

IMPLEMENTAÇÃO DE SENSOR FLEXÍVEL EM UMA MÃO ROBÓTICA UTILIZANDO IOT

IMPLEMENTATION OF FLEXIBLE SENSOR IN A ROBOTIC HAND USING IOT

Jadson de Souza Maciel¹
Kauê Martins de Souza²
Airton Silva Monteiro³
Almir Kimura Junior⁴
Moisés Pereira Bastos⁵

Resumo – Com os recentes avanços em tecnologias assistivas, as próteses biônicas funcionam através do sensoriamento dos movimentos musculares de quem a utiliza. Neste trabalho o objetivo foi utilizar um sensor de pressão resistivo, nomeado por “velostat”, que representa um sensor de pressão flexível. Este foi acoplado em uma luva, desenvolvendo assim um protótipo de uma luva robótica de forma que cada sensor colocado em cada dedo da luva deve ler a variação de movimento dos dedos e após isso, enviar essa informação, via protocolo MQTT, para um microcontrolador embarcado em um protótipo de mão robótica. A construção da luva foi realizada utilizando métodos de Fabricação Digital, onde o compartimento do microcontrolador e das estruturas dos sensores, foram construídos por impressão 3D em PLA e a placa de circuito impresso foi feita utilizando software de criação de projetos eletrônicos. Os testes constataram que a comunicação pode ser feita entre a luva e mão robótica, com os devidos ajustes dos sensores e na programação.

Palavras-chave: *Próteses biônicas. Sensor de pressão flexível. Protótipo de luva robótica. Microcontrolador.*

Abstract – With recent advances in assistive technologies, bionic prostheses work by sensing the muscle movements of the wearer. The goal of this project was to use a resistive pressure sensor. The velostat, a flexible pressure sensor that is going to be engaged with commercial gloves to create a robotic glove prototype where every sensor placed on each finger can read a movement variation of the fingers and after, send the information by MQTT protocol for embedded microcontroller in a prototype robotic hand. The glove construction methodology was done by Digital Fabrication methods, where the microcontroller compartment and the structures where the sensors were placed were built by 3D printing in PLA and the printed

¹Graduando em Engenharia de Controle e Automação (UEA). Contato: jsm.eai20@uea.edu.br.

²Graduando em Engenharia de Controle e Automação (UEA). Contato: kmds.eai20@uea.edu.br.

³Graduando em Engenharia de Controle e Automação (UEA). Contato: asm.eai20@uea.edu.br.

⁴ Professor do Departamento de Controle e Automação (UEA). Contato: akimura@uea.edu.br.

⁵ Professor do Departamento de Controle e Automação (UEA). Contato: mpbastos@uea.edu.br

circuit board was made using electronic design creation software. The tests concluded that the communication can be made with proper adjustments on the sensors and in the programing.

Keywords: *Bionic Prostheses. Pressure Flexible Sensor. Robotic glove protorype. Microcontroller.*

I. INTRODUÇÃO

Segundo Sayoan (2012), biônica em si é o reflexo da aplicação dos processos biológicos juntamente à técnica de indústria, desenvolvendo assim implantes artificiais ou sistemas industriais. Os empregos desses sistemas industriais desenvolvidos vão além da substituição de membros em humanos e animais até a realização de operações insalubres para humanos em ambientes industriais. A integração entre homem e máquina já é a concretização de algo que décadas atrás, parecia ser somente ficcional, onde máquinas seriam capazes de realizar movimentos humanos de forma precisa.

Para obter a interação em tempo real entre uma mão robótica e a mão humana, foi escolhido o estudo e aplicação dos sensores de pressão sensíveis, especificamente o *Velostat*, também conhecido como *Linqstat*. Este material polimérico é preenchido com carbono preto, o que lhe confere propriedades de "tunelamento quântico" e filtragem com base em sua composição (VEHEC, LIVOVSKY, 2020). O tunelamento quântico é um fenômeno que tem inúmeras aplicações tecnológicas diretas, e envolve a extração de elétrons de superfícies metálicas sob um intenso campo elétrico local (NUBAR et al., 2015).

O desenvolvimento deste projeto é composto por três partes principais, sendo elas, mecânica, elétrica e programação. A parte mecânica corresponde ao desenvolvimento do desenho em *Computer Aided Design* (CAD) do compartimento para o microcontrolador e sua Placa de circuito impresso (PCI). A parte elétrica consiste no desenvolvimento do esquemático elétrico, construção do sensor e fabricação da PCI. Por fim, a programação refere-se ao código que foi compilado para o ESP32 o qual é responsável por tratar os dados obtidos pelos sensores.

