

PROJETO E MODELAGEM CINEMÁTICA DE UM ROBÔ PLANAR DE DOIS ELOS

LORAN D. VISCARDI¹

¹ Graduando em Engenharia de Controle e Automação, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus Catanduva, l.viscardi@aluno.ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.05.05.04-6 Robotização

RESUMO: Com o grande crescimento das necessidades de produção nas indústrias os robôs veem desempenhando papel fundamental nesse processo, indubitavelmente a pesquisa científica intensifica a qualidade com que chegam no mercado de trabalho possibilitando aplicações precisas, seguras e eficientes. Portanto, para a compreensão e produção de tais elementos é necessário conhecimento em computação, matemática e física, tal projeto foi proposto, levando em consideração as necessidades de tornar lúdico a robótica no meio acadêmico. Para a elaboração robótica existem métodos padrões de desenvolvimento, bem como a notação de Denavit-Hartenberg e softwares de simulação computacional, pois, mediante a eles é possível visualizar, movimentar e estudar esses corpos que se movem no espaço com muita precisão. O robô proposto possibilita a implementação de sistemas de controles, diferentes sistemas mecânicos e principalmente o intermédio entre o aluno de engenharia e suas dificuldades no mercado de trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: modelamento matemático; Denavit-Hartenberg; matlab; simulação robótica.

PROJECT AND KINEMATIC MODELING OF A 2-LINK PLANAR ROBOT

ABSTRACT: With the great growth of production needs in industries, robots have been playing a fundamental role in this process, undoubtedly scientific research intensifies the quality with which they arrive in the labor market, enabling precise, safe and efficient applications. Therefore, in order to understand and produce such elements knowledge in computing, mathematics and physics is necessary, such a project was proposed, taking into account the needs to make robotics playful in the academic environment. For robotic elaboration, there are standard development methods, as well as the Denavit-Hartenberg notation and computer simulation software, because, through them, it is possible to visualize, move and study these bodies that move in space with great precision. The proposed robot allows the implementation of control systems, different mechanical systems and mainly the intermediary between the engineering student and his difficulties in the job market.

KEYWORDS: mathematical modeling; Denavit-Hartenberg; matlab; robotic simulation.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os robôs têm se tornado cada vez mais presentes nas indústrias. Aliados às ferramentas de desenho assistido por computador (CAD – *Computer Aided Design*) e manufatura assistida por computador (CAM – *Computer Aided Manufacturing*), os robôs têm se mostrado poderosos recursos para a automação e controle de processos, fornecendo agilidade, flexibilidade e precisão na produção industrial (Craig, 2013).

Para que um processo assistido por robôs tenha sucesso é necessário garantir que os elementos robóticos envolvidos tenham um sistema de controle eficaz, capaz de garantir a eficácia da tarefa a ser executada, a segurança da máquina e dos seres humanos envolvidos, além de visar o baixo consumo de energia e alta produtividade. O projeto de controles de sistemas robóticos exige razoável desenvolvimento matemático e simulações computacionais, a fim de garantir que o controle possa ser integrado ao robô.

Porém, diversas variáveis são difíceis de serem modeladas matematicamente, tal como atrito, folgas e variações dos parâmetros do sistema (e.g. inércia, massa). Um recurso para visualizar o efeito dessas variáveis, e assim modelá-las com melhor confiabilidade, são os protótipos de robôs, modelos físicos capazes de reproduzir na prática os controles projetados e simulados computacionalmente.

O objetivo deste trabalho é propor o projeto de um protótipo de robô, do tipo manipulador planar de dois elos, bem como apresentar a modelagem matemática de sua cinemática direta, funcionando também como material didático para alunos de engenharia. As características cinemáticas de um robô planar de dois elos se assemelham às dos robôs industriais tipo SCARA, além disso, essa configuração dos manipuladores também tem aproximação com pêndulos duplos, especialmente quando estão na condição de subatuados, e também se assemelham ao modelo da perna humana.

MATERIAL E MÉTODOS

O processo de desenvolvimento do estudo iniciou-se através de pesquisa bibliográfica e discussão dos parâmetros que serão adotados e seguidos, visando sempre, facilitar e atingir os objetivos de maneira precisa e coesa.

