

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA PRÓTESE MULTIFUNCIONAL MICROCONTROLADA DA MÃO HUMANA

L.F.W. Barbosa[†], L. Sundfeld^{†1}, L. Silveira Jr. [†], S.V. Arêdes[§]

[†]LRA/FEAU/UNIVAP, São José dos Campos, Brasil

[§]MEQ/LIT/INPE, São José dos Campos, Brasil

e-mail: wiltgen@univap.br

Abstract: This article presents the study and development of the first prototype of a micro-controlled prosthesis of a human hand. This research is in the initial phase, in which a prosthesis for the hand and forearm is being constructed, with the purpose of substituting some functions of the hand and forearm of a human being. This prosthesis is destined for use with children between five and six years of age. The intention is that this robotic type of prosthesis can be used to perform the day-to-day activities. At the moment there is a PVC prototype used to study the control of movements via a low cost commercial micro-controller. As of yet anthropomorphous characteristics and a system for capturing myoelectrical signals have not been employed, but will be part of the study and future developments of the next robotic hand prototypes.

Palavras-chave: Microcontroladores, prótese da mão humana, mão robótica, reabilitação humana, biomecânica.

Introdução

A principal motivação desta pesquisa é desenvolver uma prótese para crianças. A finalidade desta prótese é melhorar a qualidade de vida proporcionando a realização de tarefas rotineiras e cotidianas de forma natural. O objetivo é projetar uma estrutura mecânica e eletrônica relativamente simples, funcional e com baixo custo.

Atualmente existem próteses robóticas da mão humana muito sofisticadas e de custo elevado. Este tipo de prótese é o estado da arte, e portanto de pouca abrangência. A alta tecnologia empregada nestes equipamentos biomecânicos inviabiliza seu uso em larga escala.

Para que as próteses sejam utilizadas em larga escala, o custo operacional e de aquisição, obrigatoriamente devem ser baixos, mesmo quando subsidiados pelas esferas governamentais e organizações não-governamentais.

Esta pesquisa tem como objetivo adotar parte da tecnologia robótica disponível hoje, e que atualmente possui custo acessível, no desenvolvimento de uma prótese capaz de executar grande parte das funcionalidades da mão humana.

A robótica tem sido aplicada tanto no desenvolvimento de equipamentos médicos hospitalares, quanto em sistemas de reabilitação [1] e protetização [2] e [3].

Os microcontroladores, servomotores e micro-motores atualmente possuem custo relativamente baixo, dependendo de suas especificações. Estes componentes são utilizados basicamente no acionamento e nos movimentos relativos aos dedos de uma prótese da mão.

Geralmente o custo destes componentes é muito significativo para o custo total da prótese. Entretanto, é possível especificar componentes que atendam de maneira satisfatória as necessidades básicas das próteses da mão com custo baixo, assim como está sendo realizado nesta pesquisa.

Na Figura 1 é possível observar a classificação e especificação de uma prótese para membros superiores [4]. Na figura é possível notar que a prótese, aqui apresentada, é do tipo ativa acionada eletricamente (força externa) e controlada com o auxílio de um microcontrolador, no qual pode atuar via sinais elétricos ou mioelétricos.

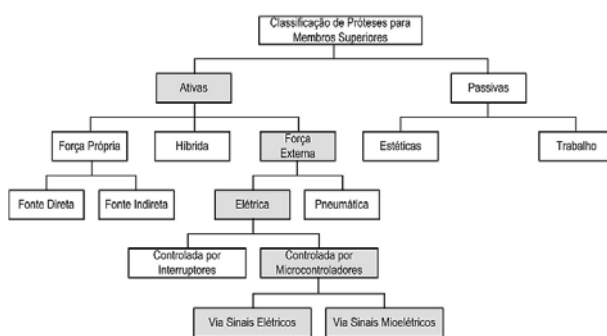


Figura 1: Classificação básica de próteses para o membro superior, em destaque o tipo de prótese desenvolvida nesta pesquisa

A prótese descrita neste artigo ainda está na fase inicial de desenvolvimento. No qual já foram projetadas e construídas as peças mecânicas referentes à mão mecânica do primeiro protótipo.

No decorrer deste artigo tem-se a anatomia da mão humana no item 2. O desenvolvimento da prótese robótica no item 3 e os resultados experimentais no item 4. Finalmente, o item 6 apresenta a conclusão e as perspectivas para o futuro.

¹ Estudante de Iniciação Científica UNIVAP

Mão Humana

A anatomia da mão humana permite inúmeros movimentos, dado o grande número de graus de liberdade presentes neste órgão. Os 23 graus de liberdade (**DOF - Degrees Of Freedom**) possibilitam a este órgão se re-configurar conforme o objeto a ser manipulado, ou a tarefa a ser executada.

