

CONTROLE À DISTÂNCIA UTILIZANDO UM PROTÓTIPO EXPERIMENTAL DE UM LUVA SENSORIADA

Clayton L. M. Maciel¹, Rafael C. Silva², Luis Filipe Wiltgen Barbosa³

¹ CTA/GEEV, São José dos Campos – SP – Brasil

² DELPHI, Jambuí – SP – Brasil

³ UNIVAP/FEAU/LRA, São José dos Campos – SP – Brasil

¹claytonlmmaciel@yahoo.com.br, ²rafaelsjc@uol.com.br, ³wiltgen@univap.br

Resumo: Este artigo apresenta o desenvolvimento de um protótipo de luva sensorizada capaz de controlar equipamentos à distância. Para tal, foi utilizada uma luva no qual são providos sensores resistivos capazes de interpretar os movimentos dos dedos de uma mão humana, e convertê-los em sinais elétricos que são enviados para um controlador central que reproduz os movimentos em uma mão (garra) mecânica. O objetivo desta pesquisa é dar início de um projeto acadêmico para o controle de dispositivos e/ou equipamentos à distância, podendo futuramente ter continuidade e ser aprimorados por outros grupos de pesquisas na universidade. Os sinais da luva sensora são interpretados por um microcontrolador do tipo PIC16F877 que é responsável pelo controle dos 6 motores de passo na mão mecânica, estes executam os movimentos independentes das 6 articulações, que representam três dedos humanos (indicador, médio e anelar) via o funcionamento da mão mecânica.

Palavra-chave: luva, controle, sensor, mão mecânica, microcontrolador PIC.

Área do Conhecimento: III Engenharia

Introdução

A humanidade apesar de ter progredido muito na robótica, ainda esta longe, de ter um robô com a versatilidade e inteligência para substituir o ser humano em suas tarefas mais simples.

Os robôs do tipo teleoperados que existem atualmente são modelos que proporcionam alguns recursos para operações humanas, geralmente em ambientes de risco impróprios para o trabalho humano.

Pode-se dizer de uma forma geral que 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.

Estes tipos de dispositivo robóticos teleoperados (remotamente operados) são controlados remotamente e reproduzem os comandos enviados pelo operador. Em alguns casos particulares, estes dispositivos reproduzem os movimentos humanos (Manseur, et. al., 1992) a fim de executar uma tarefa específica de forma similar ao ser humano.

Existe uma distinção básica entre o controle inteiramente automático (autônomo), onde um robô age sem intervenção humana, e o controle inteiramente manual, de forma que cada movimento executado pelo robô é diretamente especificado por um ser humano (telerobôs ou teleoperação).

Os telerobôs (Turner, et. al., 2000) são sistemas do tipo mestre/escravo, em que um robô remoto (escravo) é operado diretamente por um ser humano através de um controlador manual (mestre).

Estes sistemas podem ser de dois tipos, realimentados ou não. Os sistemas realimentados geralmente fazem uso de uma realimentação de força (Koyama, et. al., 2002) para que o operador tenha a sensação de que realmente está interagindo com o ambiente remoto. Vários robôs operados remotamente fazem uso deste tipo de sistema, com é o caso da luva *Multi-fingered Master Hand* (Koyama, et. al., 2002), que é um mestre com realimentação de força via atuadores hidráulicos que exercem forças no operador, em resposta às forças detectadas pelos sensores colocados no robô escravo.

No decorrer deste artigo tem-se a descrição dos movimentos da mão humana no item 2, mostrando os movimentos a serem capturados pelo dispositivo sensor. No item 3 e 4, são apresentados, respectivamente os tipos de luvas sensoras e garras existentes. O item 5 descreve de forma sucinta o desenvolvimento da luva sensora apresentada neste artigo, mostrando as dificuldades encontradas, as soluções e os protótipos desenvolvidos durante a pesquisa. No item 6 é apresentada a conclusão e as perspectivas para o desenvolvimento do quarto protótipo.

Tipos de Luvas Sensoras

A luva eletrônica sensora busca capturar os movimentos dos dedos e usá-los como forma de interação com o usuário. Serão apresentados a seguir os modelos existentes no mercado, as principais características de construção e o custo estimado destas luvas.