Na criação do modelo foi utilizado o software AutoDesk Inventor, de desenho mecânico 3D, necessário para parametrizar corretamente todos os elementos presentes no manipulador, com a finalidade de facilitar a visualização e montagem dos elementos constituintes e compreender virtualmente as capacidades, limitações físicas e estruturais presentes no robô.

Posteriormente à execução de todos os desenhos e com o modelo pronto, foi realizado o desenvolvimento de todos os cálculos para a análise cinemática direta do manipulador, através da representação de Denavit-Hartenberg, uma metodologia geral para manipuladores de elos sequenciais, que é capaz de descrever através de 4 (quatro) variáveis as posições do efetuador no espaço.

Utilizando o software MatLab foi possível consolidar os cálculos realizados e coletar dados como alcance das juntas e área de trabalho do robô utilizando ferramentas lógicas de programação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo desenvolvido passou por diferentes arranjos entre os motores e elos, porém após analisados os aspectos da intercambialidade e a viabilidade dos materiais chegou-se a um modelo final que tem como principal característica dois motores opostos entre si e com eixos concêntricos (Figura 1.), o motor inferior aciona o elo próximo a base de sustentação, por outro lado, como compartilham de um mesmo centro, para o acionamento do elo mais afastado à base, o motor aciona um sistema de polia e correia que transmite o movimento rotativo, esse método foi adotado ao pensar na necessidade de intercambialidade entre os elos, removendo a força de atrito presente em apoios de sustentação dos elos. No ponto de vista de uma construção real do protótipo a opção selecionada é a impressão 3D permitindo uma altíssima flexibilidade na construção e edição dos elementos que serão acoplados ao manipulador, promovendo uma vasta gama de aplicações à robótica.

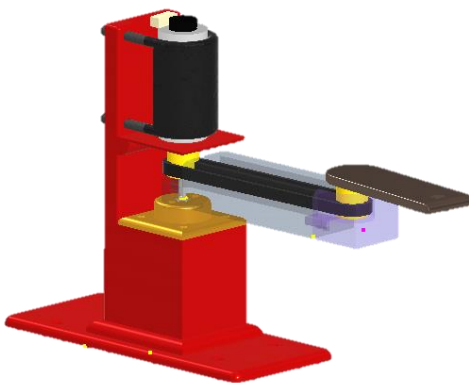


FIGURA 1. Modelo em perspectiva isométrica, detalhe no sistema polia-correia.

Tendo em vista que um robô segue uma lógica de programação para determinar suas ações no espaço, a base de todo o desenvolvimento possui um teor puramente matemático, que através de ângulos informados ao controlador são determinadas suas posições no espaço.

Para o desenvolvimento da cinemática direta que relaciona os ângulos das juntas às posições do robô, utilizamos a notação de Denavit-Hartenberg, que descrita por quatro parâmetros descreve uma sequência articulada de n juntas, descrevendo a posição de um eixo coordenado de um elo em relação ao elo anterior, relacionando matrizes de transformação homogênea em uma única matriz, como apresentado na equação 1.

$${}^{j-1}\mathbf{e}_j \sim \mathbf{A} = \mathbf{R}_z(\theta_j) \cdot \mathbf{T}_z(d_j) \cdot \mathbf{T}_x(a_j) \cdot \mathbf{R}_x(\alpha_j) \quad (1)$$

- $\mathbf{R}_z(\theta_j)$: Matriz de rotação em torno de um eixo z que descreve um ângulo θ ;
- $\mathbf{T}_z(d_j)$: Matriz de translação em torno de um eixo z que descreve uma distância d ;
- $\mathbf{T}_x(a_j)$: Matriz de translação em torno de um eixo x que descreve uma distância a ;
- $\mathbf{R}_x(\alpha_j)$: Matriz de rotação em torno de um eixo x que descreve um ângulo α ;

Seguindo todas restrições que a notação define, uma tabela (Tabela 1.) possuindo todos os dados necessários para realizar os cálculos foi determinada com base no manipulador construído, valendo ressaltar que o ângulo θ que é tido como uma variável a ser atribuída possui um coeficiente somado a ele para manter o sistema de referência sempre no ponto central do alcance do manipulador

