

Desenvolvimento experimental para controle de força e posição de uma junta robótica

Experimental development for force and position control of a robotic joint

RESUMO

Alexandre da Cruz Policarpo
alexandredacruzpolcarpo@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

Fabian Andres Lara Molina
fabianmolina@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

Este trabalho apresenta um sistema para o controle de força e posição de uma única junta robótica tendo como atuador um motor de corrente contínua. No decorrer do trabalho será apresentado o método de identificação dos parâmetros físicos do motor de corrente contínua, e com base nesta na teoria, o sistema será classificado pela posição dos polos no plano S, e serão estimadas as constantes de controle. Através da lógica clássica e da lógica Fuzzy o controlador e seus parâmetros serão estipulados. A ferramenta Simulink será a interface para aquisição de dados na placa National Instruments PCI-6221 conectada ao servoamplificador, sensor encoder de efeito hall e ao sensor de corrente. Todos esses componentes serão utilizados no experimento para a validação da eficiência da estrutura de controle.

PALAVRAS-CHAVE: Mecânica. Robôs. Precisão.

ABSTRACT

This essay presents a system for force and position control of a single robotic joint with a direct current motor as actuator. During the essay, the method of identifying the physical parameters of the DC motor will be presented and based on theory. The system will be classified by the poles position on the S plane, and the control constants will be estimated. The Simulink tool will be the interface for data acquisition on the National Instruments PCI-6221 card connected to the servo amplifier, Hall effect encoder sensor and the current sensor. All these components will be used in the experiment to validate the efficiency of the control structure.

KEYWORDS: Mechanics. Robots. Accuracy.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

Robótica é campo tecnológico que engloba mecânica, eletrônica e computação. Tem como objetivo o estudo, análise e desenvolvimento de sistemas automáticos com máquinas, sistemas mecânicos e principalmente manipuladores robóticos. Ganhando força no século XX através do avanço tecnológico, houve aumento significativo da produtividade e da qualidade dos produtos industriais (Silva, Junior).

Os manipuladores robóticos são sistemas formados por elos interligados por eixos lineares ou rotacionais. Estes sistemas mecânicos apresentam fenômenos cinemáticos, estáticos e dinâmicos complexos, o que torna complicado a análise e, por fim, seu controle. Durante muito tempo, a robótica estava focada em atividades repetitivas que não exigissem pouca ou nenhuma interação com o ambiente externo (RAIBERT; CRAIG, 1981). Entretanto com o seu avanço se tornou cada vez mais necessário que o sistema seja capaz de lidar com erros e incertezas provocadas pelo ambiente em que esteja inserido.

O objetivo do presente trabalho é o controle de força e posição de uma única junta. A metodologia aplicada a essa junta poderá ser replicada nas demais para o controle de um manipulador mais avançado. Somente técnicas de controle de posição não resolvem os erros resultantes da interação do robô com o ambiente, surgindo a necessidade de utilizar as forças externas na concepção controlador. Utilizando de informações cedidas por sensores junto ao conhecimento da dinâmica que regem o manipulador ser, possível dar ao robô à capacidade de reação a força de contato (LOPES, 1999).

MATERIAL E MÉTODOS

Uma junta rotacional simples é formada por um motor de corrente contínua associada a uma caixa de engrenagens de redução. Um Motor de corrente contínua (CC) é uma máquina capaz de converter a corrente elétrica em movimento rotacional cinético. Um Motor por sua vez é um dispositivo formado pelo estator, rotor e armadura. A equação (1) descreve a relação matemática do funcionamento de um motor considerando as características físicas como a resistência de armadura r_a , indutância de armadura l_a , constante de força eletromotriz K_e e a tensão de armadura v_a .