Trata-se de um aprimoramento do projeto de Martins (2022), onde uma mão robótica foi completamente desenhada, impressa e programada. Este protótipo possui 5 microservos motores que atuam em cada dedo. Além destes, também se tem um ESP32 embarcado ao protótipo que controla cada um dos servos.

Optou-se por utilizar o protocolo MQTT por se tratar de um tipo de comunicação IOT de alta confiabilidade que usa *brokers* (servidores) para garantir o envio e recebimento de dados. Estando relacionado somente os tópicos em um *broker*, esta luva pode facilmente ser utilizada em vários outros tipos de aplicações das mais diversas áreas da ciência e tecnologia. Na dissertação de Ferreira (2019), uma luva utilizando sensores de *velostat* foi construída com o intuito de ler a posição de cada dedo e realizar um sistema de tradução da língua gestual em tempo real.

Sendo assim, essa pesquisa tem o objetivo de realizar o desenvolvimento de uma luva composta por sensores flexíveis utilizando o *velostat*. Estes, com o auxílio de um ESP32, irão ler valores que correspondem aos movimentos dos dedos de uma mão e, por meio do protocolo MQTT, controlar os dedos de um protótipo de mão robótica.

II. METODOLOGIA

2.1 – Desenvolvimento Elétrico

2.1.1 – Configurando os sensores flexíveis de pressão.

Sensores podem ser aplicados aos mais diversos objetivos, sendo que para cada objetivo é necessário um tipo de sensor específico. De acordo com Wendling (2019), o termo “Sensor” é usado para designar dispositivos sensíveis à alguma forma de energia do

ambiente. Estes possuem infinitas aplicações e são utilizadas na automação residencial até à uma robusta rede de automação industrial.

O *velostat* oferece uma grande oportunidade para sua aplicação em áreas que sensores mais comuns de pressão não seriam os mais adequados. Isso ocorre devido à não ser rígida e ter um preço bastante em conta em comparação com modelos mais complexos.

Para o desenvolvimento de cada um dos sensores, foram utilizadas folhas de *velostat* em conjunto com fitas de cobre. No trabalho de Vehec, 2020, foram usadas duas fitas de cobre ao redor do *velostat* com o intuito de conduzir corrente. Neste trabalho, utilizamos a mesma técnica, conforme mostra a figura 1.

Figura 1 – Folhas de *velostat* envolvidas pelo plástico

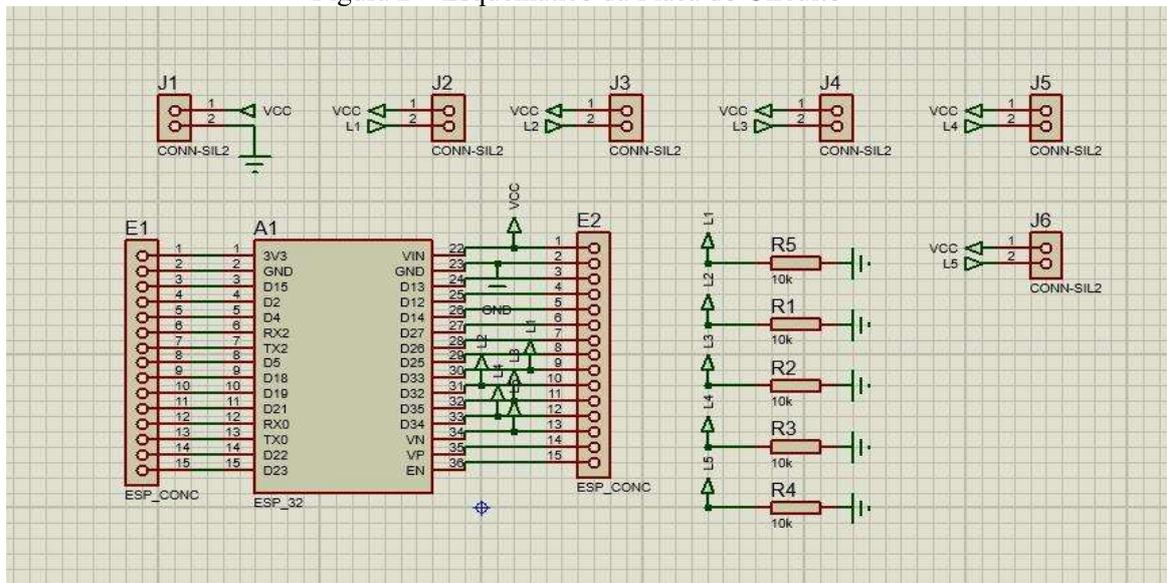


Fonte: Autores (2022).

