

Método para cálculo do espaço de trabalho comum de múltiplos robôs manipuladores

CALCULATION METHODOLOGY FOR COMMON WORK AREA OF MULTIPLE ROBOTS MANIPULATORS

Flávio Groh
Francisco José Grandinetti
Universidade de Taubaté
Departamento de Engenharia Mecânica

RESUMO

Este trabalho analisa e propõe uma metodologia de cálculo para obtenção de área de trabalho comum de múltiplos robôs manipuladores planares de juntas revolutas. A etapa inicial compreende o cálculo da cinemática direta e inversa do manipulador a ser analisado. A etapa posterior consiste na determinação dos pontos limite do espaço de trabalho comum e no cálculo das coordenadas cartesianas e de junta para a geração da trajetória que caracteriza o limite do espaço de trabalho comum. A seguir, efetua-se o cálculo da área de trabalho comum, utilizando-se do método de integração numérica de cálculo de área sob curvas. Finaliza-se com o cálculo da área comum, comparação e validação experimental.

PALAVRAS CHAVE

Múltiplos robôs manipuladores. Manipuladores industriais. Robix.

ABSTRACT

This work analyzes and proposes a calculation methodology for obtaining the work area common of multiple robots manipulators of revolute joints. The initial stage understands the calculation of the direct and inverse kinematics of the manipulator to be analyzed. The posterior stage consists of the determination of the points limit of the space of common work, and the calculation of the cartesian coordinates and of committee for the generation of the trajectory that characterizes the limit of the space of common work. To follow the calculation of the area of common work it is made being used of method of numeric integration of area calculation under curves. This work concludes with the calculation of the common area.

KEYWORDS

Multiple robots manipulators. Industrial manipulators. Robix.

INTRODUÇÃO

Os manipuladores múltiplos são utilizados em diversos tipos de aplicações, normalmente onde um robô único pode não executar a tarefa da maneira desejada, ou mesmo onde pode falhar. Os robôs múltiplos executam tarefas juntos, de maneira cooperada, como descreve Unseren e Koivo (1989), em seu trabalho, que simula, em cadeia cinemática fechada de dois manipuladores, e mostra a posição e interação sobre torque constante. Para a operação independente ou fora do espaço comum, são enviadas informações de movimentação para cada manipulador. Cada robô pode ter parâmetros completamente diferentes e executar diferentes tarefas em diferentes momentos, ou simultaneamente. Diversos trabalhos científicos vêm citando a utilização de robôs de forma cooperada. Assim, neste trabalho, pretende-se compor um manipulador fazendo uso de "kit" didático, composto por dois braços que possuam área de trabalho comum, e, com uma metodologia, calcular, de forma algébrica, o valor numérico dessa área. Com essa metodologia, pretende-se estabelecer uma seqüência lógica e ordenada de passos a serem seguidos no processo de determinação do espaço de trabalho comum estabelecido por esses dois manipuladores que, em sua configuração, caracterizem o uso de um mesmo espaço no plano cartesiano, simultaneamente ou não.

DEFINIÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DE MÚLTIPLOS MANIPULADORES

Para análise da metodologia proposta neste trabalho, fez-se a montagem de dois manipuladores de con

figurações idênticas, compostos por três juntas revolutas. Para efeito dos cálculos, neste trabalho, a terceira junta foi desconsiderada, e a dimensão do terceiro elo, incorporada ao segundo elo.

Para o conjunto em análise, adotou-se o sistema de eixos coordenados, apresentado na figura 1.

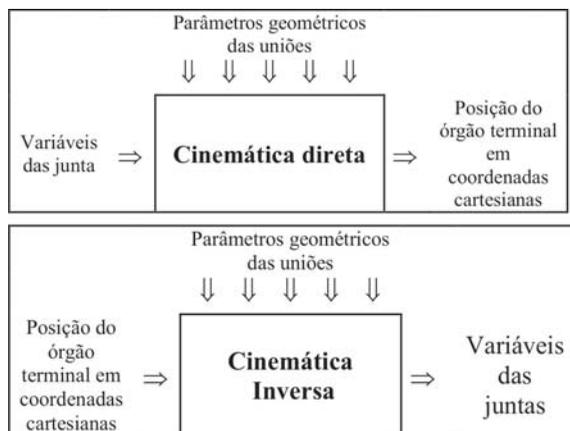


Figura 1 - Representação do sistema de eixos do conjunto em análise

CINEMÁTICAS DIRETA E INVERSA DA CONFIGURAÇÃO ADOTADA DO MANIPULADOR ESQUERDO

A matriz de transformação homogênea geral, entre os sistemas de eixos 2 e 0, da configuração em análise é dada pela equação 1, obtida conforme metodologia apresentada por Fu; Gonzales e Lee (1987).

