



CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



MODELAGEM MATEMÁTICA DE UM ROBÔ GANTRY PARA APLICAÇÃO EM ESTUFAS AGRÍCOLAS

Felipe Oliveira Bueno

Bolsista de Iniciação Científica - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul
Felipeob127@yahoo

Marcia Regina Maboni Hoppen Porsch

Doutoranda Modelagem Matemática - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul
marcia_porsch@hotmail.com

Paulo Flores

Mestrando Modelagem Matemática - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul
Paulo-flores@bol.com

Luiz Antonio Rasia

Professor/Pesquisador Modelagem Matemática - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul
rasia@unijui.edu.br

Antonio Carlos Valdiero

Professor/Pesquisador Modelagem Matemática - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul
valdiero@unijui.edu.br

Resumo. *Este trabalho apresenta a modelagem matemática de um robô Gantry com acionamento pneumático para aplicação em estufas agrícolas. A agricultura de precisão e a robótica vivenciam na atualidade grandes avanços tecnológicos. Por meio de movimentos variáveis programados para o desempenho de uma variedade de tarefas, um robô Gantry foi desenvolvido para diversas atividades em estufa agrícola como alternativa de baixo custo para o aumento da produtividade, servindo também como plataforma de testes e verificação de modelos matemáticos e de estratégias de controle. A principal contribuição deste trabalho é o estudo e a formulação da modelagem matemática do robô Gantry. Como perspectivas futuras, tem-se a determinação de parâmetros, validação do modelo matemático do robô e os testes*

experimentais de estratégias de controle.

Palavras-chave: *Robô Gantry. Modelagem Matemática. Estufa Robotizada.*

1. INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão, conforme Valdiero *et al.* [1], é uma forma de gerenciamento agrícola das etapas de produção de culturas, que permite a aplicação e a integração modular das mais diversas tecnologias inovadoras para o tratamento das culturas, desde que se conheça a variabilidade espacial dos fatores determinantes da produtividade.

A robótica na agricultura não é um conceito novo; em ambientes controlados, tem uma história de mais de 20 anos, a pesquisa tem se concentrado no desenvolvimento de colheitadeiras para tomates cereja, pepinos, cogumelos e outras

frutas, também foram introduzidos para a colheita de citrinos e maçãs [2].

A colheita de frutas é o que se tem de mais complexo em termos de automação economicamente viável, avanços na automação das operações industriais vem servindo de inspiração no desenvolvimento de robôs para varias tarefas agrícolas [3] Dong *et al.* [4] elaborou e implementou um sistema de controle para guiar a plataforma de um robô agrícola autônomo, voltado para colheita de aspargos.

O AgriBot, robô desenvolvido por Amer *et al* [2], é um protótipo implementado para a realização de diversas tarefas como sementeira, capina, pulverização de fertilizantes e inseticidas. Batista [5], desenvolveu um robô gantry irrigador multifuncional de baixo custo para agricultura familiar, com sistema de pneumático de atuadores, capaz de interagir em um plano tridimensional

Dessa forma, o presente trabalho apresenta a modelagem matemática de um robô Gantry composto de juntas prismáticas acionadas por atuadores pneumáticos para aplicação na agricultura de precisão em canteiros de estufa, como alternativa de baixo custo.

Na seção seguinte está a descrição do protótipo em desenvolvimento, na seção 3 desenvolve-se a modelagem matemática do robô tipo Gantry. Na seção 4 tem-se a conclusão. Por fim, apresentam-se os agradecimentos e as referências.

2. DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO

Nesta seção apresenta-se a descrição do protótipo em desenvolvimento, o robô cartesiano com acionamento pneumático que será utilizado como aplicação na agricultura, construído em uma estrutura fixa do tipo Gantry, com três graus de liberdade de juntas prismáticas, e é composto por u servoválvulas de controle direcional para cada cilindro pneumático.

Cada junta é acionada por um atuador pneumático composto de uma servoválvula

de controle e um cilindro pneumático, conforme mostrado no circuito da Figura 1 e Tabela 1. Os dois primeiros atuadores são formados de cilindros simétricos e sem haste, e o terceiro atuador pneumático é de dupla ação e com haste simples, possuindo em sua extremidade o efetuator final onde pode-se montar uma ferramenta de trabalho ou garra robótica.