Luva com Esqueleto Externo

Desenvolvida em 1990 pela EXOS, a *Dextrous Hand Master*, lançou a idéia de usar uma espécie de esqueleto externo preso à mão para ler seus movimentos. Esta estrutura permite uma leitura rápida e precisa de todos os dedos através de colocação de um sensor em cada junta (Figura 2). O custo é de aproximadamente 9.000 dólares.

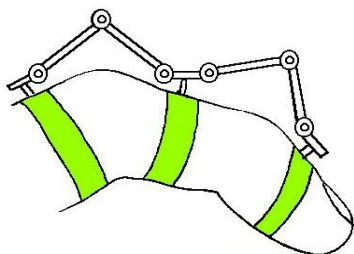


Figura 2 – Esquema da *Dextrous Hand Master*

Luvas com Tinta Condutiva

A idéia foi colocar um medidor de resistência elétrica nos extremos de uma tira pintada com tinta condutora sobre um substrato flexível (CyberGlove de 1995). Quando este substrato é então colocado sobre o dorso da mão (dentro de uma luva de lycra) pode-se realizar a leitura dos movimentos dos dedos.

Estas luvas podem ser acopladas com realimentação de força, onde as garras mecânicas possuem sensores capazes de medir a força feita sobre o objeto, esta força é retorna a luva, gerando assim a sensação de tato remoto aos dedos da luva (Figura 3). O modelo é comercializado por 77.000 dólares.



Figura 3 – Luva modelo *Cyber Glove II*

Desenvolvimento da Luva Sensoriada

Para o desenvolvimento da luva sensoriada, foram escolhidos apenas três dedos, notar que o polegar não foi escolhido dado sua complexidade quanto a seus movimentos de oposição e retroposição. Foram então definidos os movimentos de flexão e extensão dos dedos indicador, médio e anelar.

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, até o momento foram construídos e testados três protótipos mecânicos de sensores para a luva, como serão apresentados a seguir.

O primeiro protótipo da luva (Figura 4) utiliza o princípio de flexão do dedo via cabos ou fios.



Figura 4 – Luva Sensora Protótipo 1

A idéia inicial foi de puxar um fio, variando assim a resistência elétrica de um potenciômetro deslizante com retorno por mola. Desta forma, transformado movimento mecânico em uma variação de tensão elétrica na saída do potenciômetro. O qual poderia ser aproveitado para controlar a garra mecânica a distância.

Entretanto o modelo baseado nesta idéia apesar de apresentar boa variação de resistência elétrica no potenciômetro, possuía uma forte não linearidade. O movimento da articulação 1 (articulação metacarpofalangiana, entre a palma e o dedo) é responsável pela variação conjunta dos dois potenciômetros, já o movimento da articulação 2 (interfalangiana) é responsável pelo movimento de apenas 1 potenciômetro. O primeiro protótipo apresentou as seguintes dificuldades:

- A difícil fixação dos potenciômetros na luva, uma vez que era necessária inserção de muita força para a compressão das molas;
- O controle se tornou demasiadamente complexo devido a necessidade de calcular a percepção do movimento da articulação 2, além da compensação necessária para a não linearidade dos potenciômetros.

A fim de solucionar estas dificuldades, foi necessária uma nova abordagem mecânica, o

que resultou no desenvolvimento de um novo protótipo.

Este novo protótipo, chamado de protótipo 2 (Figura 5), possui como principal diferença a colocação dos sensores de movimento diretamente nas juntas, com um potenciômetro em cada articulação. Este modelo foi baseado no modelo *Dextrous Hand Master*. No modelo foram colocados sensores do tipo potenciômetros rotativos, com resistência elétrica de $\sim 22\text{ k}\Omega$.