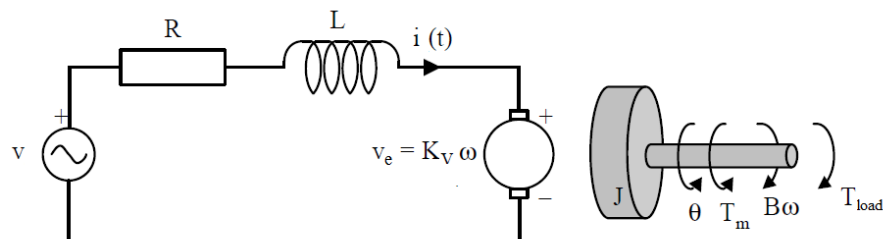
$$l_a \dot{i}_a + r_a i_a = v_a - k_e \dot{\theta}_m \quad (1)$$

A velocidade angular $\dot{\theta}_m$ varia diretamente proporcional a variação de corrente de armadura i_a . Considerando um campo magnético constante, o torque T será diretamente proporcional à corrente de armadura pelo fator constante do torque do motor K_t conforme a equação (2).

$$T_m = K_t i_a \quad (2)$$

A figura 1 representa o circuito elétrico do motor de corrente contínua.

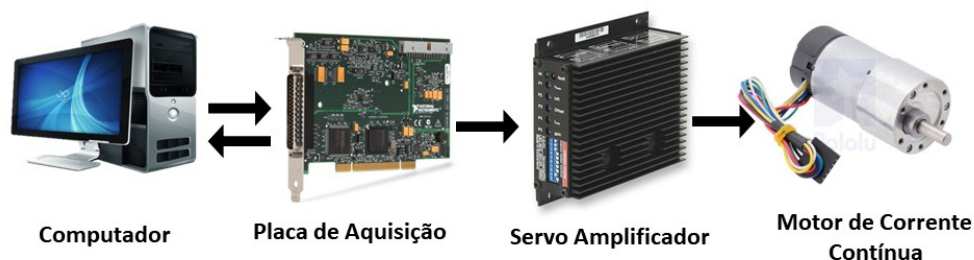
Figura 1. Circuito Motor de Corrente Contínua



Fonte: Autoria Própria

A ferramenta SIMULINK® será utilizada para a simulação da planta, concepção e sintonização do controle e seus coeficientes, interface para a placa de aquisição de dados PCI-6221. A placa de aquisição não terá potência para o funcionamento de um motor, por isso a placa controlará o motor por meio de um servoamplificador que adicionará um ganho proporcional do sinal. A figura 2 esboça o fluxo de informações entre o computador, a placa, o servoamplificador e o motor.

Figura 2. Esquema de ligação do experimento.



Fonte: Autoria Própria

Dependendo de cada aplicação, o manipulador realiza movimentos específicos, sendo importante formular leis de controle que permitem o desenvolvimento adequado de suas respectivas funções (Lara-Molina, 2014). Uma metodologia para parametrização de coeficientes confiáveis é o método dos mínimos quadrados. O método consiste em avaliar o conjunto de dados e adicioná-los em um conjunto de matrizes do modelo numérico. A equação (3) apresenta a matriz de valores desconhecidos e a equação (4) apresenta a matriz resultante com os valores que serão identificados.

$$Y = A\hat{X} \quad (3)$$

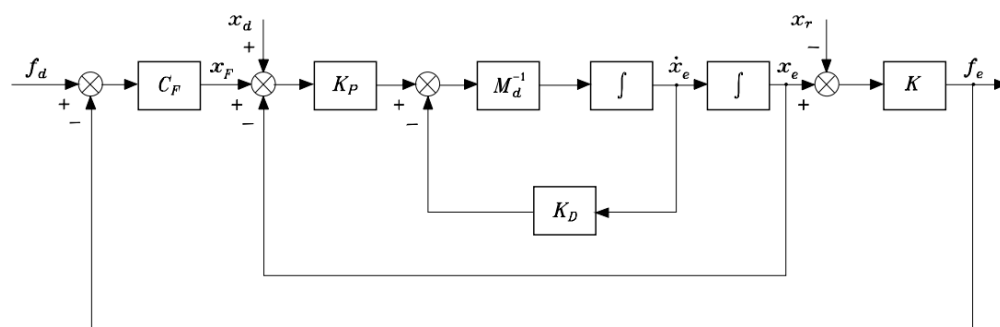
$$\hat{X} = (A' A)^{-1} A' b \quad (4)$$

Onde Y é o sistema linear, A é o conjunto de variáveis por meio das simulações, X é o conjunto de variáveis que serão calculados e b é o coeficiente angular, que nesse sistema será a entrada de corrente. O método dos mínimos quadrados será utilizado para encontrar parâmetros confiáveis para a constante de torque k_m , inércia do rotor J_e e constante de atrito viscoso B_m .

