

ESTUDO DA FOLGA PRESENTE NA TRANSMISSÃO MECÂNICA DE ROBÔS COM ACIONAMENTO ELÉTRICO¹

Angelo Fernando Fiori², Ismael Barbieri Garlet³, Antonio Carlos Valdiero⁴, Luiz Antonio Rasia⁵, Leonardo Bortolon Maraschin⁶.

¹ Resultados parciais da dissertação de mestrado em Modelagem Matemática

² Bolsista CAPES, mestrando em Modelagem Matemática

³ Bolsista voluntário, acadêmico do curso de graduação em Engenharia Mecânica

⁴ Orientador, professor do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, líder do grupo de pesquisa “Projeto em Sistemas Mecânicos, Mecatrônica e Robótica”

⁵ Co-orientador, professor do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, líder do grupo de Pesquisa “Projeto em Sistemas Mecânicos, Mecatrônica e Robótica”

⁶ Bolsista CAPES, Mestrando em Modelagem Matemática

Introdução:

O presente trabalho descreve o estudo e a modelagem matemática da não-linearidade da folga presente na transmissão mecânica de robôs Gantry com acionamento por motorreductores de corrente alternada e transmissão por fuso de esferas.

A utilização de robôs do tipo Gantry para este estudo se deve ao fato de serem empregados em diversas áreas na execução de diversas funções, destacando-se as funções de guincho robô, máquinas de corte laser e usinagem CNC. Segundo Shang e Cong (2014) as principais vantagens são: produtividade, qualidade, segurança e adaptabilidade. Os robôs do tipo Gantry são os mais robustos segundo Paatz (2008), sendo compostos de juntas prismáticas, com eixos perpendiculares, implicando no desacoplamento cinemático o que facilita sua programação e é segundo Zhang et al (2013), decisivo nos efeitos do acionamento, os quais são cruciais para a modelagem dinâmica por afetar as características dinâmicas do sistema de alimentação da máquina-ferramenta o que depois influenciará significativamente na qualidade final. A escolha da transmissão depende da potência e do tipo de movimento do robô, podendo variar das engrenagens até correias e cabos. O acionamento de tais transmissões se dá através de sistemas pneumáticos, hidráulicos e elétricos ou mesmo pela combinação destes.

Para desempenhar os movimentos o robô se desloca através das barras a partir de um torque gerado por um motorreductor ligado a um motor AC. A ligação entre a barra guia e o motorreductor se dá através de acoplamento elástico que permite desalinhamentos. Os movimentos de torque são aplicados a partir de sinais gerados e controlados a partir da placa de aquisição e controle dSPACE DS 1102 por comando do Simulink/MatLab®. Esta mesma placa recebe os dados de encoders incrementais acoplados nas extremidades de cada fuso e dos transdutores de deslocamentos, através

Modalidade do trabalho: Ensaio teórico

Evento: XIX Jornada de Pesquisa

dos quais (encoders e transdutores), segundo Douat et al (2014), é possível aumentar a precisão em robôs paralelos com dois graus de liberdade pela possibilidade de reprogramação e compensações. Entretanto vários fatores afetam negativamente a utilização de robôs, os quais estão especialmente ligados a questões mecânicas (como transmissões) e físicas (como o atrito e a folga). Tais fatores são, em geral, não-linearidades que podem ser descritas e analisadas matematicamente através de modelos, de forma a compreender e melhorar processos. Tem-se por objetivo com este estudo a descrição da folga enquanto característica não-linear, a partir da qual seja possível a elaboração de algoritmos de compensação e de controle da posição mais eficientes contribuindo para a mecanização de baixo custo.

Metodologia:

Este artigo classifica-se enquanto pesquisa descritiva exploratória, com base nos objetivos e em relação ao seu modelo conceitual e operativo como pesquisa bibliográfica.

As características das não-linearidades descritas estão presentes modelagem de um robô Gantry com transmissão mecânica tipo fuso de esferas e acionamento por motor elétrico trifásico tipo motorreductor de corrente alternada considerando-se como entrada do sistema o torque motor T_m . Tal robô é constituído seguindo as especificações técnicas dos fabricantes possuindo dois graus de liberdade com as mesmas características constitutivas e sendo utilizada a infraestrutura disponível no Câmpus Panambi da Unijuí para a realização deste estudo. O estudo prevê a realização de testes experimentais, utilizando-se uma bancada instrumentalizada composta por um microcomputador interligado a uma placa dSPACE 1104 responsável pela captura e armazenagem dos dados, a qual utiliza a integração dos softwares Matlab/Simulink e ControlDesk, ambos disponíveis no Núcleo de Inovação em Máquinas Automáticas e Servo Sistemas (NIMASS) instalado no Câmpus Panambi.

Resultados e Discussões:

Sistemas físicos são inevitavelmente compostos por não-linearidades (SLOTINE e LI, 1991). Sendo assim, os modelos que descrevem as dinâmicas da junta prismática para a folga são além de não-lineares, dinâmicos e determinísticos, para os quais serão adotadas como hipóteses simplificadoras as seguintes condições: a folga (backlash) é constante em toda a extensão do fuso, não sendo considerada a folga devido ao uso do sistema; o atrito é viscoso e ocorre durante os deslocamentos angulares do eixo e também dos movimentos lineares da massa deslocada; e não será considerado o atrito dinâmico; os elementos da transmissão são corpos rígidos (se despreza a elasticidade).

Como a modelagem se dará no sistema de transmissão motor-reductor-acoplamento-fuso-castanha, tem-se a formulação dos modelos matemáticos da junta prismática por fuso através do método Newton-Euler, como descrito em Sciavicco e Siciliano (1996), a partir do equilíbrio dinâmico no diagrama de corpo livre do eixo-fuso e da porca-massa deslocada.

A junta prismática do tipo fuso transforma rotações em translações. O modelo para tal junta em um robô Gantry pode ser obtido através do método de Newton-Euler (onde cada corpo rígido é considerado separadamente, a representação cinemática é dada por matrizes de rotação e vetores de

Modalidade do trabalho: Ensaio teórico

Evento: XIX Jornada de Pesquisa

posição e as equações de movimento são recursivas) a partir do equilíbrio dinâmico no diagramas de corpo livre do eixo-fuso e da massa deslocada Assim, pela lei do equilíbrio dinâmico, tem-se que o somatório dos torques é igual momento de inércia vezes a derivada segunda do ângulo de giro. Ou seja, um torque do motor aplicado no fuso e dois torques de resistência contrários ao torque (torque de atrito e o torque devido à força de reação da massa deslocada sobre o fuso) produzem um deslocamento angular resultante (ângulo de giro do fuso). Logo,

$$J\ddot{\theta}_m + B_\theta\dot{\theta}_m = T_m - \frac{F_u p}{2\pi}$$

Equação 1

Onde J é o momento de inércia do eixo motor (kgm²); Teta(m) é o ângulo de giro do fuso (rad); B (teta) é o coeficiente de atrito viscoso do eixo do motor (Nms); Tm torque do motor (Nm); Fu é a força de reação da massa mola deslocada (Nm) e p é o passo do fuso (m/rad). De modo semelhante, aplicando-se a lei de equilíbrio dinâmico a partir do diagrama de corpo livre, podem-se deduzir as equações do movimento linear da massa. Assim, considerando o somatório das forças atuantes na massa, tem-se que o somatório das forças é igual a massa vezes a derivada segunda do deslocamento. Obtém-se:

$$M\ddot{y} + B_y\dot{y} = F_u$$

Equação 2

Onde M é a massa deslocada sobre o eixo-fuso (kg); y é o deslocamento linear da junta prismática (m); Fu é à força de reação da massa mola deslocada (Nm) e By é o coeficiente de atrito viscoso da massa (Nm). Se não houvesse a não-linearidade da folga no sistema dinâmico, ela seria descrita através da relação entre o deslocamento linear e o giro do fuso.

