

Desenvolvimento de um Manipulador Robótico Antropomórfico

Herculano H. De Biasi¹, Nilton K. Gomes Suzuki¹, Rudinei L. dos Santos¹

¹Curso de Engenharia de Controle e Automação – Fundação Universidade do
Contestado (FUnC - Curitibanos)

CEP.: 89.520-000 – Curitibanos – SC – Brasil

herculano.debiasi@gmail.com, nkazuo@gmail.com,
engenheiro.rudy@hotmail.com

Abstract. *This paper describes the steps taken for the development of an anthropomorphic robotic manipulator, serving as a didactic help during classes in the Control and Automation Engineering course and as a basis for testing new technologies such as computer vision. The knowledge of the robotic arm movements allows the students to better understand the automation and control process via programming, which will help them to prepare themselves for the job market. The innovative aspects of this work are the availability of drawing files of all assembly parts, assembly instructions and programming examples.*

Resumo. *Este artigo descreve os passos executados para a elaboração de um manipulador robótico antropomórfico, servindo como fonte didática para estudos nas disciplinas da grade de Engenharia de Controle e Automação e como base de testes para novas tecnologias, como visão computacional. Este conhecimento dos movimentos de um braço robótico permite ao aluno compreender melhor o processo de automação e controle via programação o que auxiliará para seu preparo para o mercado de trabalho. Sendo o diferencial deste trabalho a disponibilização de todos os arquivos de desenho das peças, manual de montagem e exemplos de programação.*

1. Introdução

Hodiernamente, robôs são usados para os mais variados fins. São amplamente utilizados em aplicações que podem causar riscos à vida do ser humano. Entretanto, possuem grande utilidade em trabalhos corriqueiros, como por exemplo, robôs utilizados para transporte de arquivos e remédios em hospitais ou aqueles usados para limpeza de ambientes.

Vemos que o mercado consumidor está cada vez mais exigente. Produtos são atualizados constantemente, e a cada versão percebemos a velocidade de construção e alta tecnologia aplicada. Suprir essa demanda somente com o trabalho humano mostra-se perigoso, pois a qualidade e rapidez exigida pode prejudicar a integridade (física e mental) do trabalhador. Com isso, o uso de robôs, principalmente do tipo manipulador, torna-se uma necessidade para manter uma produção de qualidade com respeito à saúde de colaboradores e às exigências do mercado consumidor.

Em universidades, muitas vezes mostra-se difícil a aquisição de manipuladores robóticos. O alto custo destes equipamentos, compatíveis com a tecnologia necessária na sua confecção, impossibilita que estes centros de ensino os adquiram. Além do mais, muitos desses manipuladores disponíveis, vêm com praticamente tudo pronto, não permitindo alterações, e com compatibilidade a um número limitado de equipamentos. Logo, o estudante não consegue entender a raiz do funcionamento de um robô. Dificilmente, irá se deparar com dificuldades básicas de robótica, como torque e posições limites de atuação.

Este artigo pretende mostrar uma alternativa para aquisição de manipuladores robóticos em instituições de ensino, trazendo as características de um robô de alta tecnologia para outro com um custo inferior. Visa também uma maior compatibilidade com outras tecnologias da automação. Com isso, esse manipulador torna-se uma base de testes para os equipamentos que são utilizados no mercado industrial. De mesma forma, serve como base de estudo para cálculos matemáticos, programação C/C++ e trabalhos que envolvam mecânica e física. Isso possibilita a criação de robôs mais sofisticados, uma vez que se tem um princípio que mostra quais movimentos um manipulador pode executar com determinadas características como, por exemplo, de motor e material de construção.