O controle de força e posição necessita das dinâmicas do erro de posição e força, o controle de posição é largamente utilizado para o controle de

manipuladores robóticos. O controle de força será responsável pelo reajuste do torque do motor durante uma iteração do sistema com o ambiente. Durante essa iteração a dinâmica da velocidade não será importante. Para o controle de força será utilizada a estrutura de controle da Figura 3, nessa estrutura de controle ambas as variáveis, posição angular e força, serão controlados (SICILIANO et al., 2010). Nessa estrutura teremos uma constante K_p e uma constante K_d , conectada em série e em loop com a inércia do rotor, respectivamente.

Figura 3. Controlador de Força e Posição.

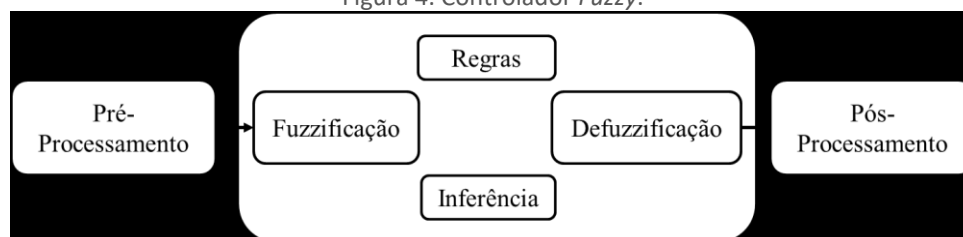


Fonte: Autoria Própria

O Controle *Fuzzy* segue a estrutura de lógica *Fuzzy* ou lógica nebulosa. A lógica *Fuzzy* é baseada na linguagem humana, é capaz de lidar com incertezas e imprecisões, possibilitando o processamento de informações qualitativas. A vantagem dessa linguagem está capacidade de trabalhar com incertezas e definições abstratas. A desvantagem consiste na classificação e definição de conjuntos (GOMIDE; GUDWIN, 1994).

Conjuntos *Fuzzy* são formados por elementos ou classificações com diferentes graus de pertinência, mesmo na presença de incertezas. Para utilizar da lógica *Fuzzy*, é necessário os processos de fuzzyficação e de defuzzyficação. A Figura 4 exemplifica um controlador *Fuzzy* com os processos de pré, pós-processamento e o controlador com um conjunto de regras e o processo de inferência.

Figura 4. Controlador *Fuzzy*.



Fonte: Autoria Própria

RESULTADOS E DISCUSSÕES

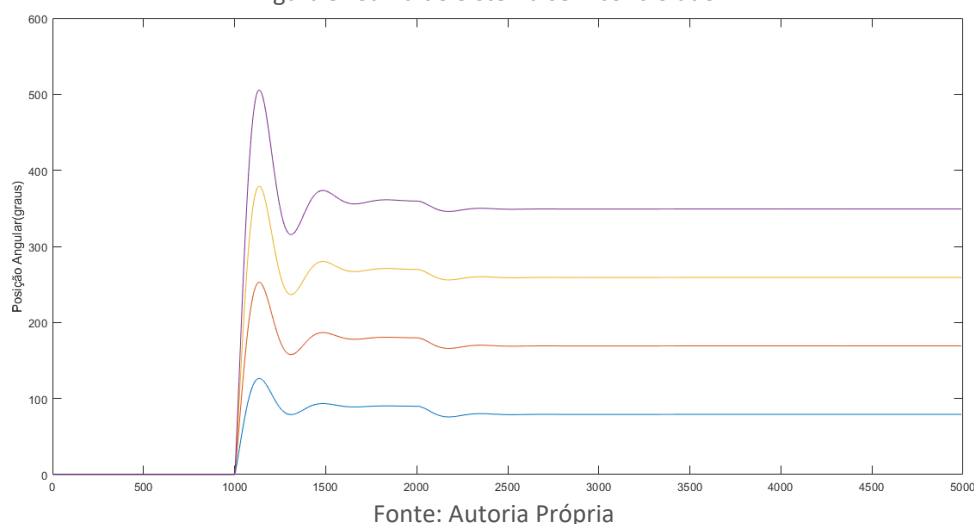
A identificação da planta é fundamental para o processo de sintetização de controle, um sistema só poderá ser controlado após a criação de um modelo

matemático. A biblioteca SIMSCAPE® será utilizada para a simulação das propriedades elétricas e mecânicas.