Figura 1. Projeto do Robô Gantry com três graus de liberdade e acionamento pneumático: (a) destaque para a estrutura do robô; (b) parâmetros de D-H para o robô gantry.

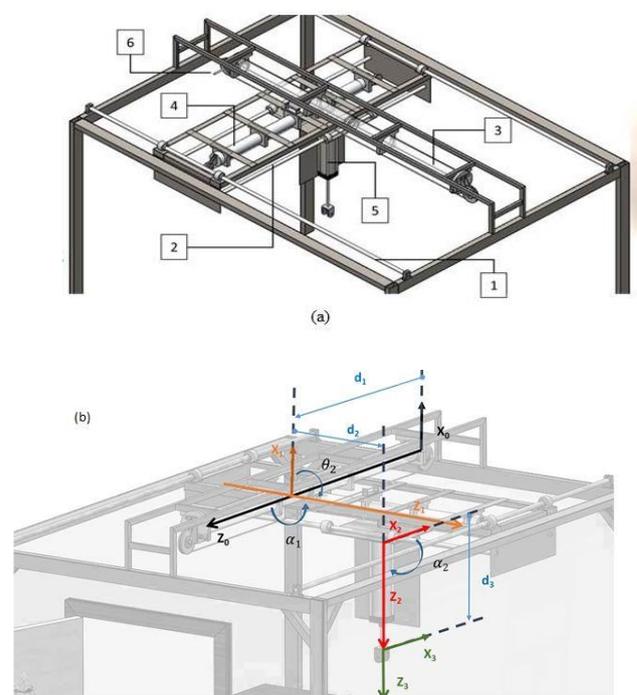


Tabela 1. Especificações dos componentes do protótipo.

Item	Componente
1	Guia
2	Guia
3	Cilindro pneumático sem haste
4	Cilindro pneumático sem haste
5	Cilindro pneumático com haste
6	Encoder

O protótipo está sendo desenvolvido em escala reduzida numa bancada disponível no

Núcleo de Inovação em Máquinas Automáticas e Servo Sistemas (NIMASS) da UNIJUÍ Campus Panambi com apoio financeiro do FINEP na Chamada Pública MCTI/FINEP/CT-INFRA - PROINFRA - 02/2014 - Equipamentos Multiusuários, Ref.: 0141/16, no subprojeto de título “Desenvolvimento de Soluções Mecatrônicas para Agricultura de Precisão”.

3. MODELAGEM MATEMÁTICA

A modelagem matemática é a área do conhecimento que estuda a simulação de sistemas reais a fim de prever o comportamento dos mesmos, sendo empregada em diversos campos de estudo.

A cinemática como uma ciência que trata os movimentos sem considerar as forças que os causam. Para descrever a posição e a orientação de um corpo no espaço, é necessário fixar um sistema de coordenadas para esse corpo. A definição dos sistemas de coordenadas de referencia dos elos, pode ser obtida de acordo com a convenção de Denavit-Hartenberg (D-H), [6]. A Tabela 2, indica os parâmetros de D-H para o Robô Gantry.

Tabela 2. Tabela dos parâmetros de D-H.

Elo_i	θ_i	a_i	α_i	d_i
Elo_1	0	a_1	$\frac{\pi}{2}$	d_1
Elo_2	$-\frac{\pi}{2}$	a_2	$\frac{\pi}{2}$	d_2
Elo_3	0	0	0	d_3

Assim chegou-se a matriz de transformação homogênea para o robô Gantry pela equação (1):

$$T_3^0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & -d_3 + a_1 \\ 0 & -1 & 0 & -d_2 \\ -1 & 0 & 0 & a_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Assim os vetores representados pelas equações (2), (3) e (4) indicam a orientação do efetuador final em relação à base fixa, ou

seja ao elo zero, já o vetor representado pela equação (5) indica a orientação do efetuador final em relação à base fixa.

$$X_3^0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$Y_3^0 = \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$Z_3^0 = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$P_3^0 = \begin{bmatrix} -d_3 + a_1 \\ -d_2 \\ a_2 + d_1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

A cinemática inversa é a solução do modelo matemático da cinemática do robô para determinar valores necessários de juntas para mover a ferramenta para um alvo desejado no espaço, assim, partindo do vetor da equação (5), estabelecem-se as relações representadas pelas equações (6), (7) e (8).

$$d_1 = Z_{ef} - a_2 \quad (6)$$

$$d_2 = -Y_{ef} \quad (7)$$

$$d_3 = -X_{ef} + a_1 \quad (8)$$

A velocidade da junta é dada pela equação (9).

$$v = \begin{bmatrix} \dot{p} \\ \varpi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{p}_x \\ \dot{p}_y \\ \dot{p}_z \\ \varpi_x \\ \varpi_y \\ \varpi_z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{d}_1 \\ \dot{d}_2 \\ \dot{d}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dot{d}_3 \\ -\dot{d}_2 \\ \dot{d}_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

O estudo da dinâmica em robôs se concentra nas relações torque/forças nas juntas versus movimentos no robô.