2.1.2 – Desenvolvimento do Circuito Elétrico

O circuito funciona com uma bateria de 9V e foi criado no *software* Proteus, que inclui ISIS e ARES para simulação e design de circuitos eletrônicos. A fase de esquema é desenvolvida diretamente no ambiente ISIS, que oferece recursos virtuais e simulação de sinais de entrada para uma simulação conveniente do circuito (DING, GUO, 2010). A placa de circuito impressa foi produzida na máquina MonoFab com brocas de 0,1 e 1 mm, sendo que o tamanho da broca influencia na precisão das trilhas e pode afetar a solda. A usinagem levou aproximadamente 2 horas. A PCI utiliza um divisor de tensão entre os sensores e resistores de 1k Ω , permitindo que o ESP leia a tensão de cada sensor conforme a resistência varia dentro do seu range de leitura. O esquemático da placa pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Esquemático da Placa do Circuito



Fonte: Autores (2022).

2.2 – Desenvolvimento da parte mecânica

Foi necessário a criação de um compartimento para manter o microcontrolador e a bateria em uma posição estável e portátil. Para tanto, foi realizada a modelagem 3D deste compartimento utilizando o *SolidWorks (Software de modelagem CAD)*. Após a modelagem ele foi fatiado usando o *Simplify3D (Software de fatiamento de peças 3D)* e por fim foi impresso na impressora Sethi, utilizando o PLA. Segundo Pawar et al. (2019), devido à sua excelente biocompatibilidade, resistência e propriedades mecânicas, o PLA e seus copolímeros têm sido amplamente utilizados em diferentes campos, como engenharia de polímeros, engenharia de tecidos, sistemas de entrega de medicamentos e vários implantes médicos de suma importância. Utilizou-se uma luva comercial para fixação dos sensores, o resultador pode ser observado na figura 3.

Figura 3 – Luva com os sensores Velostat



Fonte: Autores (2022)

Para finalizar o protótipo da luva foi adicionado uma pulseira de velcro para garantir que esteja fixo, na figura 4 pode-se observar-la.

Figura 4 – Compartimento da Placa do Circuito Elétrico



Fonte: Autores (2022).

2.3 – Desenvolvimento da Programação

Para estabelecer uma comunicação entre o ESP32 que está sendo utilizado na luva e o ESP32 que está controlando os servos foi utilizado o protocolo MQTT. Segundo Piper (2019), o MQTT, criado em 1999 pela IBM, tem uma proposta de atuar em locais com baixa largura de banda e em dispositivos que possuem memória e processamento limitados, se mostrando ideal para o projeto proposto.

A arquitetura deste protocolo se baseia em publicação e assinatura (*publish-subscribers*), e neste tipo de arquitetura, o dispositivo público (*publish*) informações ao servidor (*broker*). Tendo conhecimento dos clientes que estão interessados nas informações enviadas (*subscribers*), o *broker* envia as informações vinda do publicador (CONCEIÇÃO, RESENDE, 2018).

Foram utilizados nos *INPUTS* do microcontrolador leituras analógicas que dentro de um range, escolhido após vários testes de acurácia, indicarão se um dedo está levantado ou abaixado. Na figura 5, pode-se observar uma parte do algoritmo.

Figura 5 – Algoritmo de verificação de posição dos dedos

```
.
if (i == 2) { //
  angles[i] = map(val, flexsensorRange[0][i], flexsensorRange[1][i], 80, 200);
  angles[i] = constrain(angles[i], 80, 200);

  itoa(angles[i], buffer, 10);
  MQTT.publish(topicomeio, buffer);
  delay(130);
}
if (i == 3) { //
  angles[i] = map(val, flexsensorRange[0][i], flexsensorRange[1][i], 0, 85);
  angles[i] = constrain(angles[i], 0, 85);

  itoa(angles[i], buffer, 10);
  MQTT.publish(topicoanelar, buffer);
  delay(130);
}
if (i == 4) { //
  angles[i] = map(val, flexsensorRange[0][i], flexsensorRange[1][i], 20, 85);
  angles[i] = constrain(angles[i], 20, 85);

  itoa(angles[i], buffer, 10);
  MQTT.publish(topicomindi, buffer);
  delay(130);
}
```

Fonte: Autores (2022).

Obtendo o valor de cada sensor, foram feitas algumas estruturas para tratar o valor recebido para que estes se adequem aos valores do range de trabalho dos micro servos motores presentes na mão robótica. Após esta parte completa, os valores de cada sensor, devidamente tratados, são enviados para o microcontrolador da mão robótica que irá replicar os movimentos da luva.

III. RESULTADOS

Após o término do desenvolvimento do protótipo, foram realizados 50 testes para cada dedo da luva onde os sensores eram manipulados a fim de encontrar uma porcentagem para acertos. Nestes, todos os sensores tiveram mais de 80% de acerto e todos após de 3 segundos conseguiram se ajustar para o valor ideal definido. A tabela 1 demonstra os testes feitos em cada dedo.

Tabela 1 – Resultado dos testes

Dedos	Acertos Imediatos	Erros Imediatos
Polegar	46	4
Indicador	47	3
Médio	46	4
Anelar	48	2
Mínimo	45	5

Fonte: Autores (2022)

A forma como a fita de velostat foi envolvida teve um impacto direto na captação do sinal pela mão robótica. No início, a fita foi fixada com um arranjo de fita durex, porém com a movimentação dos dedos, a fita acabava se deformando ao longo do tempo, o que levava a mão robótica a capturar picos de sinal desnecessários, resultando em leves "espasmos". Esse problema foi resolvido de duas maneiras: primeiro, um filtro de sinal foi configurado na programação para amortecer a resposta do sinal, reduzindo drasticamente os picos de sinais elevados. Em segundo lugar, as fitas de velostat foram plastificadas individualmente, permitindo um movimento mais fluido de cada dedo, sem danificar o material com o tempo. Os resultados podem ser observados no vídeo disponível no seguinte link: (<https://www.youtube.com/watch?v=riVlIKoVjFY>).

IV. CONCLUSÃO

Este artigo apresenta uma luva robótica que utiliza sensores de pressão flexíveis para realizar a leitura de movimentos dos dedos, e que está habilitada para se comunicar via internet com uma mão robótica. A comunicação é realizada por meio do protocolo MQTT, permitindo a replicação dos movimentos realizados na luva pela mão robótica.

A robótica está cada vez mais presente em ambientes profissionais diversos, buscando aproximar humanos e máquinas. Testes comprovaram que é possível estabelecer comunicação entre a luva e a mão robótica, indicando que essa abordagem pode ser aplicada em soluções mais complexas, como luvas e próteses biônicas que se assemelham ao movimento humano.

V. REFERÊNCIAS

DA CONCEIÇÃO, Wellington Nogueira Elizeu; DE RESENDE COSTA, Romualdo Monteiro. Análise do Protocolo MQTT para Comunicação IoT através de um Cenário de Comunicação. **Caderno de Estudos em Sistemas de Informação**, v. 5, n. 2, 2019.

DING, Yanchuang; GUO, Jinying. LED display screen design and proteus simulation based on single-chip microcomputer. In: **2010 2nd International Conference on Information Engineering and Computer Science**. IEEE, 2010. p. 1-4.

FERREIRA, Sara Cristina Martins. **Sistema de tradução da língua gestual Portuguesa em tempo real**. 2019. Tese de Doutorado. WENDLING, Marcelo. Sensores. **Universidade Estadual Paulista. São Paulo**, v. 2010, p. 20, 2010.

OLIVEIRA, Sayoan Cristian Alves et al. CONTROLE DE UM BRAÇO BIÔNICO ATRAVÉS DE APLICATIVO DESENVOLVIDO NA PLATAFORMA ANDROID.

P PAWAR, Rajendra et al. Biomedical applications of poly (lactic acid). **Recent patents on regenerative medicine**, v. 4, n. 1, p. 40-51, 2014. PIPER, Andy. MQTT Wiki. 2 dez. 2013. Disponível em: <<https://github.com/mqtt/mqtt.github.io/wiki/>>. Acesso em 08 fevereiro. 2023.

SISMANOGLU, Bogos Nubar; DO NASCIMENTO, Janaina Correa; DE BARROS ARAGÃO, Eduardo Cezar Barbosa. Visualizando tunelamento quântico através da geração de microplasmas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, 2015.

VEHEC, Igor; LIVOVSKY, Lubomir. Flexible resistive sensor based on velostat. In: **2020 43rd International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)**. IEEE, 2020. p. 1-6.

VI. AGRADECIMENTOS

O presente artigo é decorrente do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) Projeto Samsung Ocean 2.0, que conta com financiamento da Samsung, usando recursos da Lei de Informática para a Amazônia Ocidental (Lei Federal nº 8.387/1991), estando sua divulgação de acordo com o previsto no artigo 39.º do Decreto nº 10.521/2020.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.