



SIMULAÇÃO ELETRÔNICA DO CONTROLE DE UMA MÃO ROBÓTICA SUB-ATUADA – UM ESTUDO DE CASO

Antônio José do Couto Pitta – pro9137@cefsa.edu.br

Mateus Pacheco Pereira

William Shinji Ogusco

Faculdade de Tecnologia Termomecânica - FTT

Estrada dos Alvarengas, 4.001

CEP 09850-550 – São Bernardo do Campo – São Paulo

André Ferrus Filho – pro1724@cefsa.edu.br

Faculdade de Tecnologia Termomecânica - FTT

Estrada dos Alvarengas, 4.001

CEP 09850-550 – São Bernardo do Campo – São Paulo

Rodrigo Teixeira Bento – rodrigo.bento@ipen.br

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP

Avenida Lineu Prestes, 2242

CEP 05508-000 – Cidade Universitária – São Paulo

Resumo: *O presente estudo tem como objetivo principal simular o controle de uma mão robótica sub-atuada, utilizando sensores resistivos capazes de interpretar os movimentos dos dedos e convertê-los em sinais elétricos, enviando-os para um controlador central. Esta pesquisa visa desenvolver um protótipo biomecânico capaz de controlar de maneira eficiente dispositivos e equipamentos à distância, aplicando-se conceitos teóricos de Mecatrônica. Tal situação é discutida em virtude da dificuldade de se replicar com precisão os movimentos com o maior grau de mimetismo da mão humana, a fim de chegar o mais próximo da realidade, gerando a necessidade de se empregar uma arquitetura mais complexa e com alto custo. Inicialmente será apenas analisado o controle de sinais emitidos ao microcontrolador, com intuito de classificá-los em uma escala para, posteriormente, executar movimentos específicos dos motores. Diversos ensaios foram realizados para validar a eficácia da aplicação do mecanismo, cujos resultados demonstraram-se satisfatórios, permitindo, paralelamente, o melhor desenvolvimento e compreensão da metodologia didática interdisciplinar.*

Palavras-chave: *Mão robótica sub-atuada, Protótipo biomecânico, Controle de movimentos.*

1 INTRODUÇÃO

A robótica no mundo atual está bastante avançada, mas apesar disto está longe de ter um robô inteligente e versátil para substituir o ser humano em suas tarefas mais simples do cotidiano. Pitarch et al. (2005) afirmam que os robôs, embora cada vez mais antropomórficos em sua semelhança externa, ainda falta em desempenho motor comparativo.

Organização



Promoção





De acordo com Maciel e Silva (2007), os robôs teleoperados comerciais mais comuns são utilizados nas linhas de produção de automóveis, pequenos trabalhos domésticos, cirurgias médicas, ambientes oceânicos ou espaciais, resgate e salvamento, ou como apoio militar em operações de combate. Tais dispositivos são controlados remotamente e reproduzem os comandos enviados pelo operador. Turner et al. (2000) acrescenta que esses sistemas são do tipo mestre/escravo, em que um robô remoto (escravo) é operado diretamente por um ser humano através de um controlador manual (mestre).

Inicialmente desenvolvida para a manipulação de materiais radioativos, a teleoperação tem suma importância na realização de tarefas em áreas remotas e em ambientes perigosos. Há uma vasta área de aplicação desta tecnologia, tais como campos de batalha, explorações subaquáticas e espaciais, vigilância remota, ambientes onde há exposição à situações de risco, telemedicina e assim por diante.

Subsequentemente, um número crescente de pesquisas vêm sendo realizadas em virtude da magnitude de aplicação e controle de protótipos biomecânicos.

Touvet et al. (2011) prepararam um sistema biomimético de controle sensorio-motor com o objetivo de fornecer uma aproximação inteligente entre objeto-dependente e captar a capacidade de tais sistemas. O modelo proposto baseia-se numa arquitetura multi-rede que incorpora múltiplas unidades de correspondência treinadas por um algoritmo de aprendizagem estatística (LWPR).

Rezzoug e Gorce (2008) propuseram uma técnica baseada em redes neurais para compreender o mapeamento cinemático inverso entre a posição 3D da ponta do dedo e os ângulos articulares correspondentes. Os movimentos dos dedos foram obtidos por uma luva instrumentada e mapeados para um modelo de multi-cadeia da mão. A partir da posição desejada da ponta do dedo, as redes neurais permitiram prever os ângulos de articulação do dedo correspondente, mantendo os padrões de coordenação de sujeito específicos.

Zhang et al. (2003) desenvolveram um novo algoritmo para a obtenção de localizações segmentares do centro de rotação do dedo (COR) durante a flexão-extensão a partir dos movimentos medidos do marcador de superfície in vivo. O algoritmo emprega uma rotina de otimização minimizando a variação de tempo dos comprimentos de ligação interna e incorpora uma relação empiricamente quantificável entre o movimento local de um marcador de superfície em torno de uma articulação e a extensão de flexão da articulação.

El-Khoury e Sahbani (2010) apresentaram nova estratégia para captar objetos 3D desconhecidos de acordo com a tarefa correspondentemente desejada, identificando os objetos a partir do movimento humano. Os autores pretenderam calcular a força de fechamento no ato de agarrar o objeto, demonstrando a adaptabilidade da respectiva estratégia à cinemática da mão.

Nesse contexto, o presente projeto tem como norte o estudo inicial do controle de dispositivos e/ou equipamentos à distância. Para tal objetivo, inicialmente será apenas estudado e testado o controle de sinais emitidos ao microcontrolador, com intuito de classificá-los em uma escala para posteriormente executar movimentos específicos dos motores. Feito o controle de sinais, vai ser demonstrado de forma prática o controle à distância da mão robótica sub-atuada, onde serão utilizados sensores resistivos capazes de interpretar os movimentos dos dedos da mão humana, convertendo em sinais elétricos e enviando para um microcontrolador que simulará o movimento da mão sub-atuada.



2 EXPERIMENTAL

2.1 Materiais e Métodos

Devido a necessidade de se obter valores precisos durante as medições, dada a aplicação do projeto, foi contatada a necessidade em se utilizar sensores flexíveis de força. *Flexiforce*, segundo Nag e Mukhopadhyay (2015), são circuitos impressos ultrafinos e flexíveis, que podem ser facilmente integrados em aplicações de medição de força. “Quando uma força externa é aplicada na área sensível, resulta numa mudança da resistência do sensor, que é inversamente proporcional à força aplicada no mesmo” (SANTOS, 2009) isto é, quando o sensor encontra-se em repouso, a curva do sensor é caracterizada por uma resistência intrínseca. Já quando o sensor é dobrado, o material resistivo interno é puxado e ficam mais distantes, menos adjacentes partículas resistivas entram em contato, aumentando assim a resistência. Foi empregado o *Flex sensor* da *Spectra Symbol* (Figura 1), baseado em substrato de carbono, faixa de temperatura de -35°C a 80°C , tensão da operação 0-12 V e resistência na faixa de 10 k Ω ~ 30 k Ω .

Figura 1 - Ângulo de curvatura do Flex sensor.



Quando o substrato é dobrado, o sensor produz uma saída de resistência correlacionada com o ângulo de curvatura, quanto maior o ângulo, maior é o valor da resistência.

O atuador utilizado no projeto é o servo-motor HX5010, em virtude de sua velocidade de operação adequada (0,6 s/grau), por obter um torque de 6,5 Kg, pela sua resolução de aproximadamente 1° e por ter dimensões adequadas.