A saída desse sistema será a posição, velocidade e aceleração angular. O ganho de 1/50 representa a caixa de redução entre o motor e o rotor. Através da ferramenta “ident” foi elaborado o sistema da figura 3, sendo a entrada a corrente e a saída sendo a posição angular do rotor. O sistema de segunda ordem encontrado possui a relação entre a entrada pela corrente e a saída pela posição angular da junta.

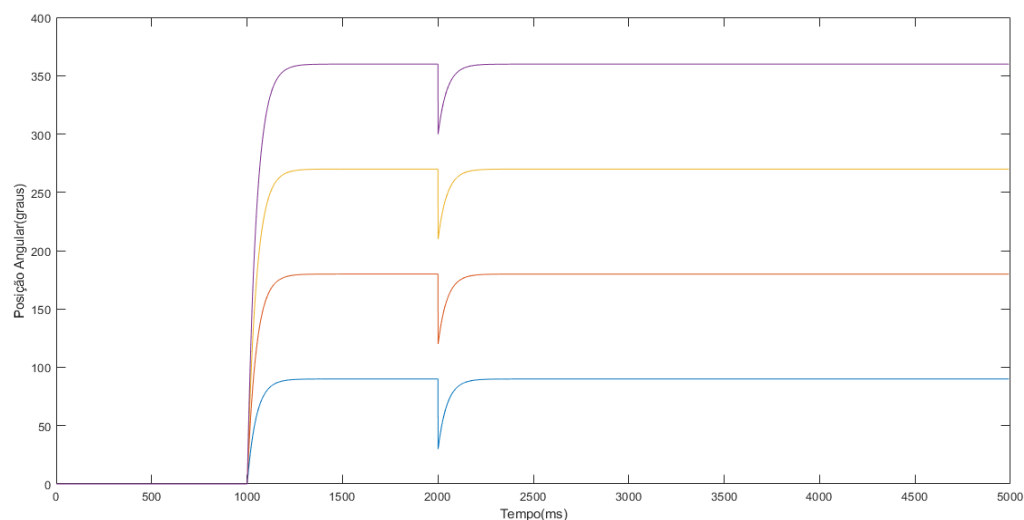
O sistema sem a estrutura do controle de força/posição e sofrendo um torque externo de 1N/m não consegue eliminar o erro estacionário provocado pelo ambiente. A figura 5 apresenta quatro curvas de diferentes posições angulares como referência ao sistema que recebem a mesma influencia do ambiente no instante de 2 segundos.

Figura 5. Curva do Sistema sem controlador.



O controlador PD no mesmo ambiente simulado anteriormente, neste aspecto o controlador consegue atingir a referência exigida pelo controlador como na Figura 6.

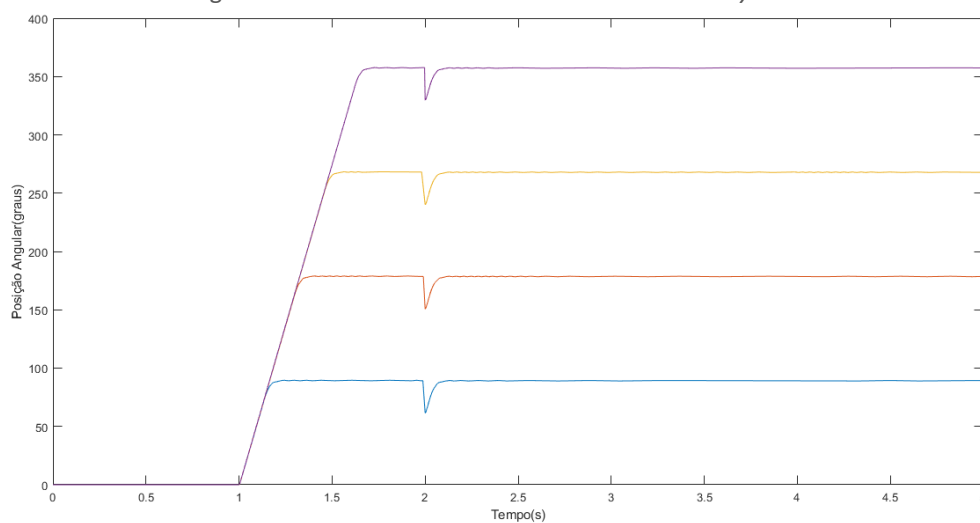
Figura 6. Curva do sistema com o Controlador PD.