Para a existência da folga, se pode fazer um acoplamento cinemático das equações (1) e (2) através da equação (3).

$$y = \begin{cases} m(\theta_m(t) - c_l) & \text{se } \theta_m(t) \leq v_l \\ m(\theta_m(t) - c_r) & \text{se } \theta_m(t) \geq v_r \\ y(t-1) & \text{se } v_l < \theta_m(t) < v_r \end{cases}$$

Equação 3

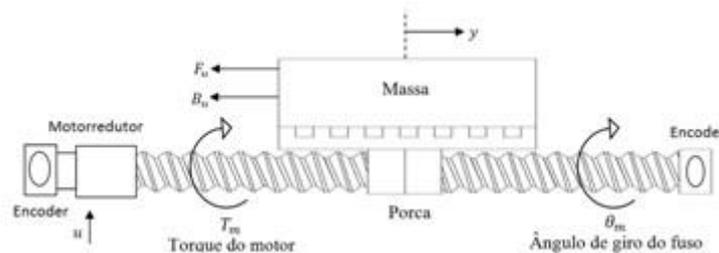
onde m , $c_l (< 0)$ e c_r são os parâmetros constantes da não-linearidade de folga no fuso, e as expressões de v_l e v_r são dadas pelas equações (4) e (5).

$$v_l = \frac{y^{(r-1)}}{m} + c_l$$

$$v_r = \frac{y^{(l-1)}}{m} + c_r$$

Equações 4 e 5

O esquema a seguir representa os modelos de folga (1) e (2).



Forças atuantes na dinâmica da porca

Da equação (8) da não-linearidade de folga, escrita na forma discreta, nota-se que o efeito da folga aumenta a ordem do sistema para quatro, impossibilitando o acoplamento da equação ordinária de segunda ordem, equação (3), que descreve a dinâmica do movimento angular do fuso, com a equação ordinária de segunda ordem, equação (6), que descreve a dinâmica do movimento linear da massa-porca.

Este modelo será generalizado para os dois graus de liberdade de modo a se chegar a uma equação matricial.

Conclusões:

Este trabalho apresentou a descrição de uma das não-linearidades presentes na transmissão mecânica de robôs Gantry acionados eletricamente. O robô será utilizado em testes experimentais para identificação de não-linearidades presentes na dinâmica, tais como a folga na transmissão mecânica e o atrito (caso significativo). Espera-se que este trabalho contribua em esquemas de compensação das não-linearidades e o controle e preciso de robôs além de contribuir para a

Modalidade do trabalho: Ensaio teórico
Evento: XIX Jornada de Pesquisa

robotização de baixo custo em tarefas insalubres e perigosas. Como perspectivas futuras tem-se a validação do modelo matemático do robô e dos testes experimentais de estratégias de controle.

Palavras-Chave:

Robô Gantry; Modelagem Matemática; Não-linearidades

Agradecimentos:

Ao apoio financeiro da CAPES e do CNPq na forma de bolsas de produtividade, de mestrado e de iniciação científica, à estrutura laboratorial e pessoal do Câmpus Panambi da Unijuí.

Referências Bibliográficas:

DOUAT, L. R.; QUEINNEC, I.; GARCIA, G.; MICHELIN, M.; PIERROT, F.; TABOURIECH, S.. Identification and Vibration Attenuation for the Parallel Robot Par2. IEEE Transactions On Control Systems Technology, Vol. 22, No. 1. 2014.

PAATZ, S. Anatomy of a Robot. Engineering & Technology. p.42-44. 2008.

SCIAVICCO, L.; SICILIANO, B.. Modeling and Control of Robot Manipulators. McGraw-Hill: Singapore, 1996.

SLOTINE, J.J.E.; LI, W.. Applied Nonlinear Control. Prentice Hall: New Jersey, 1991.

SHANG, Weiwei; CONG, Shuang. Motion Control of Parallel Manipulators Using Acceleration Feedback. IEEE Transactions On Control Systems Technology, Vol. 22, No. 1, January 2014.

ZHANG, H.; ZHAO, W.; ZHANG, J.; LIU, H.. Research on the Modeling of Dynamics for Vertical Axis Ball Screw Feed System. IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing (ISAM). p. 208-213. 2013.