2. Materiais e métodos

Os trabalhos apresentados neste artigo tiveram inicialmente uma pesquisa em projetos de outras universidades, que concluíram com êxito seu manipulador robótico, e em empresas especializadas na automação de linhas de produção com o uso de manipuladores. Entretanto, visto a quantidade reduzida de informações referentes à construção e programação teve início uma pesquisa em artigos de revistas da área de engenharia que abordavam o amplo uso de manipuladores e visão computacional na indústria. Encontra-se também em alguns livros o incentivo ao uso de robôs como forma de aprendizado, os quais se tornaram uma das principais fontes de pesquisa deste trabalho, trazendo em foco os tipos de robôs existentes, trabalhos possíveis de serem executados por um manipulador antropomórfico, cálculos de posicionamento em plano 2D e histórico de robôs já construídos.

Após essa primeira etapa, houve um intenso trabalho para a construção de protótipos de baixo custo que permitissem testes mecânicos e físicos. Uma vez definido os movimentos básicos do robô deve-se testar o material a ser utilizado e torque dos motores disponíveis. Quando todos os dados necessários são colhidos, parte-se para o desenho computacional, onde todos os resultados dos protótipos são aplicados em peças que darão a forma desejada ao manipulador. O uso do computador nessa fase permite algumas simulações como: teste de resistência de material, peso do robô, movimentos, quantidade de peças e impactos ambientais para a fabricação. Com isso, o custo final de construção diminui e os erros são praticamente extintos.

Na etapa seguinte, são feitos testes de programação que avaliam o desempenho do manipulador e sua interação com outros equipamentos. Nos testes aplicados, o robô é utilizado para movimentar um copo plástico de um ponto a outro, figura 1; e para movimentar uma caixa de fósforos até uma esteira, tendo essa aplicação uma interação com um Controlador Lógico Programável (CLP), figura 2. Assim, se verifica a

necessidade de criar uma biblioteca com comandos básicos para o robô, visto que para as duas aplicações todo o código é iniciado do zero.



Figura 1 – Teste de movimento 1

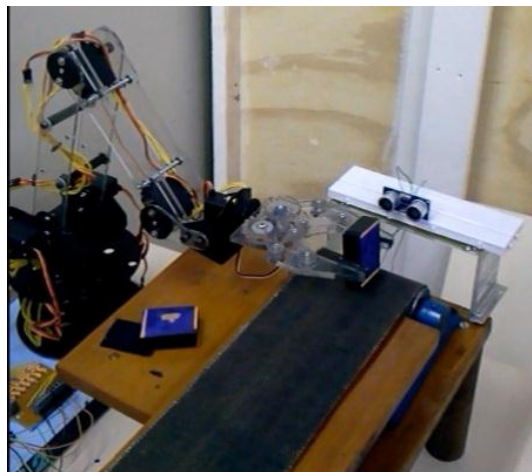


Figura 2 – Teste de movimento 2

A parte final trabalha com o controle do manipulador via equipamentos diversificados com tecnologia de transmissão wireless, como luva de controle, cuja tecnologia de transmissão é baseada no módulo XBee e protocolo ZigBee, e reconhecimento de movimentos gestuais através do dispositivo Kinect da Microsoft [Borenstein 2012], mostrados nas figuras 3 e 4 respectivamente.

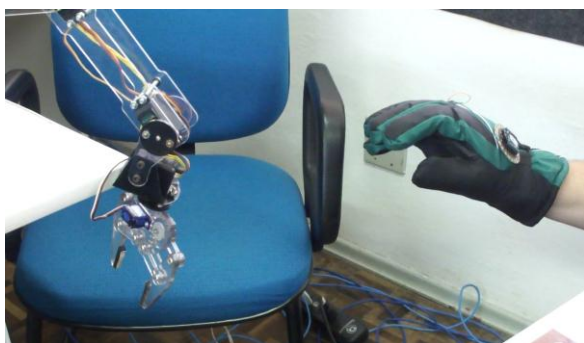


Figura 3 - Controle pela luva



Figura 4 - Controle via Kinect

Atualmente, é trabalhado no aperfeiçoamento do manipulador para a confecção de uma versão mais robusta e de um circuito de trabalho que utiliza uma esteira de transporte de maior proporção e sistemas de visão computacional que permitam que o robô reconheça as alterações do ambiente em que está inserido.

