

## CONTROLE DE UM BRAÇO MECÂNICO POR MEIO DE MOVIMENTOS REAIS DE UM BRAÇO HUMANO

L. C. Costa\*, L. R. Gade\*, E. V. M. Pires\*, M. G. Borges\*, R. A. A. Ferreira\*, F. Mauricio de Sousa\*, S. A. Santos Filho\* \*\* \*\*\*.

\*Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUCMINAS, Belo Horizonte, Brasil

\*\*Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG, Belo Horizonte, Brasil

\*\*\* Centro Universitário Newton Paiva - Belo Horizonte, Brasil

e-mail: lidianecamposc@yahoo.com.br

**Resumo:** A reprodução do movimento humano feita por robôs tem se tornado uma crescente demanda na atual indústria, principalmente nas aplicações que representam grande risco para o ser humano e na área da bioengenharia, como as interfaces cérebro máquina (ICM). Este trabalho apresenta um protótipo de um braço mecânico capaz de reproduzir, remotamente, movimentos de um braço humano. Os sinais, referentes ao movimento do braço humano, foram coletados por sensores colocados em uma luva e no antebraço, e enviados remotamente para um braço mecânico. O protótipo permitiu a reprodução do movimento do braço, com três graus de liberdade, porém mostrou possível a reprodução de mais graus de liberdade.

**Palavras-chave:** Braço mecânico, ZigBee, sensor, servomotor.

**Abstract:** *The reproduction of human-like motion for robots has become an increasing demand nowadays, especially in activities that represent great risk for humans and bioengineering area as brain-machine interfaces (IBM). This paper presents a robotic arm prototype which is capable of being remotely controlled by human arm movements. The human arm movement signals collected by sensors placed in a glove and forearm are sent remotely to the robotic arm. The prototype is capable to reproduce the human arm movements, with three degrees of freedom.*

**Keywords:** *Robotic hand, ZigBee, sensor, servomotor.*

### Introdução

O desenvolvimento de manipuladores remotos surgiu com o desenvolvimento atômico. Equipamentos e ambientes protegidos eram necessários, para evitar que o operador tivesse contato com materiais radioativos. [1].

Nos últimos anos, várias empresas e pesquisadores vêm desenvolvendo máquinas e equipamentos que visam substituir o homem em algumas atividades, com o objetivo de melhorar os ganhos e a eficiência dos processos [2], [3]. Serviços manuais em ambientes agressivos, oceânicos ou espaciais, manipulação de substâncias tóxicas e de elementos que emitem radiação, salvamento ou apoio militar em operações de combate,

são alguns exemplos de atividades que necessitam de interação humana e que podem provocar acidentes fatais ou danos permanentes aos profissionais que as executam [4].

Na área médica, os robôs podem encontrar aplicação prática em dois principais campos: cirurgia e assistência às pessoas com deficiência física [5], [6].

No campo da cirurgia médica, alguns sistemas robóticos, utilizados em cirurgias laparoscópicas minimamente invasivas, simulam o movimento do punho e do braço humano [5].

No campo da assistência às pessoas com deficiência física, os manipuladores robóticos têm sido utilizados nas interfaces cérebro máquinas (ICM), com o objetivo de executar tarefas impossíveis, para estas pessoas, auxiliar na reabilitação ou substituir membros humanos [6].

Este trabalho apresenta um protótipo de um braço mecânico, de baixo custo e alta simplicidade que reproduz movimentos do braço humano, com 3 graus de liberdade, à distância, com comunicação sem fio, sendo todo o processo supervisionado por uma ferramenta gráfica, de interface homem máquina.

### Materiais e métodos

O protótipo foi construído segundo o diagrama em blocos da Figura 1. Sensores flexíveis (Spectra Symbol) foram utilizados para leitura do movimento da mão (pinça e pulso) e colocados em uma luva. Para a reprodução dos movimentos do antebraço, utilizou-se um acelerômetro de 3 eixos (modelo MMA8452Q da Freescale), colocado juntamente com os circuitos para condicionamento e processamento dos sinais, no antebraço do usuário, como mostrado na Figura 2. Os servomotores e os componentes necessários para receberem os sinais e executar o movimento foram incorporados à estrutura do braço mecânico.

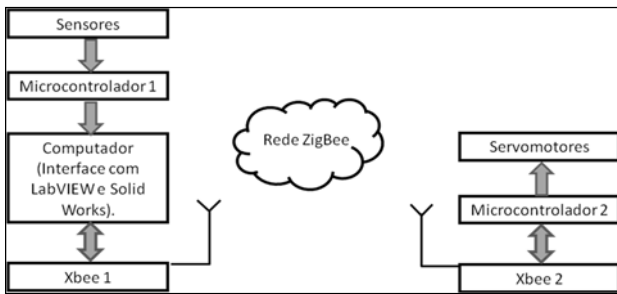


Figura 1: Diagrama em blocos do protótipo do braço mecânico.



Figura 2: Luva com os sensores Flex e dispositivo com o acelerômetro e circuitos condicionadores de sinal, acoplado no antebraço.

O braço mecânico utilizado foi o CF 6 AAA001B, constituído por 6 servomotores, os que permitem 6 graus de liberdade, como apresentado na Figura 3. Apesar disso, somente 3 graus de liberdade foram implementados no protótipo, sendo: abertura e fechamento da garra, flexão e extensão do punho e do antebraço.

Para este protótipo foram desenvolvidas duas placas englobando o máximo possível da eletrônica embarcada em um único dispositivo, que são apresentadas na Figura 4. Em uma das placas (Figura 4a), está o terminal de interface com o usuário, sendo composta pelos circuitos de aquisição e processamento dos dados (sensor e microcontrolador 1 ATmega328P) capturados pelos sensores acoplados ao braço humano. A outra, apresentada na Figura 4b, foi acoplada ao braço mecânico remoto e é composta pelos circuitos de recepção dos dados (módulo XBee 2) e de manipulação dos servomotores do braço mecânico (microcontrolador 2 ATmega2560).

Os sinais dos sensores flexíveis são obtidos por meio de divisores de tensão implementados com os sensores e um resistor de 10kΩ. Estes sinais são ligados às entradas de circuitos buffers de tensão, que têm suas saídas conectadas ao conversor analógico-digital de 10 bits do microcontrolador 1, usado na placa de aquisição de dados para condicionamento do sinal. Para a leitura dos dados do acelerômetro (movimento do antebraço), utilizou-se a saída digital do mesmo. Estes dados são enviados, também, ao microcontrolador 1, pelo padrão de comunicação digital I<sup>2</sup>C, com uma taxa de transmissão de 800Hz. De posse dos valores de aceleração, é feita uma decomposição vetorial da aceleração nos eixos Z e Y, de forma a encontrar o ângulo de inclinação do sensor. A Figura 5 mostra a representação gráfica para cálculo do ângulo do acelerômetro.

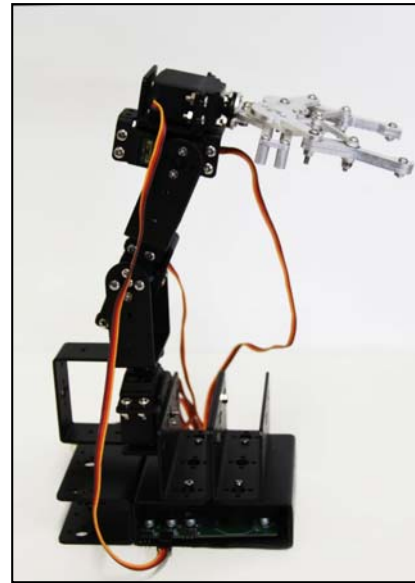


Figura 3: Braço mecânico CF 6 AAA001B.

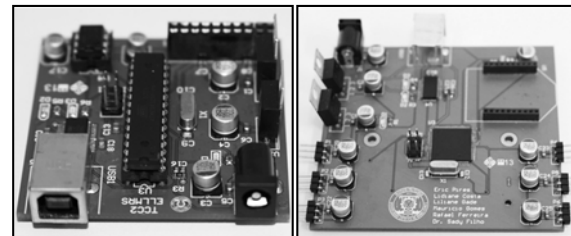


Figura 4: a) Placa de aquisição de dados, b) placa de acionamento.

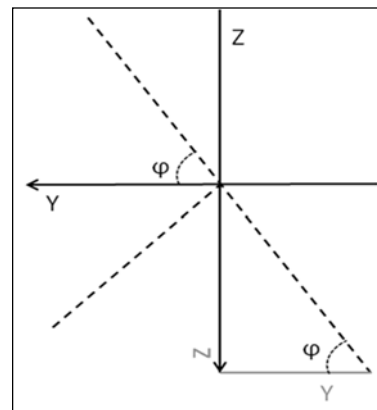


Figura 5: Representação gráfica para cálculo do ângulo no acelerômetro.

Supondo que as linhas tracejadas sejam as componentes da aceleração decompostas nos eixos Z e Y, transladados de  $\phi$ , pode-se encontrar o valor deste ângulo através da equação (1):

$$\Phi = \arctg \left( \frac{Z}{Y} \right) \quad (1)$$

Quando o acelerômetro é acoplado ao braço humano, o eixo Z corresponde ao eixo gravitacional da Terra e o

eixo Y corresponde ao eixo na direção do braço, quando o mesmo está em repouso sobre uma superfície plana.

Os fluxogramas com os *firmwares* para a leitura dos sensores (microcontrolador 1) e acionamento dos servomotores (microcontrolador 2) são apresentados nas Figuras 6a e 6b, respectivamente.

**Comunicação sem fio** – O protocolo ZigBee, no modo API (*Application Programming Interface*), foi utilizado para a comunicação, sem fio, entre os dois terminais, utilizando-se diferentes linguagens de programação. No terminal do usuário, a aplicação foi desenvolvida utilizando a linguagem de programação do *software* LabVIEW. Já no terminal remoto, o modo API foi implementado na programação do microcontrolador 2 utilizando a linguagem C.

O *software* XCTU foi utilizado para a configuração de cada um dos módulos XBee, sendo um configurado como roteador e o outro como coordenador de rede.

**Servomotores** – O braço mecânico possui um servomotor para cada grau de liberdade. Esses servomotores operam em malha fechada, por meio da técnica da modulação por largura de pulso PWM (*Pulse Width Modulation*), recebendo um sinal de controle, verificando a posição atual e atuando no sistema para que o mesmo gire para a posição desejada. Os servomotores são do tipo MG995 da TowerPro.

Os ângulos de referência utilizados para calibrar os movimentos de todos os servomotores foram de 90° e 180°.

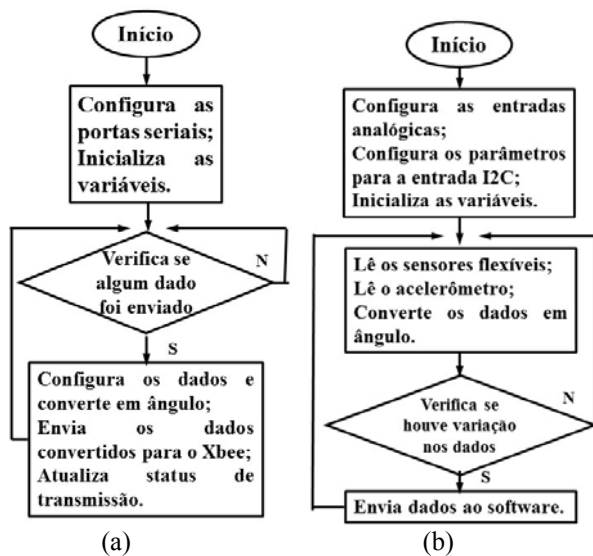


Figura 6: a) Fluxograma do *firmware* de leitura dos sensores do braço humano; b) Fluxograma do *firmware* de acionamento dos servomotores do braço mecânico.

## Resultados

A interface visual desenvolvida no *software* LabVIEW, apresenta visores e a posição de cada servomotor, bem como caixas de mensagem que indicam se os dados foram enviados corretamente para a interface, como mostrado na Figura 7.

Apesar de o braço mecânico utilizado possuir 6 graus de liberdade, apenas 3 graus foram implementados.

Os movimentos do antebraço humano na posição 180° e 90°, captados pelos acelerômetros, foram reproduzidos pelo braço mecânico, como mostrado nas Figuras 8a e 8b, respectivamente.



Figura 7: Interface gráfica do braço mecânico.

A partir dos sinais captados pelos sensores flexíveis, colocados na luva, pôde-se reproduzir no braço mecânico, os movimentos do pulso. Nas Figuras 9a e 9b, pode-se observar a reprodução dos movimentos do pulso com 180° (Figura 9a) e 90° (Figura 9b).

Os movimentos de pinça também foram detectados por outro sensor flexível, colocado na luva. A reprodução dos movimentos de pinça fechada e aberta pode ser vista nas Figuras 10a e 10b, respectivamente.

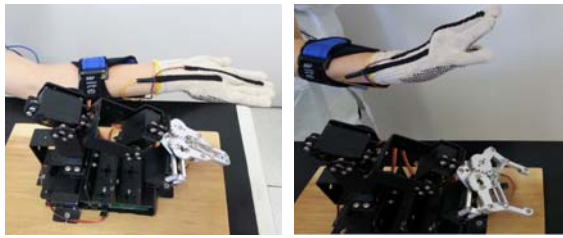
As variações das posições do antebraço e do punho humano, em relação ao mecânico, mostraram-se linear, como pode ser visto nas Figuras 11 e 12, respectivamente. Resultado similar foi obtido para a garra.



Figura 8: Reprodução dos movimentos do antebraço: (a) posição vertical (180°); (b) horizontal (90°).



Figura 9: Reprodução dos movimentos do pulso: (a) posição vertical (180°); (b) horizontal (90°).



(a) (b)

Figura 10: Reprodução dos movimentos de pinça: (a) pinça fechada; (b) pinça aberta.

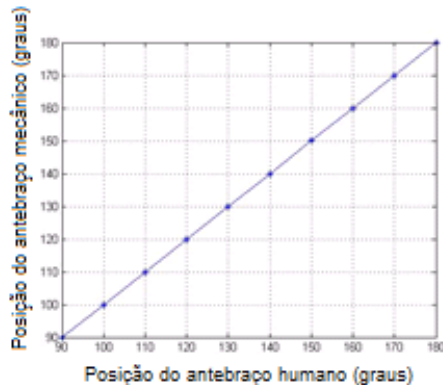


Figura 11: Posição do antebraço mecânico em relação ao antebraço humano.



Figura 12: Posição do punho mecânico em relação ao punho humano.

## Discussão

As tecnologias e componentes escolhidos para o desenvolvimento deste trabalho mostraram-se eficientes a partir dos resultados apresentados e concordam com [2]. O sensor flexível, escolhido também pela facilidade de aplicação, mostrou-se adequado, uma vez que varia sua resistência de forma contínua e linear.

Para o movimento do cotovelo, o acelerômetro apresentou resultados satisfatórios devido ao seu posicionamento perpendicular ao eixo gravitacional da Terra. Durante o desenvolvimento cogitou-se a possibilidade de posicionar o acelerômetro no punho e realizar a leitura para reprodução de dois movimentos. No entanto, verificou-se que, utilizando este posicionamento, as medições feitas seriam incorretas, pois, ao movimentar o antebraço, a leitura relativa ao movimento do punho também seria afetada.

Apesar do processamento de dados pelo acelerômetro ser lento, isto não prejudicou sua utilização nesse projeto, pois não são realizados movimentos rápidos. A leitura do acelerômetro mostrou-se precisa e linear.

A comunicação sem fio por meio do protocolo ZigBee apresentou resultados satisfatórios, já que não mostrou susceptibilidade a ruídos ou à interferência.

## Conclusão

O protótipo desenvolvido mostrou-se uma solução de pequeno porte e baixo custo apresentando resultados satisfatórios, de acordo com aplicações específicas como o transporte de objetos. Esse projeto consiste num primeiro passo para o desenvolvimento de robôs com movimentos mais precisos e minuciosos, podendo ser utilizados em aplicações que exijam alto nível de confiabilidade, como por exemplo, em cirurgias e interface cérebro máquina.

O sistema mostrou-se capaz de ler, interpretar e reproduzir os movimentos gerados pelo braço humano. Espera-se que este protótipo possa contribuir para as pesquisas de desenvolvimento de sistemas mais complexos que possam ser utilizados em ambientes de alto risco para os seres humanos e, na área médica, em cirurgias e interface cérebro máquina.

## Referências

- [1] Donald L. P. The kinematics of manipulators under computer control. Computer Science Department: Stanford University; 1968
- [2] Peters L S, Brackmann E J, Park W T. Future Directions in Automation and Robotics for Manufacturing. Em: Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE. v.2, n.3, p.12-16, 1987.
- [3] Maciel CLM, Silva RC, Barbosa LFW. Controle à distância utilizando um protótipo experimental de uma luva sensorizada. Em: XI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação; Universidade do Vale do Paraíba. 2007. p. 515-518.
- [4] Shirwalkar S, Singh A, Sharma K, Singh N. Telemanipulation of a an industrial robotic arm using gesture recognition with Kinect. Em: Control, Automation, Robotics and Embedded Systems (CARE), 2013 International Conference on. Jabalpur, 2013, p.1-6
- [5] Dario P, Guglielmelli E, Allotta B. Robotics in Medicine. Em: Intelligent Robots and Systems ,'94. 'Advance Robotic Systems and the Real Word', IROS ,94. Munich, 1994, v.2, p.739-752.
- [6] Wenjia O, Cashion K, Asari V K, Electroencephalograph based brain machine interface for controlling a robotic arm. Em: Applied Imagery Pattern Recognition Workshop: Sensing for Control and Augmentation, 2013 IEEE (AIPR) conference. Washington, DC 2013. p 1-7.