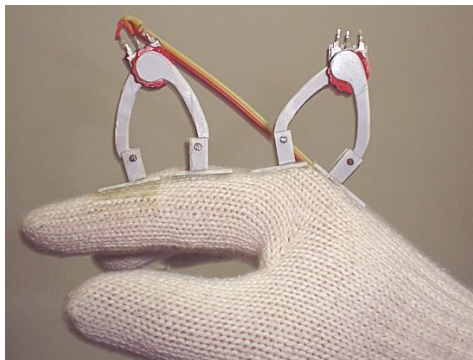


Figura 5 – Luva Sensora Protótipo 2

Os movimentos resultavam em uma variação de resistência elétrica de $\sim 2\text{ k}\Omega$ por articulação. O resultado foi muito promissor, mas que poderia ser melhorado com algumas modificações mecânicas nas hastes de conexão entre os sensores e as juntas na luva. Ao diminuir o comprimento das hastes presas entre o potenciômetro e a base de fixação no dedo, as variações de resistência elétrica seriam maiores. Outra melhoria analisada estava entre as bases de fixação nas juntas dos dedos na luva.

Estes estudos resultaram no desenvolvimento do protótipo 3 da luva sensora (Figuras 6).

Este novo protótipo elevou a variação de resistência elétrica de $\sim 2\text{ k}\Omega$ para $\sim 4\text{ k}\Omega$, além de melhorar muito a fixação mecânica das hastes ligadas aos sensores (potenciômetros) e a luva. O resultado imediato foi uma melhor precisão e maior linearidade nas medidas dos sensores.



Figura 6 – Luva Sensora Protótipo 3

Apesar da ligação entre os sensores e a luva, ainda estar longe do que se pretende, os resultados no controle foram bons.

Para utilizar a luva como dispositivo de controle, foi desenvolvida uma pequena garra mecânica (Figura 7). Esta garra foi construída utilizando madeira para a confecção dos dedos, acrílico para estrutura de suporte e fixação dos motores, e fios de nylon para tração motora.

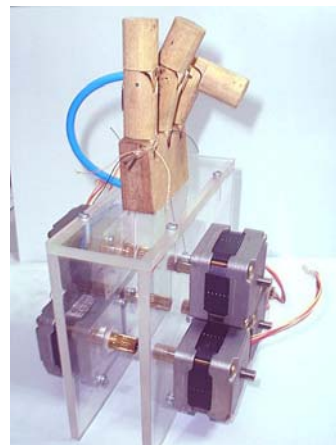


Figura 7 – Garra mecânica para demonstração da Luva Sensora

A garra mecânica desenvolvida para esta pesquisa busca reproduzir os movimentos dos dedos humanos que controlam a luva sensora, completando desta forma uma teleoperação.

Para o projeto da garra mecânica foram utilizados motores de passo com 2 bobinas e 1,8 graus por passo, devido a facilidade de controle junto ao microcontrolador *PIC16F877* da *Microchip*® (Souza, 2003) e (Almeida, 2005).

Neste projeto os motores estão distantes das articulações, sofrendo desta forma interferências mecânicas que dificultam a precisão da reprodução dos movimentos.

Esta garra foi desenvolvida em madeira devido à facilidade de construção e possui apenas os três dedos, pois a sua finalidade é reproduzir apenas os movimentos captados pela luva.

O controle atua diretamente na garra mecânica sem realimentação de posicionamento ou pressão, caracterizando assim o controle em malha aberta (Bolton, 1995).

Devido ao limitado número de portas de entrada e saída (I/O) disponíveis no microcontrolador *PIC16F877*. Foi necessário utilizar o componente *74LS373*, um latch de 8 bits, cuja função básica é travar a posição de um determinado motor, enquanto outro é habilitado. Tornando a programação do microcontrolador mais simples (Almeida, 2005). Com isto, foi possível utilizar apenas 10 saídas do

microcontrolador, ao invés das 24 saídas necessárias originalmente.

Dentre as 10 saídas necessárias, 6 habilitam os *latches*, um para cada motor, e 4 definem os movimentos dos motores.

Para acionamento dos motores foi necessário o uso do *driver* de corrente tipo *L298N*, uma vez que as saídas do *latch* não são capazes de fornecer a corrente elétrica necessária para o movimento dos motores de passo.

Na Figura 8 pode ser observado em detalhe o circuito eletrônico do controle da garra. No qual esta detalhado apenas o controle de um único dedo com dois movimentos distintos, um para cada articulação.

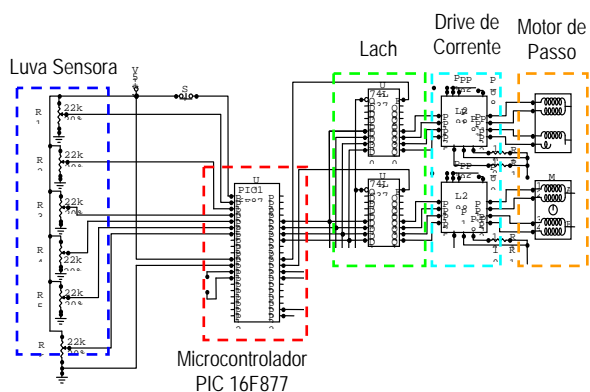


Figura 8 – Detalhe do circuito eletrônico de controle da garra mecânica (um dedo).

O controle é baseado na conversão dos valores analógicos de resistências elétricas do potenciômetro em sinais digitais de modo a constatar se houve ou não a variação da posição (movimento). Caso ocorra o movimento, a variação da resistência elétrica é percebida pelo microcontrolador, que envia um sinal de controle providenciando o movimento do motor de passo correspondente ao movimento detectado, de modo a reproduzi-lo na garra.

Na Figura 9, pode ser observado o sistema completo: a luva sensora (protótipo 3) com o circuito de controle e a garra mecânica.

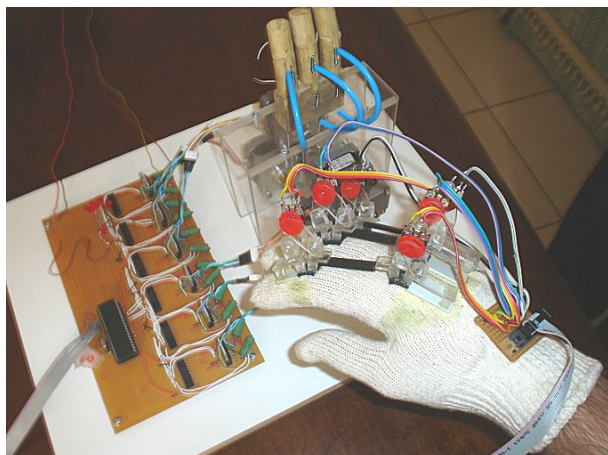


Figura 9 – Foto atual do sistema completo.

Conclusão e Perspectivas

Um dispositivo deste tipo possui inúmeros desafios, um dos principais desafios é o acoplamento mecânicos dos sensores na luva. Dado a escolha por um sistema de detecção de movimento via resistência elétrica, devido ao baixo custo, o projeto e a construção mecânica deve incorporar além do próprio sensor, uma forma eficiente de conexão com a luva, que neste caso é uma luva comercial de tecido com elástico.

Este sistema apesar de funcionar bem, possui pouca precisão, dado o movimento involuntário da luva sobre a mão humana durante o funcionamento do dispositivo devido aos esforços mecânicos da mão para atuar nos sensores.

O terceiro protótipo foi construído de forma quase artesanal, o que leva a crer que pequenas melhorias principalmente ao que diz respeito às partes mecânicas, podem tornar a luva sensora mais precisa no controle dos movimentos da garra.

A interface microcontrolada apresentou resultados satisfatórios, mas imprecisos devido às construções mecânicas. Isto de certa forma faz com que um dos principais aperfeiçoamentos da luva sensora, seja na confecção precisa das peças que fazem o acoplamento dos sensores.

Referências

- MANSEUR, R. BEARDEN, C.E., KELBERT, J.C. Teaching a robot by hand motion, **IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems**, Raleigh, July 07-10, 1992
- TURNER, M.L., et. al. 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.
- KOYAMA, T., et. al. Multi-Fingered Exoskeleton haptic device using passive force feedback for dexterous teleoperation, **IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems**, Lusanne, September 30 - October 04, 2002.
- SOUZA, D.J.D. Desbravando o PIC. 6 ed. São Paulo, Editora Érica, 2003.
- ALMEIDA, N.M. Sistemas Microcontrolados. São Paulo, Editora Novatec, 2005.
- BOLTON, W. Engenharia de Controle. São Paulo Editora Makron Books, 1995.