TABELA 1. Parâmetros do modelo para a notação de Denavit-Hartenberg

i	θ	$d(mm)$	$a(mm)$	α
1	$\theta_1 + \frac{\pi}{2}$	15,25	116,47	0°
2	θ_2	12,5	67,1	0°

Com todos os dados coletados foi possível reescrever a equação 1 em termos deste robô, relacionando a posição relativa da junta 3 em relação à junta 1, descrita de acordo com a equação 2.

$${}^1\mathbf{A}_3 = [\mathbf{R}_z(\theta_1 + \frac{\pi}{2}) \cdot \mathbf{T}_z(15,25) \cdot \mathbf{T}_x(116,5) \cdot \mathbf{R}_x(0^\circ)] \cdot [\mathbf{R}_z(\theta_2) \cdot \mathbf{T}_z(12,5) \cdot \mathbf{T}_x(67,1) \cdot \mathbf{R}_x(0^\circ)] \quad (2)$$

Após realizados todos os cálculos algébricos da equação 2, fazendo uso de todas identidades trigonométricas, chegou-se a uma matriz geral que descreve essa relação entre juntas no espaço expressas de acordo com a matriz de transformação homogênea da equação 3.

$${}^1\mathbf{A}_3 = \begin{bmatrix} c_{12} & -s_{12} & 0 & 67,1 \cdot c_{12} + 116,5 \cdot c_1 \\ s_{12} & c_{12} & 0 & 67,1 \cdot s_{12} + 116,5 \cdot s_1 \\ 0 & 0 & 1 & 27,75 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Onde,

$$c_{12} = \cos((\theta_1 + \frac{\pi}{2}) + \theta_2);$$

$$s_{12} = \sin((\theta_1 + \frac{\pi}{2}) + \theta_2) ;$$

$$c_1 = \cos(\theta_1 + \frac{\pi}{2}) ;$$

$$c_2 = \cos(\theta_2) ;$$

$$s_1 = \sin(\theta_1 + \frac{\pi}{2}) ;$$

$$s_2 = \sin(\theta_2) .$$

Logo após a realização dos cálculos a próxima etapa foi validar se estavam corretos e se descreviam o robô corretamente, para isso, utilizando o software MatLab através de uma toolbox open source do Prof. Peter Corke, todos os dados foram inseridos na interface de desenvolvimento da toolbox utilizada, gerando um modelo tridimensional com as especificações e dimensões do robô (Figura 2.)

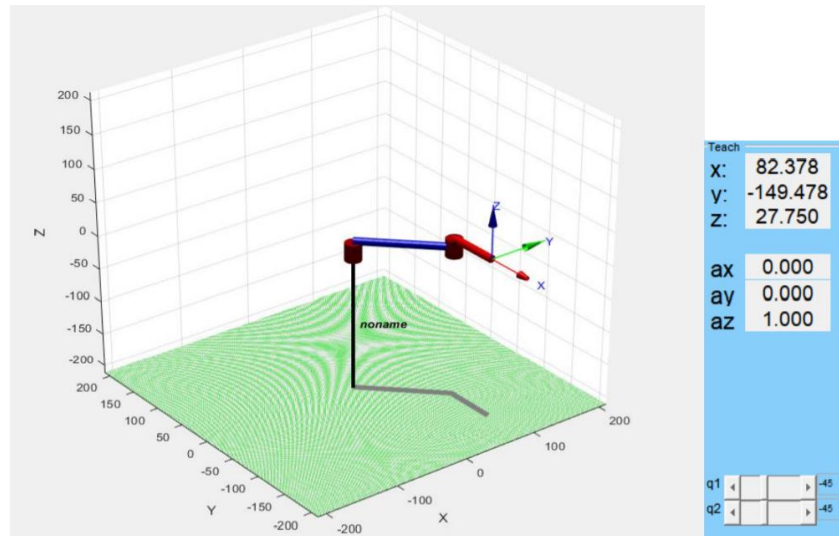


FIGURA 2. Modelo tridimensional gerado através dos parâmetros do protótipo.