2. 1. Protótipos

Neste trabalho observa-se que o primeiro ponto a ser atingido é o desenvolvimento prático do experimento, visto que os trabalhos de robótica na maioria das universidades atendem somente ao aspecto teórico da sua área.

Na universidade onde se desenvolveu este projeto, havia um único manipulador robótico do tipo pórtico, que possui seus movimentos coincidentes com um sistema de coordenadas cartesiano, sendo seu acionamento por ar comprimido. Os movimentos desse manipulador são demasiadamente rápidos e bruscos, devido à característica compressiva do ar, funcionando por posições 0 e 1, ou seja, totalmente aberto ou totalmente fechado.

Com isso, o objetivo passa a ser a confecção de um robô antropomórfico, que possui um volume maior de trabalho e também uma mobilidade superior a de outros robôs manipuladores.

Muitos trabalhos já realizados na construção deste tipo de robô mostram somente o resultado, mas não como desenvolvê-lo. Devido a essa escassez de trabalhos explicativos torna-se meta do projeto, disponibilizar o passo a passo da confecção de um robô antropomórfico, para facilitar futuros trabalhos de outros pesquisadores.

Primeiramente, foi utilizado um protótipo de papelão, devido ao seu baixo custo. Então, estabelecidos movimentos básicos de acionamento de um controle remoto para movimentar outro robô, deve-se garantir a possibilidade de execução dos mesmos. Se uma estrutura de papelão não apresentar detrimentos, outro material, de maior resistência, faz o mesmo trabalho sem grandes problemas. Assim pôde ser montado o primeiro protótipo usando o acionamento de forma hidráulica com a utilização de seringas. A imagem deste protótipo é apresentada a seguir:



Figura 5 - Protótipo de papelão

Averiguada a possibilidade do movimento, principiam-se os testes com os motores. Utilizando motores-servo de 6 kg de torque, é necessário adaptar-se a essas configurações, empregando um material de maior resistência que o papelão. Portanto, criou-se um protótipo de madeira, que possui uma resistência maior e movimentos mais robotizados, visto que o controle passou a ser feito por placa Arduino [McRoberts 2011] e o acionamento por motores-servo. A escolha da placa Arduino deu-se por ser uma tecnologia que permite a interação com várias já existentes, sem ter problemas de compatibilidade de softwares. O Arduino também permite uma livre programação, sendo obedecidas as capacidades físicas e mecânicas do manipulador. A imagem a seguir mostra essa versão do robô:



Figura 6 - Protótipo de madeira

Através dos testes iniciais, que resultaram em inúmeros cálculos de torque, dimensionamento, tipo de material, capacidade dos motores, possibilidades de programação, pode-se prosseguir para uma versão mais audaciosa, que além de prática e de fácil manuseio, ao mesmo tempo é esteticamente apresentável.

Se utiliza nessa etapa de desenho, a ferramenta SolidWorks. Através desse software há a possibilidade de testar se o material escolhido suporta as cargas exigidas e o custo total do projeto, visto que essa ferramenta trabalha por peças e cada elemento é quantificado. Desse trabalho, resultaram dois manipuladores robóticos. O primeiro, após testes mostrou-se mecanicamente impossível, pois os motores não suportariam o peso do próprio robô, assim houve uma segunda versão corrigindo as falhas do robô anterior, o que resultou no manipulador robótico AJ12, que é mostrado a seguir:

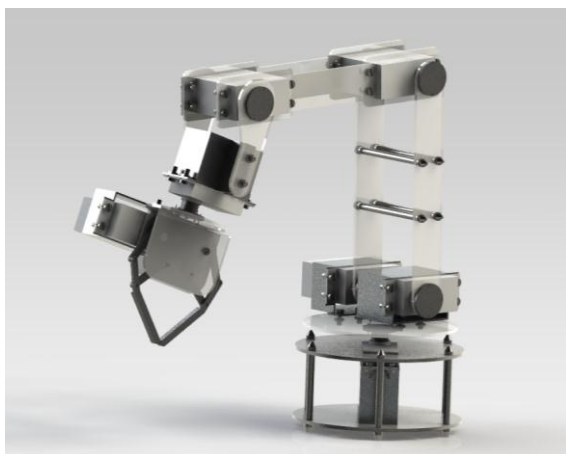


Figura 7 - Primeira versão em SolidWorks



Figura 8 - Segunda versão em SolidWorks

2.2. Construção e testes

Apesar do projeto do robô ter sido desenvolvido em Curitiba, a confecção de suas peças deu-se em outras cidades, pois, na região serrana, não há tecnologia suficiente para isso. Todas as peças do robô foram cortadas a laser, para garantir a confiabilidade das medidas. Porcas e parafusos, foram todos trocados, pois os definidos no projeto não eram encontrados no município e somente eles correspondiam a cerca de 10% do custo total.



Figura 9 - Peças para montagem de dois manipuladores AJ12

Da figura anterior, somente as peças de base foram utilizadas na montagem final do manipulador robótico, pois como foram fabricadas em metal, possuem um peso muito elevado, impossível para o trabalho de um servo de 6 kg de torque. Logo, o restante foi trocado por peças de acrílico e alumínio.

Durante a construção foi criado um tutorial de montagem para facilitar aos estudantes que queiram construir uma versão própria ou fazer modificações que porventura melhorem o desempenho do robô.

Após montado o robô verificou-se que ele não conseguiria executar os movimentos, pois os parafusos utilizados eram de um material mais pesado dos que foram estabelecidos em projeto.

O comprimento das peças não poderia ser alterado, o torque do motor é então elevado de 6 kg para 15 kg. Entretanto, ainda era pouco, um motor com um torque maior era inviável devido a seu custo proibitivo e dimensões físicas, logo a única variável que poderia ser alterada era sua massa. Sabendo que torque é, segundo Walker (2002), o produto da massa pela distância ($T = r.m$), este deveria ser menor que o torque do motor ($T < T_{\text{motor}}$). Os parafusos da garra foram trocados por arrebites de alumínio, de 11 arruelas diminuiu-se para 3, sendo uma delas de plástico; seu suporte passou de um alumínio com 3 mm de espessura para outro de 1 mm com perfurações extras. Com essas modificações o robô conseguiu movimentar-se com um raio de ação de 420 mm, mais que o suficiente para estudos acadêmicos de robótica.

Quanto aos testes de programação, servem para a verificação da quantidade de trabalho possível a ser realizado pelo manipulador e a integração com outras tecnologias.

Em um dos testes, figura 2, foi utilizado um CLP Siemens, onde foi realizada uma aplicação industrial em escala reduzida: o robô colocava uma caixa em uma esteira, que era acionada por um motor ligado ao inversor de frequência somente após a permanência da caixa na frente de um sensor ultrassônico por mais de 3 segundos. O sensor ultrassônico utilizado é o HC-SR04, capaz de realizar medições entre 2 cm. e 500 cm., com uma precisão de 3 mm. Após, a caixa ia até o final da esteira e voltava, nesse tempo o manipulador aguardava o seu retorno sem executar qualquer outro comando, seguindo o retorno da caixa, esta era retirada da esteira e terminava o programa. Todos os comandos da esteira eram feitos por um CLP que se comunicava com o robô via cabo. O processo somente iniciava se na Interface Homem-Máquina (IHM) do CLP fosse dado o comando de início. Durante o processo, na IHM surgiam mensagens como: caixa avançando, caixa retrocedendo, processo iniciado e processo finalizado.