Fonte: Autoria Própria

O controlador *Fuzzy* no mesmo ambiente anterior em que uma força externa sendo aplicada no instante de 2 segundos. A Figura 7 apresenta a curva do respectivo controlador, é possível observar que a curva do sistema se torna mais suave.

Figura 7. Curva do sistema com o Controlador *Fuzzy*.



Fonte: Autoria Própria

CONCLUSÃO

Esse projeto tem como objetivo desenvolvimento e análise de controladores de força e posição. Através das informações captadas pelos sensores de posição (sensor encoder) e força (sensor de força resistivo), o sistema terá a capacidade de reagir a forças do ambiente externo ao sistema e reajustar a saída para a referência. Inicialmente será analisado o controle de posição, após a identificação do sistema, foi possível fazer a simulação do sistema em malha fechada. A curva de resposta possui erro de sobressinal (overshoot) e chega ao valor de regime após aproximadamente 7 segundos.

A estrutura de controle de força e posição foi capaz de reagir perante a aplicação de uma força externa, através da realimentação da força superficial sendo aplicada a junta de rotação, ignorando a dinâmica de velocidade, os

controladores PD e Fuzzy tiveram resultados satisfatórios. O controle PD, instantes após a força aplicada, o controlador reajusta a saída para lidar com a nova dinâmica, levando em consideração as referências de posição angular e força. O controle Fuzzy foi usado para a substituição das dinâmicas das constantes Kp e Kd. Levando em consideração o alcance de cada entrada dessa constante, a lógica foi construída, desconsiderando a velocidade durante a aplicação de uma força externa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo fomento à pesquisa.

REFERÊNCIAS

AZENHA, A. J. G. de O. **Análise dinâmica e controle de forças em manipuladores robóticos**. 1998.

BORGES, I. d. P. C.; FURTADO, L. S.; GONÇALVES, R. S. **Dispositivo robótico para reabilitação da mão humana**.

COSTA, T. L. et al. **Identificação de parâmetros de um manipulador robótico utilizando o método dos mínimos quadrados**. Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2016.

CRAIG, J. J. **Robotics**. digital Encyclopedia of Applied Physics, American Cancer Society, 1989.

GOMIDE, Fernando Antonio Campos; GUDWIN, Ricardo Ribeiro. **Modelagem, controle, sistemas e lógica fuzzy**. SBA controle & Automação, v. 4, n. 3, p. 97-115, 1994.

LOPES, A. M. F. M. **Um dispositivo robótico para controle de força-impedância de manipuladores industriais**. 1999.

OLIVEIRA, A. S. d. et al. **Retrofitting de robôs manipuladores com incorporação de controle de posição e força: aplicação em um robô industrial**. Florianópolis, SC, 2007.

OTTONI, A. L. C. **Introdução à robótica**. Material de estudo. I ORCV Olimpíada de Robótica do Campo das Vertentes, Universidade Federal de São João del Rey, 2010.

RAHMAN, Mohd Azizi Abdul; MIZUKAWA, Makoto. **Model-based development and simulation for robotic systems with SysML, Simulink and Simscape profiles.** International Journal of Advanced Robotic Systems, v. 10, n. 2, p. 112, 2013.

RAIBERT, M. H.; CRAIG, J. J. **Hybrid position/force control of manipulators.** 1981.

SICILIANO, B. et al. **Robotics: modelling, planning and control.** [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2010.

SILVA, H. R.; JUNIOR, A. J. de S. **A robótica no ensino-aprendizagem nas aulas de matemática.**

UMANS, S. D. **Máquinas Elétricas de Fitzgerald e Kingsley-7.** [S.l.]: AMGH Editora, 2014.

VIDAL, T. S. et al. **Controle de força de uma junta robótica.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio.