente e na interface elétrica, enquanto os servomotores se encaixam dentro do braço eletromecânico. Foi especificado ao paciente para que estimulasse a contração e o relaxamento muscular e observado o acionamento dos cinco servomotores do braço robótico, fazendo-o reproduzir o movimento muscular do braço humano. A “Fig. (2)” mostra o braço eletromecânico foi conectado com os componentes do projeto.

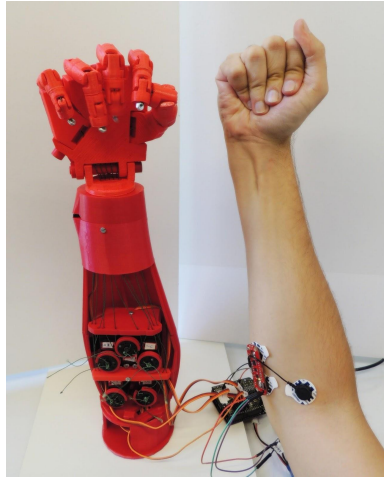


Figure 2. Resultado prático do experimento, o braço robótico.

O experimento precisou passar por uma etapa de calibragem dos parâmetros. Utilizando o miosensor conectado ao Arduino, o sinal é processado diretamente na plataforma. Durante o monitoramento dos valores lidos pelo sensor, foi possível observar que, os potenciais na contração são muito maiores que no relaxamento, devido as particularidades da atividade muscular citadas anteriormente é necessário realizar uma calibragem nos parâmetros de funcionamento do programa.

O processo de calibragem é relativamente simples, consiste apenas na visualização dos dados exibidos no computador quando os músculos estão relaxados ou contraídos e então, a partir de um processo de inspeção, determina-se os parâmetros de contração e relaxamento. Após esse processo, as faixas de tensão onde o servomotor será ativado para a contração ou para o relaxamento dos dedos ficam personalizadas para cada indivíduo.

Após o sinal ser captado pelo miosensor, ele é enviado para o Arduino através de sua entrada analógica, onde será interpretado e processado através do algoritmo representado na “Fig. (3)”.

3.6 Processamento de dados

A “Fig (3)” apresenta o algoritmo utilizado no projeto. Quando o código é iniciado, todos os servos motores são acionados para assumirem sua posição inicial, que foi definida como a posição de relaxamento muscular, ou seja, com todos os dedos abertos. Após isso, o Arduino começa a receber os dados provenientes do sensor, monitorando esses dados.

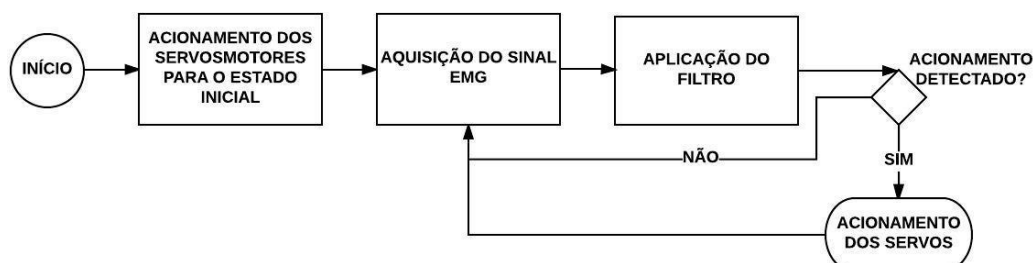


Figure 3. Algoritmo utilizado no projeto.

Foi verificado que é comum o músculo ter alguns picos ou quedas de potencial durante uma atividade, o que causava o acionamento dos servomotores em momentos indesejados. Para contornar esse problema, foi implementado um filtro no código do programa que despreza esses picos e proporciona mais precisão na ação desejada. O filtro consiste basicamente no cálculo da média dos valores lidos durante um intervalo de tempo, assim os picos que eventualmente acontecem, são atenuados matematicamente.

Após o sinal ser filtrado, o programa interpreta os dados de acordo com os parâmetros de acionamento predeterminados, como mencionado na “subseção 3.1. (Plataforma Arduino)”, caso a faixa de valores obtidos esteja acima do

parâmetro de contração, os servos serão acionados de modo que a mão se feche, e quando a faixa de valores estiver abaixo do parâmetro de relaxamento, os servos rotacionam de forma que a mão se abra.

4. Custos

A “Tabela (1)” lista os componentes do projeto e seus respectivos custos, mostrando uma referência de R478, 50 para o total do projeto, sendo essa uma estimativa superficial. Esse valor seria inaplicável numa situação de produção em larga escala, por exemplo, uma vez que não foram calculados os custos de mão de obra técnica especializada, entre outros trabalhadores envolvidos. Essa tabela representa o custo aproximado dos materiais para futuras replicações do experimento.

Componentes	Modelo	Quantidade	Custo	Total
Arduino	Uno	1	R119,00	R119,00
Servomotores	MG946R	5	R44,90	R224,50
Sensor	MyoWare™ Muscle Sensor (AT-04-001)	1	R120,00	R120,00
Interface de conexão	Protoshield RC V 1.1	1	R15,00	R15,00
			Total do projeto	R478,50

Table 1. Modelo dos componentes e seus custos correspondentes.

Ao término completo da projeto idealizamos que o valor total gasto seja condizente com as próteses de baixo custo já desenvolvidas (XAVIER, Ricardo Taoni, 2016).

5. RESULTADOS OBTIDOS

Ao final de toda a montagem e dos testes, foi alcançado com êxito o objetivo da mão eletromecânica reproduzir o movimento de abrir e fechar a mão através da leitura dos sinais mioelétricos. Houveram alguns desafios durante os testes como a posição do dedão que acabava por interferir na movimentação dos outros dedos, isto pôde ser resolvido alterando alguns parâmetros nas dimensões da mão na confecção 3D. Além disso, a fonte de tensão DC ajustável causava um grande ruído, o qual interferiu na leitura e interpretação dos dados pelo sensor. Essa questão foi resolvida com a utilização de outra forma de alimentação, onde a fonte foi substituída por uma bateria. Problemas com a quantidade de ruído vindo da fonte, bem como a necessidade de se utilizar uma placa com conectores para os servos, reduzindo a quantidade de pequenos condutores espalhados pela placa, tornou imprescindível a criação de uma interface elétrica para o Arduino.

6. CONCLUSÕES

Esse trabalho teve por objetivo a construção de uma mão eletromecânica acionada por um miosensor. Considerando o curto período que a montagem foi feita, a equipe obteve êxito no objetivo. Os conhecimentos desenvolvidos nesse processo serão utilizados no próximo projeto. Um dos itens a ser investigados é a definição dos lugares mais apropriados de posicionamento dos sensores e o algoritmo para processamento do sinal. Além disso, é possível concluir sobre a necessidade da utilização de um filtro para tornar a interpretação mais precisa, e de uma bateria de corrente contínua para reduzir o ruído que interfere na interpretação dos dados.

7. TRABALHOS FUTUROS

Como trabalho futuro tem-se a pretensão de aplicar os resultados e conhecimentos adquiridos no desenvolvimento de uma prótese robótica de membro superior, a qual inicialmente oferecerá a configuração de movimento determinada pelo usuário, por exemplo, movimento de pinça, gancho ou extensão do indicador, mantendo a captação de um único sinal EMG. Será necessário lidar com novos desafios sobre captação de sinais, principalmente para pessoas com amputações transradiais ou com não formação do membro com suas terminações nervosas, a proposta é o estudo de aproveitamento da atividade de contração muscular de outro músculo disponível para ativação da prótese com esforço cognitivo sustentado pelo usuário. Outro desafio é o reconhecimento de padrões, que aumentam o número de graus de liberdade da prótese, assim o sinal pode ser captado de locais que não são diretamente relacionados ao movimento desejado e produzi-lo. Nesse projeto futuro pretende-se implementar códigos de aprendizagem de máquina, com o objetivo de oferecer mais dinamicidade e um comportamento mais semelhante a um braço humano, aumentando as probabilidades de adaptação do usuário à prótese.

8. REFERÊNCIAS

- DOS REIS, Gleyckely; JÚNIOR, Adroaldo José Casa; DA SILVEIRA, Rodrigo C.. **Perfil epidemiológico de amputados de membros superiores e inferiores atendidos em um centro de referência**. 2012.
- EDWARD. Ann L., DAWSON, Michael R., HEBERT, Jacqueline S., SHERSTAN, Craig Sherstan, SUTTON, Richard S., CHAN, K. Ming and PIRARSKI, Patrick M. Application of real-time machine learning to myoelectric prosthesis control: A case series in adaptive switching. **Prosthetics and Orthotics International**. 2016, Vol. 40(5) 573–581
- HAN, Jeong-Su et al. New EMG pattern recognition based on soft computing techniques and its application to control of a rehabilitation robotic arm. **In: Proc. of 6th International Conference on Soft Computing (IIZUKA2000)** . 2000. p. 890-897.
- JAMAL, M. Z. Signal Acquisition Using Surface EMG and Circuit Design Considerations for Robotic Prosthesis. In: **NAIK, G. R. (Ed.). . Computacional Intelligence in Electromyography Analysis - A Perspective on Current Applications and Future Challenges**. [s.l.] InTech, 2012.
- KOCEJKO, Tomasz et al. The role of EMG module in hybrid interface of prosthetic arm. In: **Human System Interactions (HSI), 2017 10th International Conference on**. IEEE, 2017. p. 36-40.
- LANGVIN, G, InMoov-Open Source 3D printed life-size robot. Disponível em: <http://inmoov.fr> . License: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/legalcode>, 2014. Acesso em 08 dez. 2017.
- NAJARIAN, K.; SPLINTER, R. **Biomedical signal and image processing**. 2. ed. Florida, US: CRC Press, 2012.
- PELEG, Dori et al. Classification of finger activation for use in a robotic prosthesis arm. **IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering**, v. 10, n. 4, p. 290-293, 2002.
- SCHEME E., ENGLEHART KB. **Electromyogram pattern recognition for control of powered upper-limb prostheses: state of the art and challenges for clinical use**. J Rehabil Res Dev 2011; 48(6): 643–660.
- XAVIER, Ricardo Taoni. **Implementação de uma prótese ativa para membro superior de baixo custo**. 2016.

9. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a equipe que tornou o projeto possível, composta por alunos e professores provenientes de diversos cursos incluindo Engenharia de Telecomunicações, Elétrica e Mecânica, Computação, Medicina e Biomedicina, os quais foram os responsáveis pela montagem do braço. Para a realização deste artigo agradecemos Arthur dos Santos L. Neiva e Yago de Rezende dos Santos pelas suas contribuições.

10. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.