A Figura 2, mostra a anatomia da mão. Observa-se que a mão humana possui cinco graus de liberdade no polegar, quatro para cada um dos outros dedos e mais dois para a palma da mão.

Este elevado número de graus de liberdade está diretamente relacionado aos 27 ossos, 17 articulações, 19 músculos que fazem parte da mão, e vários tendões acionados pelos músculos presentes no antebraço [4].

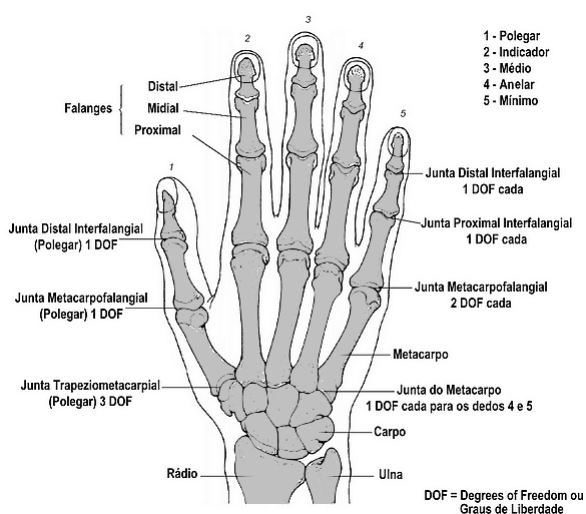


Figura 2: Anatomia da mão humana

Protótipo em Desenvolvimento

Sabe-se que o custo de um motor elétrico é maior, quanto menor e mais forte (maior torque), tiver o motor. Para o caso do microcontrolador, o custo está diretamente relacionado à quantidade de periféricos, número de portas de entrada e saída, e a velocidade de processamento.

A prótese robótica projetada, que esta em desenvolvimento, fará uso de um microcontrolador embarcado do tipo *PIC 16F877A* da *Microchip*[®], além de servomotores comerciais largamente utilizados em robôs e aeromodelos.

Com base nos estudos de biomecânica [3] e [5], foi desenvolvido o primeiro protótipo com dedos independentes e completamente articulados, no qual cada dedo possui três articulações, assim como pode ser visto na Figura 3.

Essas articulações são as uniões entre as falanges, que foram construídas com o mesmo princípio de funcionamento de uma dobradiça.

As reproduções dos movimentos dos dedos são bastante similares aos da mão humana (Figura 4 detalhe construtivo do polegar). Cada articulação reproduz o movimento de flexão de $\sim 90^\circ$ através do tracionamento de uma mola como se fosse um tendão humano.

Quando a mola é tracionada, flexiona todas as articulações do dedo para a palma da mão, quando é solta ou empurrada, retorna a posição original estendendo todas as articulações do dedo. Como cada dedo funciona de forma independente, cada um contará com um atuador próprio que será comandado via o microcontrolador.



Figura 3: Mão mecânica da prótese robótica

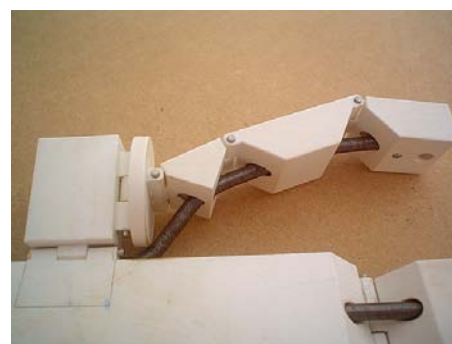


Figura 4: Detalhe do polegar da prótese robótica

Simulação Computacional para Construção da Mão Mecânica

Para a confecção da parte mecânica referente à prótese robótica, foram criados modelos tridimensionais de cada parte mecânica, que depois de vinculados em programas de construção de peças mecânicas, foram simulados em computador, mostrando todos os detalhes dos movimentos relativos a cada parte da prótese.

O uso do recurso de simulação computacional das peças mecânicas tem ajudado muito nos ajustes e na fabricação das peças. Outras peças, que devem compor o primeiro protótipo, estão sendo construídas em computador para auxiliar na decisão e escolha dos locais de instalação das partes eletrônicas e mecânicas do controle, e tracionamento dos dedos, como podem ser observadas na Figura 5.

Partes que Compõem a Prótese Robótica Completa

Esta prótese é composta por:

- Sistema mecânico que é dividido em duas partes, mão e antebraço;
- Sistema eletro-eletrônico que é composto pelo sistema de controle, sensores e atuadores;
- Sistema de armazenamento de energia elétrica que é composto por uma unidade de bateria recarregável de uso comercial;
- Sistema de acoplamento biomecânico que é o local para adaptação da prótese ao braço humano.