Com esse teste verificamos que o aluno necessita conhecer o ambiente em qual o manipulador está inserido, procurando saber quais obstáculos devem ser evitados que possam danificar o equipamento. Com o auxílio de mais sensores poder-se-ia fazer uma programação mais dinâmica onde não é necessário programar uma rota específica, pois o robô desviaria de obstáculos com o auxílio desses sensores e escolheria uma rota diferente, este mesmo princípio é utilizado em empresas, mas ao contrário de executar uma nova rota, o robô simplesmente para seu processo a fim de evitar acidentes. A seguir é mostrado um exemplo de programação do manipulador robótico:

```
//INICIALIZAR SERVOS
mao.attach(8); giromao.attach(9); punho.attach(10); antebraço.attach(11); base.attach(12);

//SETAR POSIÇÃO INICIAL DOS SERVOS
mao.write(15); giromao.write(20); punho.write(60); antebraço.write(180); base.write(180);
}

//SUBIR ANTEBRAÇO E RECOLHER PUNHO
void sobeAntebraçoRecolhePunho(){
    antebraço.write(105);
    punho.write(180);
}

// GIRA A BASE E SE POSICIONA EM CIMA DA CAIXA
void giroBasePegarCaixa(){
    for(i = 180 ; i>=30 ; i--){
        base.write(i);
        delay(10);
    }
}
```

Figura 10 - Programação de teste

3. Descrição dos resultados

Em uma das aulas de Controlador Lógico Programável da Universidade do Contestado, onde o manipulador foi testado, verificou-se maior facilidade em aplicar conhecimentos de automação utilizando o CLP, visto que com o auxílio do robô foi possível fazer uma réplica de uma automação industrial de transporte de objetos.

O protótipo de madeira, Figura 6, foi apresentado em uma universidade de Caçador, aos alunos do Curso de Engenharia de Controle e Automação e serviu como incentivo para trabalhos desta instituição para a confecção de seu próprio manipulador, visto que muitas das dificuldades eram possíveis de serem analisadas com o protótipo de madeira o que facilita o trabalho para a construção de outros robôs. Devido à maior resistência da madeira, os testes de programação podem inicialmente ser executados neste protótipo para então, depois de aprovados, passarem para o manipulador definitivo, evitando-se assim danificar o equipamento.

Uma das grandes preocupações foi quanto à praticidade do AJ12, logo o mesmo é facilmente transportado e pode ser ligado diretamente na tomada convencional com tensão de 220V ou 110V. A seguir se apresenta a versão final do robô projetado:

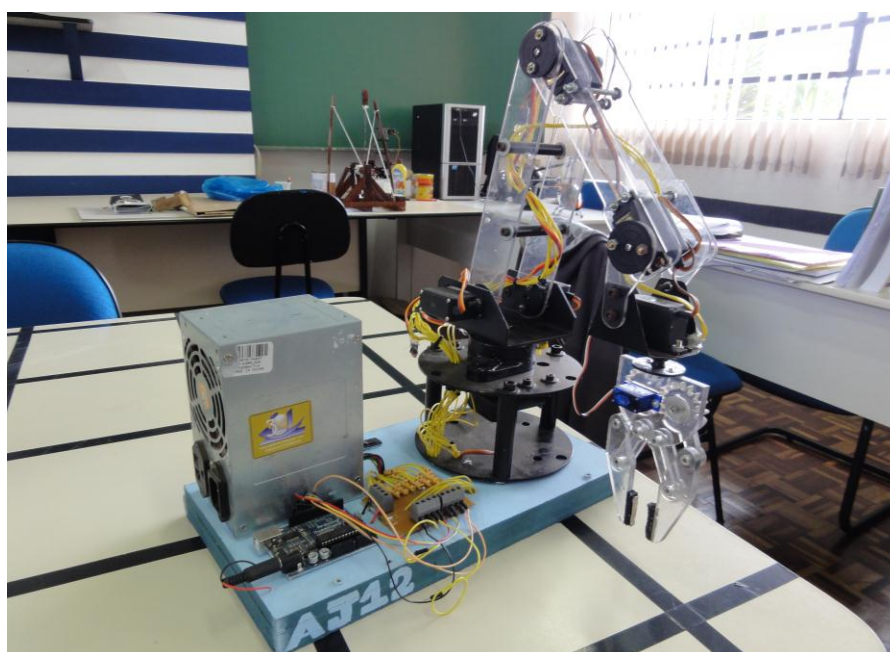


Figura 11 - Manipulador antropomórfico AJ12

4. Trabalhos futuros

Verificou-se com os testes de programação do robô, que este possui alguns melhoramentos ainda a serem efetuados, como: melhor estabilização dos movimentos, pois ainda há uma leve reação de inércia no braço quando ele se move rápido e para bruscamente; o mesmo tem leves vibrações devido às peças que foram removidas para diminuição da massa, o que não permite trabalhos precisos como, por exemplo, escrever algo em uma folha usando um pincel ou caneta.

Existe a meta de construir uma versão do manipulador robótico que consiga carregar mais peso e que tenha uma precisão de movimentos melhor, além da construção de sistemas de apoio do robô, como: esteira para um minicircuito, sensores para o autocontrole do manipulador e visão computacional, para que além de sentidos como tato e audição, o robô também consiga ver objetos e identificá-los. Uma visita ao SENAI de Joinville está prevista para troca de informações visto que eles possuem um sistema robótico mais desenvolvido.

O sistema de controle do manipulador ainda está nos estágios iniciais, mas mesmo assim permitiu a realização dos experimentos citados neste artigo. O controle atualmente é feito somente junta a junta, individualmente, e elas não podem ser atuadas em paralelo. A implementação do controle cinemático direto e inverso [Romano 2002] já está em andamento, o que fornecerá um duplo sistema de coordenadas ao robô, coordenadas 3D de mundo e coordenadas de ferramenta, como é normalmente encontrado em braços robóticos industriais. Também já estão sendo integrados ao manipulador sensores como *encoders*, capazes de fornecer *feedback* ao sistema de controle. Isso tornará possível a correção de posicionamento e orientação dos elos. Um sistema de geração de trajetórias também está sendo desenvolvido, o que permitirá ao manipulador realizar movimentos de forma mais suave e natural, sem acelerações e paradas bruscas.

Visando pessoas que tem problemas motores, trabalha-se em paralelo com sistemas de controle do robô via wireless como: uso da luva de controle, do Kinect e trabalhos com sistema de controle via Android. Esse tipo de estudo, permite fazer o controle do manipulador de outros locais, assim o mesmo numa versão melhorada poderia ser, por exemplo, controlado por um médico para uma cirurgia que exija uma precisão de corte na casa dos milésimos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao professor Sérgio Juarez Godoy, à professora Dr. Simone Rocha, aos acadêmicos de Engenharia de Controle e Automação Thiago Molin e Luiz Eduardo Fritz, ao Estado de Santa Catarina por conceder a bolsa do Art. 171 e a Fundação Universidade do Contestado que tornaram possível a realização deste projeto.

Referências

- Borenstein, G. (2012), “Making Things See”. Editora O’ Reilly Media.
- Capelli, A. (2012), Sensores na Automação Industrial: Sensores Ópticos, a Fibra Óptica, Sensores de Temperatura e Rede AS-I, *Mecatrônica Atual*, páginas 18-26.
- Capelli, A. (2004), Sistema Integrado da Manufatura, *Mecatrônica Atual*, páginas 33-34.
- McRoberts, M. (2011), “Arduino Básico”. Editora Novatec, São Paulo.
- Moura, J. L. (2004), Processos Industriais Usando Robôs, *Mecatrônica Atual*, páginas 32-35.
- Pazos, F. A. (2002), Robôs Manipuladores, *Mecatrônica Atual*, páginas 20-27.
- Romano, V. F. (2002), Robótica Industrial – Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processos, São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda.
- Vieira, S. (2006), Visão Artificial: Sistemas que Enxergam, *Mecatrônica Atual*, páginas 12-17.
- Walker, H. R. (2002), “Fundamentos de Física: Mecânica”. 6ª edição. Editora LTC.
- Wheat, D. (2011), “Arduino Internals”. Editora Apress.