

DESAFIOS DA MODELAGEM MATEMÁTICA DE UM ROBÔ GANTRY COM ACIONAMENTO PNEUMÁTICO¹

**Leonardo Bortolon Maraschin², Antonio Carlos Valdiero³, Luiz Antonio Rasia⁴, Angelo
Fernando Fiori⁵.**

¹ Pesquisa Institucional desenvolvida no Departamento de Ciências Exatas e Engenharias (DCEEng/UNIJUI), pertencente ao Grupo de Pesquisa “Projeto em Sistemas Mecânicos, Mecatrônica e Robótica.

² Aluno do curso de Mestrado em Modelagem Matemática da UNIJUI, bolsista da CAPES, leonardo.maraschin@unijui.edu.br.

³ Professor Doutor do DCEEng/Unijuí, orientador, líder do Grupo de Pesquisa “Projeto em Sistemas Mecânicos, Mecatrônica e Robótica”, valdiero@unijui.edu.br.

⁴ Professor Doutor do DCEEng/Unijuí, co-orientador, líder do Grupo de Pesquisa “Projeto em Sistemas Mecânicos, Mecatrônica e Robótica”, rasia@unijui.edu.br.

⁵ Aluno do Curso de Mestrado em Modelagem Matemática da UNIJUI, bolsista da CAPES, an@unochapeco.edu.br.

Introdução

Este trabalho trata da sistematização dos desafios presentes na modelagem matemática de um robô pneumático de estrutura cinemática do tipo Gantry com acionamento pneumático. Utilizando-se a modelagem matemática, pode-se visualizar e compreender o comportamento dinâmico do robô, dessa forma é possível prever os movimentos do efetuador final, segundo Ferruzzi (2003) e com isso pode-se evitar acidentes por causa de erros de trajetória ou de falhas no manipulador. Aplicando a modelagem nos projetos a humanidade teve um grande avanço tecnológico, pois foi possível diminuir os gastos e obter maior produção em série de produtos tais como microcomputadores, veículos e diversos outros bens de consumo.

Conforme Alfaro (2006), um robô é um dispositivo autônomo ou semi-autônomo que realiza trabalhos de acordo com um controle humano, controle parcial com supervisão, ou de forma autônoma. Ele foi criado de principio para desempenhar funções perigosas e danosas para as pessoas, mas com o avanço da ciência, atualmente realiza atividades mais complexas com maior precisão e rapidez.

Os robôs podem ser classificados em: móveis, manipuladores e a combinação destes últimos dois. Sendo que um robô industrial é um manipulador, com propósito geral, constituído estruturalmente de vários segmentos mecânicos rígidos ligados em série por juntas e tendo na extremidade uma garra ou ferramenta, conforme Valdiero (2012). Com ele as indústrias puderam automatizar algumas linhas de produção, com isso diminuíram o tempo de fabricação dos produtos e

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

melhoraram a qualidade dos produtos. Os cinco tipos principais de braços em robótica de manipulação são: cartesiano (onde se caracteriza o tipo especial chamado Gantry), cilíndrico, polar, revolução e SCARA, segundo Silva (1999).

Existem várias vantagens de utilizar o robô com braço cartesiano, também chamado de Gantry, entre elas estão o aumento da produtividade, a maior qualidade do produto final, a segurança das pessoas, além de serem facilmente adaptáveis para grandes dimensões. Este tipo de robô é muito empregado em diversas áreas da indústria, sendo bastante usado na manipulação de cargas, nas máquinas de corte a laser e na usinagem CNC (Computer Numeric Control).

Conforme Bavaresco (2007), os atuadores ou acionadores podem ser distribuídos em: pneumáticos, óleo-hidráulicos, hidro-hidráulicos, elétricos rotativos (DC e DA), elétricos lineares. As vantagens do sistema pneumático são facilidade para transporte em tubulações, facilidade de armazenamento por serem compressíveis em reservatórios, além de matéria prima não poluente, observando Vale (2011).

Este trabalho tem como objetivos mostrar os desafios da modelagem matemática do comportamento dinâmico de um robô Gantry com três graus de liberdade acionado por atuadores pneumáticos para ser utilizado em processos de lixamento. Estes desafios são tratados como não linearidades matemáticas e representam imperfeições construtivas do robô e também dinâmicas complexas.

Metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho compõe-se das etapas de revisão bibliográfica, descrição da bancada experimental, explicação dos desafios da modelagem matemática de um robô Gantry com acionamento pneumático com sínteses das equações envolvidas. Para realizar essa pesquisa foi usada a infraestrutura disponível na UNIJUI nos Câmpus de Pânambi e Ijuí, principalmente o Núcleo de Inovação em Máquinas Automáticas e Servo Sistemas (NIMASS).

Resultados e Discussão

O robô Gantry, conforme figura 1, utilizado nesta pesquisa foi construído em uma estrutura do tipo pórtico, com três graus de liberdade, sendo que as juntas são prismáticas e ainda tem uma servoválvula de controle direcional para cada cilindro pneumático de dupla ação. Para manter o ar comprimido limpo e lubrificado na bancada experimental é utilizado uma unidade de conservação.

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



Figura 1. Robô Gantry.