$${}^0T_2 = \begin{bmatrix} C1.C2 - S1.S2 & -C1.S2 - S1.C2 & 0 & a_1.C1 + a_2.C(\theta_1 + \theta_2) \\ S1.C2 + C1.S2 & C1.C2 - S1.S2 & 0 & a_1.S1 + a_2.S(\theta_1 + \theta_2) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Onde:

Si é o seno do ângulo θ_i $\text{sen}(\theta_i)$

Ci é o co-seno do ângulo θ_i $\text{cos}(\theta_i)$

Assim, pode-se extrair da matriz (equação 1) o vetor posição apresentado a seguir, nas equações 2, 3 e 4.

$$P_x = a_1 \cdot \text{cos}(\theta_1) + a_2 \cdot \text{cos}(\theta_1 + \theta_2) \quad (2)$$

$$P_y = a_1 \cdot \text{sen}(\theta_1) + a_2 \cdot \text{sen}(\theta_1 + \theta_2) \quad (3)$$

$$P_z = 0 \quad (4)$$

A cinemática inversa do robô manipulador relacio-

na, nas coordenadas de junta (θ_1, θ_2), em função das coordenadas cartesianas (P_x, P_y , e P_z), o movimento do braço robótico. O processo de cálculo da inversa tem início efetuando-se o cálculo das matrizes de transformação homogêneas relacionando o 2º sistema de eixos e a base ($OxOyOzO$), conforme Paul (1981). O resultado do manipulador esquerdo, analisado neste trabalho, é apresentado nas equações 5 e 6.

$$\theta_2 = \cos^{-1} \left(\frac{P_x^2 + P_y^2 - a_1^2 - a_2^2}{2 \cdot a_1 \cdot a_2} \right) \quad (5)$$

$$\theta_1 = \text{tg}^{-1} \left(\frac{P_y}{P_x} \right) - \text{tg}^{-1} \left(\frac{a_2 \cdot S2}{a_1 + a_2 \cdot C2} \right) \quad (6)$$

CINEMÁTICAS DIRETA E INVERSA DA CONFIGURAÇÃO ADOTADA DO MANIPULADOR DIRETO

A matriz de transformação homogênea geral que relaciona o sistema de eixos 4 ao sistema de eixos 0 da configuração em análise permite a obtenção das equações do vetor posição - equações 7, 8 e 9.

$${}^0T_3^D = \begin{bmatrix} C(\theta_3 + \theta_4) & S(\theta_3 + \theta_4) & 0 & a_4.C(\theta_3 + \theta_4) + a_3.C3 \\ S(\theta_3 + \theta_4) & -C(\theta_3 + \theta_4) & 0 & a_4.S(\theta_3 + \theta_4) + a_3.S3 - L \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$P_x^D = a_3 \cos(\theta_3) + a_4 \cos(\theta_3 + \theta_4) \quad (8)$$

$$P_y^D = a_3 \text{sen}(\theta_3) + a_4 \text{sen}(\theta_3 + \theta_4) - L \quad (9)$$

A cinemática inversa do robô manipulador relaciona por meio das coordenadas de junta (θ_3, θ_4) em função das coordenadas cartesianas (P_x^D, P_y^D e P_z^D) o movimento do braço robótico.

O processo de cálculo da cinemática inversa conforme Paul (1981), e o resultado é apresentado nas equações 10 e 11.

$$P_z^D = 0 \quad (10)$$

$$\theta_4 = \cos^{-1} \left(\frac{P_x^2 + (P_y + L)^2 - a_4^2 - a_3^2}{2 \cdot a_3 \cdot a_4} \right) \quad (11)$$

SIMULAÇÃO DO ESPAÇO DE TRABALHO

Para simulação do espaço de trabalho da configu-

ração adotada foi desenvolvido programa em *software* específico. A figura 2 apresenta a imagem gerada nessa simulação, em que se pode notar o espaço de trabalho comum.

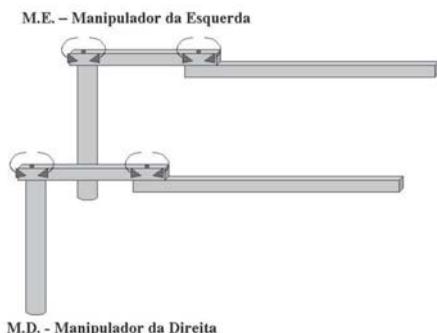


Figura 2 – Resultado da simulação do espaço de trabalho comum

DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE INTERSECÇÃO DAS CURVAS LIMITE DO ESPAÇO DE TRABALHO UTILIZANDO-SE DA CINEMÁTICA DIRETA

Para obtenção dos pontos de intersecção das curvas que definem os limites do espaço de trabalho comum dos manipuladores, definem-se os seguintes critérios de nomenclatura, para os pontos: P1 para o ponto 1; P2 para o ponto 2; P3 para o ponto 3 e P4 para o ponto 4. E para as curvas C12 e C34, que são geradas pela movimentação do Manipulador da Esquerda e que passam pelos pontos, 1 e 2 para C12, e pelos pontos 3 e 4 para C34. Para as curvas C13 e C24, que são geradas pela movimentação do Manipulador da Direita, e que passam pelos pontos 1 e 3 para a curva C13 e pelos pontos 2 e 4 para a curva C24. A figura 3 apresenta uma visão esquemática da configuração.