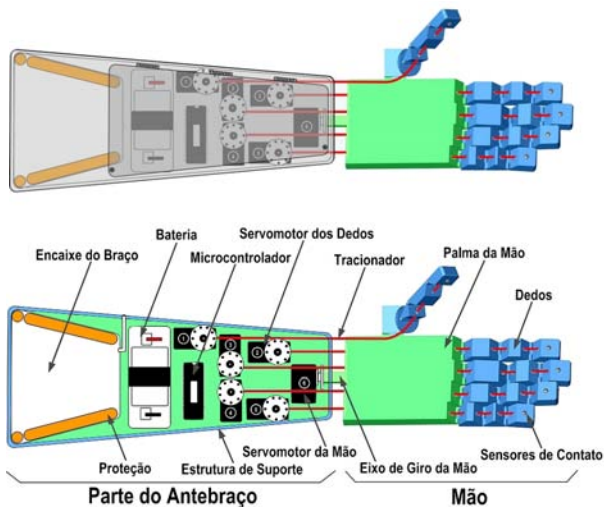


Figura 5: Descrição das partes que compõem a prótese robótica

Os dedos da prótese robótica, são acionados via tracionadores que emulam o movimento realizado por feixes musculares da mão humana. Estes tracionadores são na verdade elementos do tipo mola que são conectados nas pontas dos dedos (falange distal) até os servomotores referentes a cada dedo, passando através de pequenos dutos individuais por dentro da palma da mão.

Perspectiva de Utilização de Sinais Mioelétricos na Prótese Robótica

O sistema de controle mioelétrico para esta prótese robótica, deverá contar com o controle e acionamento em conjunto dos dedos indicador, médio, anelar e mínimo, e individual do polegar.

O fluxo de sinal para o controle via sinais mioelétricos deve ser basicamente o mesmo utilizado no controle via sinais elétricos. Entretanto, deverá existir um fluxo de sinais de controle biológicos vindos do braço humano, que devem ser comparados e identificados pelo microcontrolador para que o motor referente a cada dedo possa ser acionado

individualmente dado à interpretação de cada sinal mioelétrico.

Na Figura 6 pode ser observado o fluxograma referente ao esquema de acionamento da prótese robótica via a interpretação dos sinais mioelétricos do braço do usuário da prótese.

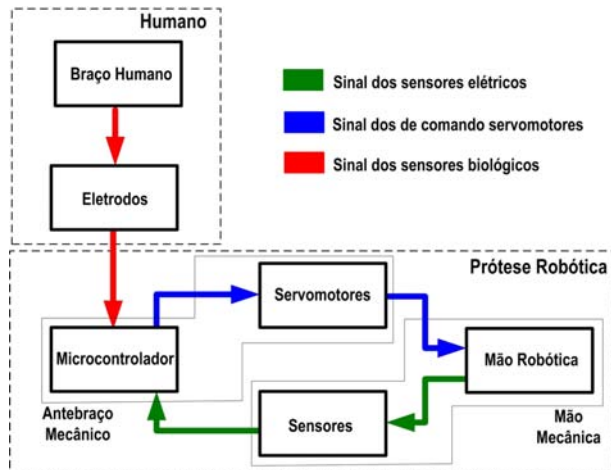


Figura 6: Fluxograma de acionamento da prótese com controle via sinais mioelétricos

Para que o sistema mioelétrico funcione deverá ser construído um circuito amplificador diferencial ligado a um conjunto de filtros analógicos interligados aos sensores não invasivos (eletrodos).

Os sensores utilizados para capturar os sinais mioelétricos [4] e [6], devem ser compostos por pequenas barras paralelas de prata e cloreto de prata. Os mesmos, devem ser fixados ao braço no sentido perpendicular as fibras musculares no qual se quer medir o sinal mioelétrico. Dado a utilização de um amplificador diferencial, se faz necessário um ponto de referência. Este ponto de referência, também é um eletrodo, que deve ser fixado em um local onde existam poucas fibras musculares.

Na Figura 7 pode ser observada uma ilustração de como deverá ser a fixação dos eletrodos para a colocação da prótese robótica miocontrolada.