O protótipo está conectado a uma estação de trabalho, mostrado na figura 2, composto de placa alemã dSPACE DS 1104, que está integrada a um microcomputador. Essa placa citada recebe os sinais analógicos dos sensores de pressão e dos sistemas transdutores lineares, após isso envia sinais digitais para as válvulas direcionais proporcionais que liberam a passagem do ar comprimido, com isso controla-se o avanço e recuo dos cilindros pneumáticos e assim a posição final da ferramenta.



Figura 2: Estação de trabalho.

As não linearidades do comportamento dinâmico do robô com acionamento pneumático causam perda de eficiência na sua trajetória, sendo que os efeitos do atrito, a vazão mássica na servoválvula e a zona morta, e são os principais desafios da modelagem matemática deste sistema.

Conforme Valdiero (2012) a representação do fenômeno de atrito utiliza-se o modelo Luge juntamente com o modelo dinâmico de um manipulador acionado pneumaticamente, conforme equação (1):

$$H^*(d)\ddot{d} + C^*(d, \dot{d})\dot{d} + \tau_{\text{atr}}(d, \dot{d}, z_{\text{atr}}, \dot{z}_{\text{atr}}) + G^*(d) = \bar{J}^T f_p \quad (1)$$

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

Sendo que $H^*(d)d''$ é a matriz de inércia modificada, $C^*(d,d')d'$ é matriz de Coriolis modificada, letra grega tau atr (d, d', z_{atr}, z_{atr}') é o vetor de torques devido à força de atrito nos atuadores, $G^*(d)$ é o vetor de torque gravitacionais modificado, JT (com traço acima) é definida como a matriz Jacobiana do atuador e f_p é a força pneumática nos atuadores.

A dinâmica do vetor de estados internos do atrito (z_{atr}) pode ser escrita na forma matricial conforme a equação (2):

$$\dot{z}_{atr} = h_{atr}(d, \dot{d}, z_{atr}) \quad (2)$$

Onde $h_{atr}(d, d', z_{atr})$ é o vetor cujos elementos são funções que representam a dinâmica do estado interno z_{atr} do atrito em cada atuador i .

O vetor da taxa de variação da força pneumática pode ser escrito, conforme equação (3):

$$\dot{f}_p = f_q(d, \dot{d}) + g_u(d, p_a, p_b, u) \quad (3)$$

Sendo $f_q(d, d')$ e $g_u(d, p_a, p_b, u)$ são vetores cujos elementos são funções que representam respectivamente as parcelas da dinâmica pneumática.

O modelo do manipulador robótico acionado pneumaticamente descrito pelas equações (1), (2) e (3), podem ajudar no controle dinâmico neste tipo de robô.

Sendo que o modelo dinâmico do manipulador acionado pneumaticamente, incluindo a dinâmica do atrito, é descrito pelo conjunto de equações não lineares de quinta ordem, em que a ordem total do sistema é $5n$ e pode ser representado pelo vetor de estado $[d \ d' \ z_{atr} \ p_a \ p_b]T$.

Conclusões

Através deste trabalho foram mostrados os principais desafios da modelagem matemática de um robô Gantry com acionamento pneumático, bem como as equações que podem ajudar no controle do comportamento dinâmico deste manipulador citado. Com esta pesquisa pretende-se contribuir com a modelagem matemática de um protótipo acionado pneumaticamente e para a robotização de

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

baixo custo em tarefas insalubres e perigosas, tal como o manuseio de peças numa indústria e tarefas de polimento. Como perspectivas futuras a validação do modelo matemático será óbito através comparação da simulação computacional com os testes experimentais realizados na bancada.

Palavras-chave: robótica, comportamento dinâmico, controle.

Agradecimentos

Os autores são agradecidos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado, o apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, à Fundação de Amparo a Pesquisa do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelas bolsas de iniciação científica e desenvolvimento tecnológico, à UNIJUÍ pelo apoio e incentivo na realização da pesquisa, além da infraestrutura do Núcleo de Inovação em Máquina Automáticas e Servo Sistemas (NIMASS), implantado com recursos provenientes do SEBRAE e do FINEP/SEBRAE/MCT, num convênio de interação Universidades-Empresas do Arranjo Produtivo Local Metal-Mecânica, e modernizado recentemente com o apoio financeiro da CELPE (Companhia Energética de Pernambuco) por meio de um projeto de pesquisa aplicada no âmbito do Programa de P&D da ANEEL.

Referências Bibliográficas

- ALFARO, Sadek C. Absi. Robôs em projetos tecnológicos. Anais da 58ª Reunião Anual da SBPC. Florianópolis, 2006.
- BAVARESCO, Delair. Modelagem Matemática e Controle de um Atuador Pneumático. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) – UNIJUÍ, Ijuí, 2007.
- FERRUZZI, Elaine Cristina. A Modelagem Matemática como estratégia de ensino e aprendizagem do Cálculo Diferencial e Integral nos Cursos Superiores de Tecnologia. Dissertação de Mestrado, CEFET- UFSC, 2003.
- SILVA, Joaquim Noberto Cardoso Pires, Realização de Controlo de Força em Robôs Manipuladores Industriais. Tese de Doutorado, DEMUC-UC, 1999.
- VALDIERO, Antonio Carlos. Modelagem Matemática de Robôs Hidráulicos. Ijuí: Ed. Unijuí, 2012.
- VALE, Valentina Alessandra Carvalho. Controle de Posição de um Robô Cartesiano por meio de Técnicas Adaptativas. Dissertação de Mestrado, CT-UFPB, 2011.