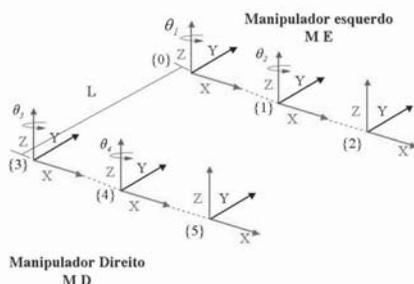


Figura 3 - Curvas e pontos limites do espaço de trabalho comum

DEFINIÇÃO DAS EQUAÇÕES DAS CURVAS

As Curvas C12, C13, C34, e C24 têm as equações

representativas de sua revolução apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 – Equações das curvas

| | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 | Ponto 4 |
|------------|---------|---------|---------|---------|
| Θ_1 | -0,54 | -0,74 | 0,40 | 0,19 |
| Θ_2 | 0,00 | 0,00 | -1,27 | -1,27 |
| Θ_3 | 0,54 | -0,40 | 0,74 | -0,19 |
| Θ_4 | 0,00 | 1,27 | 0,00 | 1,27 |
| Px | 245,9 | 212,2 | 212,2 | 185,7 |
| Pv | -150,0 | -194,8 | -105,3 | -150,0 |

Tabela 2 – Área sob as curvas

| | |
|------------|--------------------------------|
| C12 | $x^2 + y^2 - 829,44 = 0$ |
| C13 | $x^2 + y^2 + 60y + 70,56 = 0$ |
| C34 | $x^2 + y^2 - 569,46 = 0$ |
| C24 | $x^2 + y^2 + 60y + 330,54 = 0$ |

CÁLCULO DA ÁREA SOB AS CURVAS

Baseando-se nos valores obtidos, podem-se estabelecer os valores do espaço comum de trabalho do manipulador múltiplo estudado neste trabalho. A tabela 2 apresenta os valores das áreas sob as curvas entre seus pontos de intersecção que definem o espaço de trabalho comum. Esses valores estão expressos em centímetros quadrados. Também são apresentados, nesta tabela, os limites dessas curvas em relação ao eixo Y.

ÁREA TOTAL (A_T)

O valor do espaço de trabalho comum dos múltiplos manipuladores estudados neste trabalho é obtido subtraindo-se, do valor da área sobre a curva C13, o valor da área sobre a curva C34, pois elas se sobrepõem. Com isso, obtém-se o valor de 12,989 cm². É necessário também subtrair, do valor da área sobre a curva C12, o valor da área sobre a curva C24, pois elas também se sobrepõem. Com isso, obtém-se o valor de 12,96 cm².

Efetuando-se a soma dos valores, obtém-se o valor procurado do espaço de trabalho desses manipuladores: 25,95 cm².

ANÁLISE E CONCLUSÃO

Como o objetivo deste trabalho foi calcular o espaço de trabalho comum de múltiplos robôs manipuladores, o método utilizado mostrou-se adequado, pois a área "aproximada" obtida experimentalmente possui a mesma ordem de grandeza da área obtida nos resultados analíticos.

O desenvolvimento deste trabalho permitiu a busca por informações detalhadas sobre diversos assuntos que permeiam a utilização da automação robótica, tanto no campo educacional, quanto no campo industrial.

A proposta deste trabalho, de estudar uma metodologia de cálculo do espaço de trabalho comum de múltiplos manipuladores, apresentou desafios que serviram como estímulo para aprofundamento e bus-

ca por soluções. Pesquisas já desenvolvidas sobre o assunto permitem aguçá-lo o sentido stricto desse nível de estudo.

REFERÊNCIAS

FU, K. S.; GONZÁLES, R. C.; LEE, C. S. G. *Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence*. New York: McGraw-Hill, 1987.

PAUL, R. P. *Robot Manipulators: Mathematics, Programming, and Control*. Cambridge: MIT Press, 1981.

UNSEREN, M. A.; KOIVO, A. J. Kinematic relations and dynamic modeling for two cooperating manipulators in assembly. *I. C. S.*, 1987. p. 4.