Após o modelo gerado e ao realizar sua análise no espaço é visível que está de acordo com o modelo projetado, porém existem algumas inconsistências neste modelo, o projeto possui algumas limitações físicas que impossibilitam o protótipo a realizar voltas completas em torno de seu eixo principal, possuindo uma área de trabalho não só limitada pelos comprimento dos elos. Com isso foi necessário o desenvolvimento de um programa, através do mesmo software utilizado anteriormente e por meio dos dados de limitação de rotação das juntas puderam ser plotados gráficos que expressam como essas juntas se comportam com as limitações impostas. O código realizado para a plotagem desses gráficos utilizou os cálculos já realizados antes e os ângulos máximos de rotação que foram encontrados através do desenho produzido, após compilado e rodado gerou dois gráficos que expressam, respectivamente, as posições que o efetuador alcança em seu plano de trabalho (Figura 3.) e o espaço de trabalho do manipulador (Figura 4.)

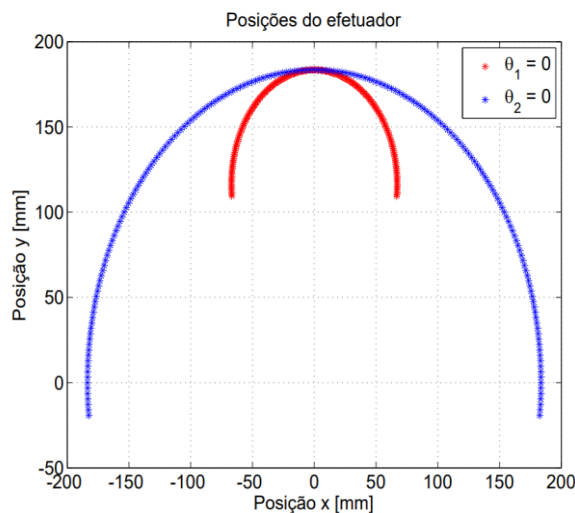


FIGURA 3. Posições máximas de acesso do efetuador.



FIGURA 4. Área de trabalho que o efetuador consegue atingir

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos apresentaram-se de maneira satisfatória, com algumas pequenas incongruências, tais como, no modelo 3D gerado através do Software MatLab ele trabalha como um modelo onde as juntas do robô possui seu atuador na mesma posição, já nosso modelo possui um sistema de polia e correia que pode variar um pouco seu movimento de acordo com o primeiro elo, sendo necessário a adição de alguns parâmetros de controle que variam de acordo com os movimentos do primeiro.

Tendo em vista que nossos resultados possui a cinemática direta (através do ângulo das juntas, expressa-se a posição) é possível encontrar uma cinemática inversa (através das posições no espaço, expressa-se o ângulo de juntas), sendo um tópico que não foi tratado no seguinte resumo.

Certamente o objetivo de tornar o projeto uma ferramenta didática para alunos de engenharia foi alcançado, gerando ao discente uma capacidade de experimentar diferentes formatos e arranjos para um manipulador planar, visto que a variedade de maneiras que pode ser explorado no quesito mecânico e de controle é muito grande.

REFERÊNCIAS

- CORKE, P.I.. A robotics toolbox for MATLAB. IEEE Robotics & Automation Magazine, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 24-32, mar. 1996. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/100.486658>.
- CRAIG, J.J. Introdução à Robótica. 3ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil.
- DENAVIT, Jacques; HARTENBERG, Richard Scheunemann. A kinematic notation for lower-pair mechanisms based on matrices. Journal Of Applied Mechanics. Evanston, p. 1-7. jun. 1955.
- Federação Internacional de Robótica (2018). World Robotics – Industrial Robotics Report. Disponível em: <<https://ifr.org/ifr-press-releases/news/global-industrial-robot-sales-doubled-over-the-past-five-years>>. Acesso em: 15 ago 2020.
- MIHELJ, M. et al (2019). Robotics. 2ed. Cham: Springer International Publishing.
- NIKU, Saeed B.. Introdução à Robótica: análise, controle, aplicações. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 382 p.