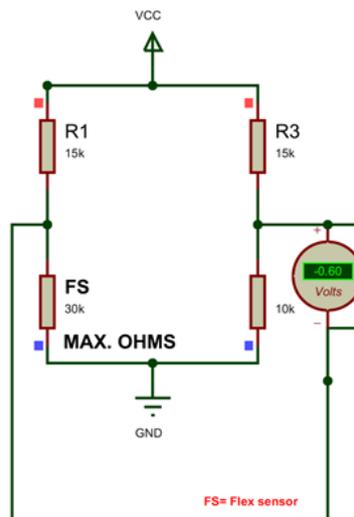
O servo-motor, como afirma Francisco (2004), necessita de uma tensão de alimentação DC dentro da faixa 4,8 a 6 volts e um sinal de PWM (*Pulse Width Modulation*) que indica ao



servo-motor a posição que deve se mover. O controlador ficará responsável por gerar este sinal, para posterior correção da posição do servo-motor.

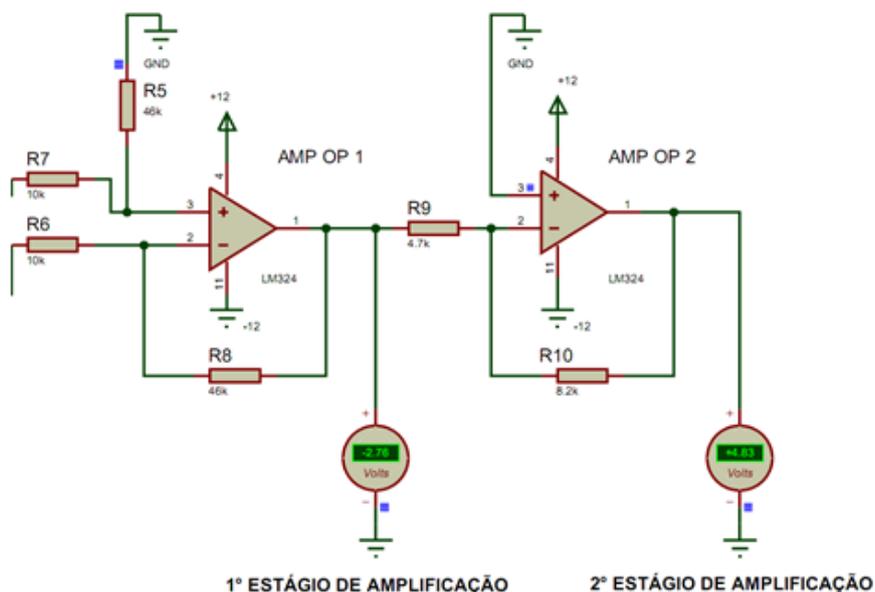
Para adquirir o sinal do sensor, foi utilizada uma configuração em Ponte de Wheatstone, transformando o valor da amplitude da variação da resistência do sensor em um sinal analógico. Após submeter o sensor a testes, foi constatado que o sinal de tensão é muito baixo, variando a sua amplitude em torno de 0.01 V à 0.6 V.

Figura 2 - Configuração do sensor na Ponte de Wheatstone.



Para o controle dos atuadores através de um controlador, tornou-se necessária a aplicação de um amplificador operacional para amplificar tal sinal de tensão gerado. Desta maneira, foi utilizado o amplificador operacional LM324, empregando-se dois estágios de amplificação a fim de atingir uma variação de aproximadamente 0.036V à 4.8V. Portanto quando o sensor estiver totalmente flexionado a tensão final de saída será próxima de 4,8 v como apresentado na Figura 3.

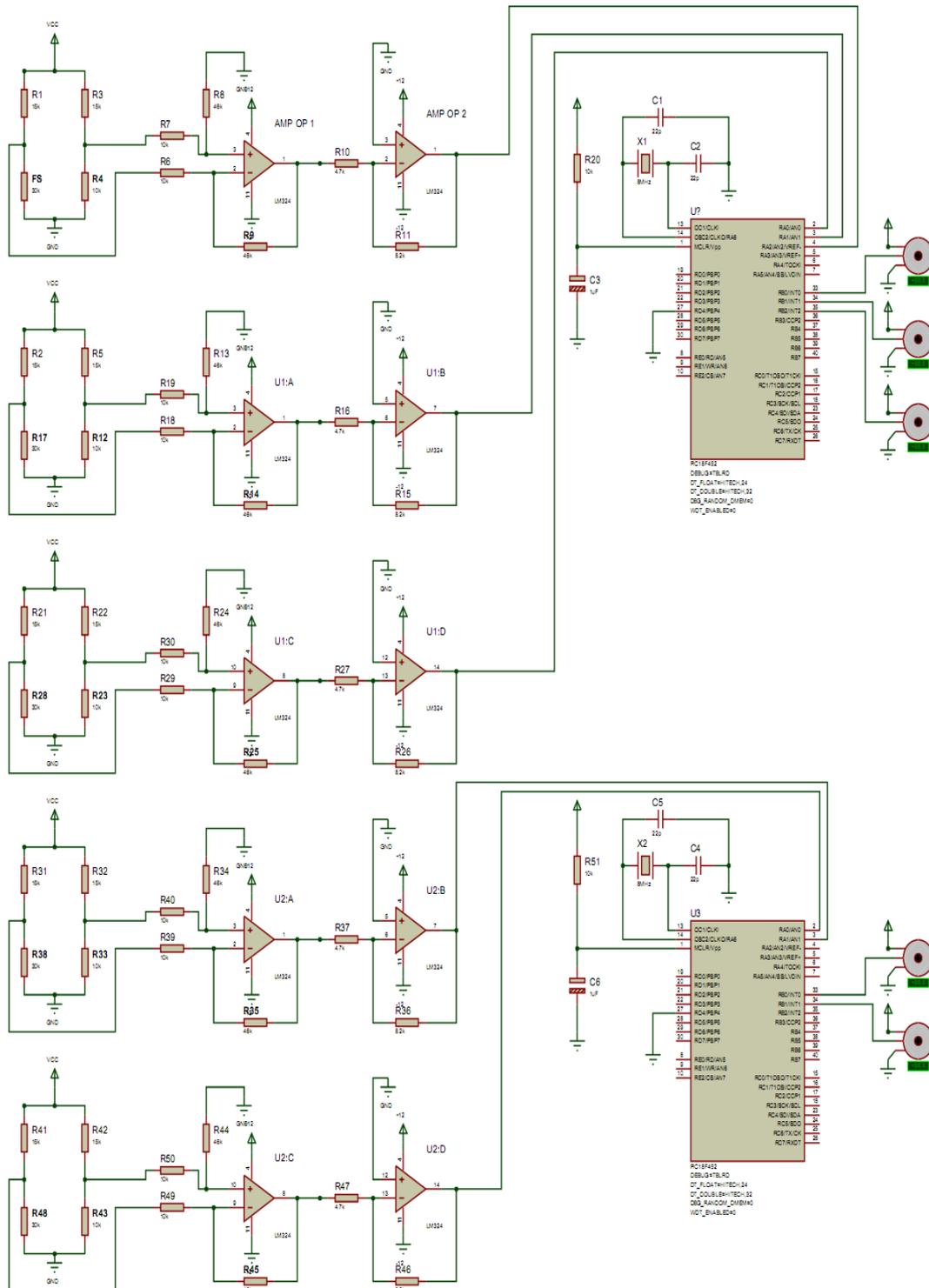
Figura 3 - Amplificação do sinal simulado no Proteus.





Para o controle dos atuadores foi escolhido o microcontrolador PIC 18F452, fabricado pela *Microchip*, por possuir canal A/D e ser o microcontrolador estudado durante o curso de Mecatrônica, aplicando-se uma tensão de alimentação de 5 V e um cristal oscilador de 20 mhz para o *clock*. Após a amplificação, o sinal chega ao canal analógico do microcontrolador que, através de programação, gera as ações para os servos-motores efetuarem as devidas correções de posição.

Figura 4 - Circuito completo simulado no Proteus.



Organização



Promoção





3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objetivo dos experimentos iniciais foi ter domínio sobre o funcionamento do canal A/D do microcontrolador. Foram ligados 8 Leds no PortB e um potenciômetro no periférico AN0. A função do circuito foi acender os Leds de acordo com a variação da tensão que o potenciômetro causava no periférico AN0.

O primeiro experimento não obteve o resultado esperado, pois os Leds não respondiam proporcionalmente ao movimento do potenciômetro. Após muita investigação, constatou-se que o erro se encontrava no GND do circuito, em que eram utilizados dois GND distintos causando o mau funcionamento do sistema.

Logo após a correção, utilizando somente um GND comum a todos, seu funcionamento fluiu de forma correta.

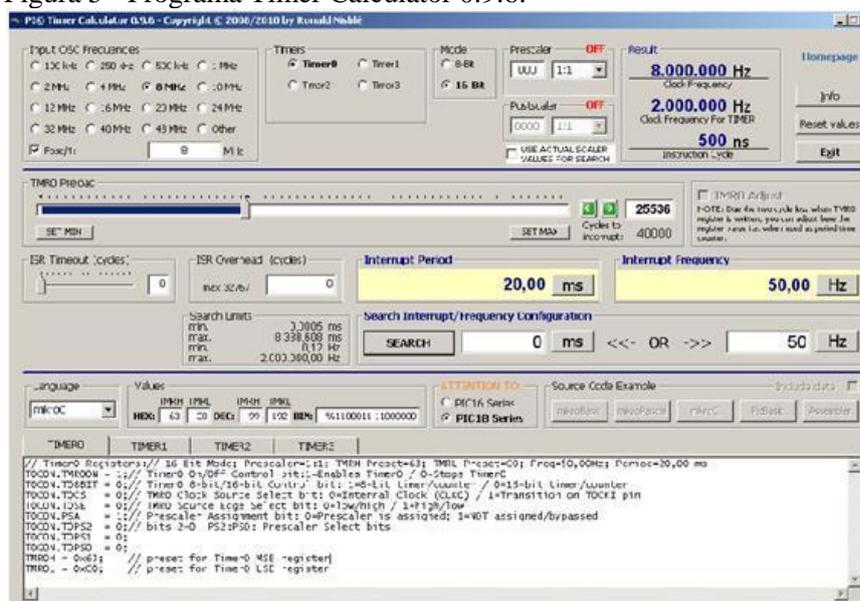
Tal desenvolvimento possibilitou adquirir as habilidades necessárias a respeito da utilização do canal A/D do microcontrolador (PIC 18F452) tendo em vista sua fundamental importância na futura construção de um protótipo. É através deste periférico que torna possível a comunicação entre o sensor que será empregado no protótipo e os microcontroladores.

Subsequentemente, foi desenvolvida uma programação para simular o PWM através da função *delay* do microcontrolador, visto que a função PWM do microcontrolador não poderia efetuar o controle do servo-motor em virtude da não compatibilidade do período do pulso gerado pelo periférico PWM do microcontrolador e o período necessário para o controle do servo-motor.

No entanto, não foi obtido o resultado esperado, pois o servo-motor não respondia proporcionalmente a variação do canal A/D, sofrendo grandes oscilações em seu movimento.

Outras possibilidades foram analisadas para efetuar o controle do servo-motor. Decidiu-se testar um programa que gerasse o PWM através das funções TIMER, existentes no microcontrolador. Para tal experimento foi gerado uma programação com 9 posições utilizando o TIMER 0 para o ciclo ativo e o TIMER 1 para o ciclo inativo do PWM. Os cálculos dos TIMERS foram realizados através do programa *Timer Calculator 0.9.6* desenvolvido por Ronald Nisblé, conforme Figura 5

Figura 5 - Programa Timer Calculator 0.9.6.

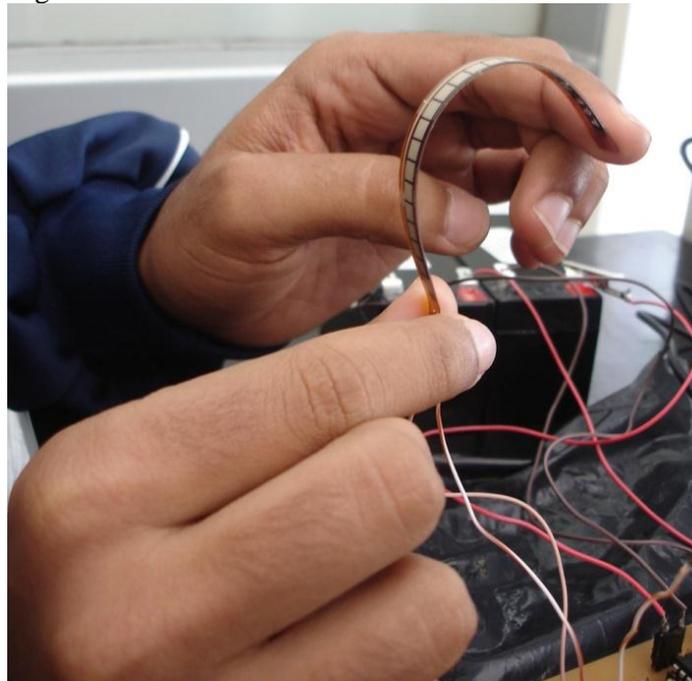




A respectiva etapa experimental cumpriu com seu objetivo positivamente, possibilitando o conhecimento com exatidão de cada posição do servo-motor e sua respectiva largura de pulso.

No que tange à próxima fase do estudo, juntaram-se os conceitos desenvolvidos acerca do funcionamento do canal A/D do microcontrolador, com os conceitos adquiridos durante a programação. O objetivo foi utilizar o canal A/D, já com o *Flex sensor*, para variação de tensão e utilizar a função PWM para controle de um servo-motor. O circuito desenvolvido tinha função de controlar o servo-motor conforme a variação de tensão ocasionada pelo sensor.

Figura 6 - Testes realizados com o *Flex sensor*.



Através da medição por osciloscópio foi possível a visualização do correto funcionamento do controle do PWM com a variação do sensor.

Com o funcionamento correto do sistema e sabendo da necessidade do controle utilizando o mínimo de microcontroladores possíveis, foi inserido outro sensor para outra saída de PWM, agora seriam controladas duas saídas com dois sinais de entradas distintas, utilizando os dois TIMERS restantes.

Contudo este experimento não funcionou de forma esperada, causando uma divisão pela metade na frequência do segundo PWM.

Por não saber os motivos que causaram a falha no experimento anterior e devido ao curto prazo de tempo existente, buscaram-se novas alternativas. Decidiu-se utilizar um programa com as funções TIMERS e INTERRUPÇÃO.

O experimento apresentou excelentes resultados, uma vez que o controle do PWM foi atingido com sucesso (Figura 7). Porém ao inserir mais de três canais de controle do servo-motor, constatou-se trepidações consideráveis no funcionamento dos motores. Visto que o foco do projeto está na precisão do sistema, decidiu-se utilizar dois microcontroladores para o controle dos cinco servos-motores, onde um microcontrolador controla três servo-motores e outro microcontrolador controla os dois servo-motores restantes.



Figura 7 - Medição de dois PWM gerados.



Fazendo uma analogia dos *Flex sensors* com a mão humana, as seguintes conclusões foram obtidas:

Figura 8 - Comparação da tensão em relação ao movimento da mão humana.

	Mão Aberta	Mão Fechada
Resistência :	10 K	30 K
Tensão :	0,036 V	4,8 V



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de um sistema robótico que seja capaz de replicar os movimentos de mãos humanas envolve uma interdisciplinaridade entre as áreas de mecânica, biomecânica, eletrônica e controle, sendo de extrema importância o planejamento didático para a maior eficácia de seu desenvolvimento.

A utilização do *Flex sensor* trabalhando em conjunto com o microcontrolador apresentou ótimos resultados de compatibilidade, funcionamento e controle de variação, cujos experimentos laboratoriais validaram a programação empregada ao demonstrar sua eficiência no comando do PWM com alto grau de precisão.

O sistema desenvolvido pode ser seguramente utilizado para o desenvolvimento e implementação de um protótipo biomecânico para controle de conjuntos robóticos à distância, como, por exemplo, a construção de uma luva sensorizada capaz de controlar os movimentos da mão sub-atuada, auxiliando pacientes em tratamento fisioterapêutico ou podendo ser empregado na indústria, onde o operador pode operar o equipamento de um local seguro e com extremo rigor, o que deixamos como proposta para futuros estudos.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EL-KHOURY, S.; SAHBANI, A. A new strategy combining empirical and analytical approaches for grasping unknown 3D objects, *Robotics and Autonomous Systems*, v. 58(5), 2010, p. 497–507.

FRANCISCO, A. M. S. *Servomotores*. ETEP (Lidel), 2004, p. 1-14.

MACIEL, C.; SILVA, R. Controle a distância utilizando um protótipo experimental de uma luva sensorizada. In: *Anais do XI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica – INIC*, Vale do Paraíba, 2007.

NAG, A.; MUKHOPADHYAY, S. C. Occupancy Detection at Smart Home Using Real-Time Dynamic Thresholding of Flexiforce Sensor. *IEEE Sensors Journal*, v. 15(8), 2015, p.4457-4463.

PITARCH, E.; YANG, J.; ABDEL-MALEK, K. Hand: A 25 degree-of-freedom model. In: *Proceedings of the 2005 Digital Human Modeling for Design and Engineering Symposium*, SAE International, Iowa City, IA, USA, 2005.

REZZOUG, N.; GORCE, P. Prediction of fingers posture using artificial neural networks. *Journal of Biomechanics*, v. 41(12), 2008, p.2743-2749.

SANTOS, Carla Licínia Andrade dos. *Sistema Automático de Prevenção de Úlceras por Pressão*. 2009. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Telecomunicações e Redes, Centro de Competência de Ciências Exatas e da Engenharia, Universidade da Madeira, Funchal, 2009.

TOUVET, F.; DAOUD, N.; GAZEAU, J.-P.; ZEGHLOUL, S.; MAIER, M.A.; ESKIIZMIRLILER, S. A biomimetic reach and grasp approach for mechanical hands. *Robotics and autonomous systems*, v. 60(3), 2011, p. 473-486.

TURNER, M. L.; FINDLEY, R. P.; GRIFFIN, W. B.; CUTKOSKY, M. R.; GOMEZ, D. H. Development and testing of a telemanipulation system with arm and hand motion, *ASME IMECE 2000 Conference Haptic Interfaces for Virtual Environments and Teleoperator Systems Symposium*, Orlando, November 5-10, 2000.

ZHANG, X.; LEE, S.-W.; BRAIDO, P. Determining finger segmental centers of rotation in flexion–extension based on surface marker measurement. *Journal of Biomechanics*, v. 36(8), 2003, p.1097-1102.



CONTROL'S ELECTRONIC SIMULATION OF A SUB-ACTUATED ROBOTIC HAND - A CASE STUDY

Abstract: *The present study has as main objective to simulate the control of sub-actuated robotic hand, using resistive sensors capable of interpreting finger movements and converting them into electrical signals, sending them to a central controller. This research aims to develop a biomechanical prototype capable of efficiently controlling devices and equipment at a distance, applying theoretical Mechatronics' concepts. This situation is discussed because of the difficulty of accurately replicating the movements with the highest degree of mimicry of the human hand, in order to get as close to reality, generating the need to use a more complex architecture and with a high cost. Initially, only the control of the signals emitted to the microcontroller will be analyzed, in order to classify them in a scale and, later, to execute specific movements of the motors. Several tests were carried out to validate the effectiveness of the application of the mechanism, whose results were satisfactory, allowing, in parallel, the better development and understanding of the interdisciplinary didactic methodology.*

Key-words: *Sub-actuated robotic hand, Biomechanical prototype, Motion Control.*

Organização



Promoção