Neste trabalho as equações dinâmicas do movimento podem ser escritas por meio da formulação de Lagrange em forma matricial compacta [7], conforme a equação (10).

$$H(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) = \tau \quad (10)$$

Em que q é o vetor de coordenadas das juntas; $H(q)$ é a matriz de inércia simétrica,

$C(q, \dot{q})$ é a matriz que representa os efeitos centrífugos e de Coriolis; $G(q)$ é o vetor que representa o momento gerado em cada eixo de junta referente a gravidade e τ é o vetor das forças do movimento das juntas.

Tem-se a equação dinâmica que descreve o movimento do robô Gantry acionado pneumáticamente, incluído a dinâmica do atrito (11), a do subsistema mecânico pela equação (12) e a taxa de variação da força pneumática na equação (13).

$$H^*(q)\ddot{q} + C^*(q, \dot{q})\dot{q} + \tau_{atr}(q, \dot{q}, z_{atr}, \dot{z}_{atr}) + G^*(q) = \bar{J}^T f_p \quad (11)$$

$$\dot{z}_{atr} = h_{atr}(q, \dot{q}, z_{atr}) \quad (12)$$

$$\dot{f}_p = f_q(q, \dot{q}) + g_u(q, p_a, p_b, u) \quad (13)$$

Em que, $H^*(q) = [H(q) + \bar{J}^T M \bar{J}]$ é a matriz de inércia modificada; composta pela matriz de inércia $H(q)$ do manipulador rígido e pela parcela de inércia dos atuadores $\bar{J}^T M \bar{J}$, para robô Gantry com três graus de liberdade, a matriz de inércia modificada é dada pela equação (14).

$$H(q) = \begin{bmatrix} H_{11} & 0 & 0 \\ 0 & H_{22} & 0 \\ 0 & 0 & H_{33} \end{bmatrix} \quad (14)$$

onde $H_{11} = m_1$ (massa total deslocada na direção horizontal longitudinal), $H_{22} = m_2$ (massa total deslocada na direção horizontal transversal), $H_{33} = m_3$ (massa total deslocada na direção vertical).

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil. Os autores também são agradecidos à FINEP, FAPERGS e à UNIJUÍ pelo apoio e incentivo na realização da pesquisa.

4. REFERÊNCIAS

[1] A. C. Valdiero; T.G. Heck; J.A.G. da Silva. “Tecnologias inovadoras

aplicadas em sistemas agrícolas”. R. Carbonera, *et al.* (Org(s)). Sistemas Agropecuários e Saúde Animal Ijuí: Unijui, 2015.

[2] G. Amer; M.M. Mudassir; A. M. Malik “Design and operation of Wi-Fi agribot integrated system”, in International Conference on Industrial Instrumentation and Control (ICIC). Pune, pp. 207-212.2015.

[3] B. Zion. *et al.* “Harvest-order planning for a multiarm robotic harvester”.in Computers and Electronics in Agriculture, v. 103, p. 75-81, 2014.

[4] F. Dong *et al.* “Time-optimal guidance control for an agricultural robot with orientation constraints”.in Computers and Electronics in Agriculture, v. 99, p. 121-131, 2013.

[5] A. V. de A. Batista. “Robô Irrigador Multifuncional de Baixo Custo para agricultura Familiar (RIRRIG)”. 2016.91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

[6] L. Sciavicco; B. Siciliano. “Modeling and control of robot manipulators” Naples:McGraw- Hill. 1996

[7] A. C. Valdiero. “Modelagem matemática de robôs hidráulicos”, Ijuí: UNIJUI. 2012

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentou-se a modelagem matemática do robô Gantry com acionamento pneumático. Como trabalhos futuros estão o aprofundamento da modelagem matemática, validação do modelo matemático e desenvolvimento de estratégias de controle.