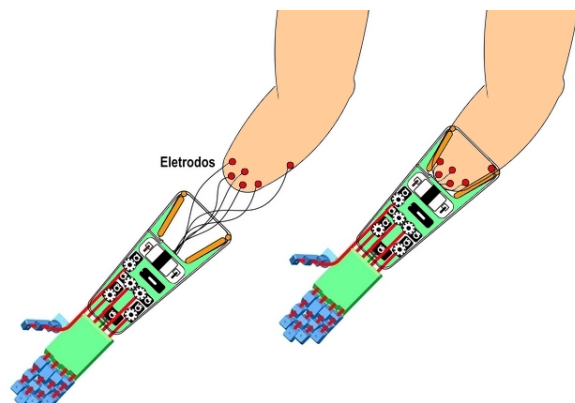


Figura 7: Ilustração mostrando a colocação da prótese robótica com o sistema de controle via sinais mioelétricos

Resultados Experimentais

O primeiro protótipo está sendo construído em plástico do tipo PVC, a versão final da prótese robótica provavelmente será confeccionada em alumínio ou resina, aumentando sua rigidez mecânica.

Na Tabela 1 e 2 podem ser observadas as medidas de cada falange dos dedos, e também, da palma da mão.

Tabela 1 – Dimensões dos dedos

Tipo de Peça - Dedo	Tipo de Falange	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)
Polegar	Proximal	20	18	10
	Medial	34	18	10
	Distal	25	18	10
Indicador	Proximal	35	18	10
	Medial	30	18	10
	Distal	27	18	10
Médio	Proximal	41	20	10
	Medial	31	20	10
	Distal	28	20	10
Anelar	Proximal	35	18	10
	Medial	30	18	10
	Distal	27	18	10
Mínimo	Proximal	26	14	10
	Medial	22	14	10
	Distal	26	14	10

Tabela 2 – Dimensões da palma da mão

Tipo de Peça - Palma	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)
Palma	102	81	10

Cada falange do primeiro protótipo possui as dimensões da mão de um adulto.

A palma da mão, onde estão conectados os dedos, foi projetada de maneira a manter a altura e a distância entre os dedos como ocorre com a mão humana. Na conexão da palma com os dedos, usa-se o mesmo princípio de dobradiças, assim, as falanges proximais de cada um dos dedos é conectadas a palma da mão.

Na Figura 8 observa-se um teste de acionamento manual dos tracionadores dos dedos da mão mecânica.



Figura 8: Foto da prótese robótica em teste de flexão e extensão dos dedos

Conclusão e Perspectivas

Esta prótese robótica deve estar completa e funcionando até meados de 2007. No decorrer desta pesquisa deverá ser iniciada a construção do antebraço do primeiro protótipo, e também, a confecção dos dedos referente ao segundo protótipo no tamanho infantil.

O segundo protótipo deverá ser confeccionado em alumínio e a topologia desta nova mão mecânica deverá incorporar além das modificações na dimensão, comprimento e largura, também a espessura que deverá ser diferente para cada parte da mão a fim de possibilitar o uso de uma cobertura antropomórfica específica para esta prótese robótica.

O sistema microcontrolado deverá estar em funcionamento até julho deste ano de 2006. Com isto será possível iniciar os estudos referentes a construção dos eletrodos e dos circuitos de captura dos sinais mioelétricos para teste na prótese.

Agradecimentos

Aos técnicos da oficina mecânica da Univap, Sr. José Underkircher, Sr. Celso Erasmo de Oliveira e Sr. Laércio César de Oliveira, que auxiliaram muito no desenvolvimento e construção do primeiro protótipo. E também a Srta. Marcela de S. R. Batista, pelos desenhos mecânicos das peças da prótese robótica.

Referências

- [1] Bolmsjo, G., Neveryd, H., Eftving, H. (1995) "Robotics in rehabilitation" *IEEE Transaction on Rehabilitation Engineering*, v.3, n.1, p. 77-83.
- [2] Chappell, P. H., Kybert, P. J. (1991) "Prehensile control of a hand prosthesis by microcontroller" *Journal Biomed. Eng.*, v.13, p. 363-362.
- [3] Kyberd, P.J., et. al. (2001) "The design of anthropomorphic prosthetic hands: A study of the Southampton Hand" *Robotica*, v.19, p. 593-600.
- [4] Cunha, F.L. (2002) "Mão de São Carlos, uma prótese multifunção para membros superiores – Estudo dos mecanismos, atuadores e sensores" *Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo – USP São Carlos*.
- [5] Dechev, N., Cleghorn, W.L., Naumann, S. (2000) "Thumb Design of an Experimental Prosthetic Hand", In: *Proceedings of the 2nd ISRA*, Monterrey, 10-12 November.
- [6] Pan, T.T., et. al. (2004) "Mechatronic Experiments Course Design: A Myoelectric Controlled Partial-Hand Prosthesis Project" *IEEE Transactions on Education*, v.47, n.3, p. 348-355.