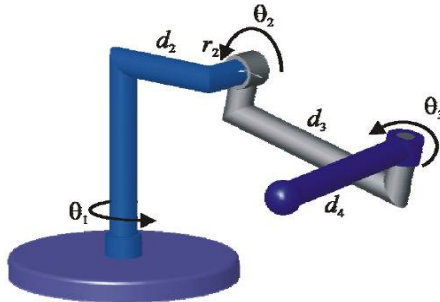


PROJETO ÓTIMO DE MANIPULADORES 3R ORTOGONAIS CONSIDERANDO O VOLUME, A RIGIDEZ E A DESTREZA

Giovana Trindade da Silva Oliveira; Sezimaria F. Pereira Saramago, Antônio Carlos Nogueira

O objetivo deste resumo é obter os parâmetros ótimos de manipuladores com três juntas rotacionais (3R) ortogonais considerando um problema multiobjetivo em que se deseja maximizar o volume do espaço de trabalho e a rigidez do sistema e minimizar a relação que define a destreza de tais manipuladores.

Os manipuladores 3R ortogonais são representados na Fig. 1, cujo modelo geométrico direto, utilizando os parâmetros de Denavit-Hartenberg, é dado pelas equações:



$$\begin{aligned} x &= [d_2 + (d_3 + d_4 c_3) c_2] c_1 - (r_2 + d_4 s_3) s_1 \\ y &= [d_2 + (d_3 + d_4 c_3) c_2] s_1 + (r_2 + d_4 s_3) c_1 \\ z &= -(d_3 + d_4 c_3) s_2 \end{aligned} \quad (1)$$

Figura 1: Arquitetura do Manipulador estudado.

A matriz jacobiana J , obtida por Baili (2004) e seu determinante, com $d_2=1$, é dada por:

$$J = \begin{pmatrix} -s_3 c_2 d_4 - c_2 r_2 & 0 & -s_3 d_4 \\ s_3 s_2 d_4 + s_2 r_2 & d_3 + c_3 d_4 & 0 \\ c_2 d_3 + c_2 c_3 d_4 + d_2 + s_2 r_3 & 0 & c_3 d_4 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\det(J) = d_4 (d_3 + d_4 c_3) [d_2 s_3 + (d_3 s_3 + (d_3 s_3 - r_2 c_3) c_2)] \quad (3)$$

A matriz de rigidez do mecanismo no espaço cartesiano é dada por $Kc = J^T K_j J$, onde K_j é a matriz de rigidez das juntas do mecanismo serial, com $K_j = \text{diag} [k_1, k_2, k_3]$, e cada um dos atuadores no mecanismo é modelado como uma componente elástica, k_i é um escalar que representa a rigidez da junta de cada atuador. Particularmente, no caso em que todos os atuadores possuem a mesma rigidez, ou seja, $k=k_1=k_2=k_3$, tem-se então que $Kc = kJ^T J$.

Além disso, os elementos K_{ii} , $i=1,2,3$ da diagonal da matriz de rigidez são usados como o valor de rigidez do sistema. Estes elementos representam a rigidez pura em cada direção, e eles refletem a flexibilidade das ferramentas da máquina. Assim, a função objetivo para a rigidez do sistema pode ser escrita como:

$$R = K_{11} + K_{22} + K_{33} \quad (4)$$

A destreza de um manipulador pode ser definida pela minimização da relação entre os valores singulares da matriz jacobiana J , dada por:

$$D = |\lambda_{\max}(J) / \lambda_{\min}(J)| \quad (5)$$

Sendo que $\lambda_{\min}$ e $\lambda_{\max}$ representam os valores singulares mínimos e máximos da matriz jacobiana, respectivamente.

O problema de otimização é formulado com o objetivo de obter os parâmetros ótimos de um manipulador 3R ortogonal que maximiza o volume do espaço de trabalho e a rigidez do sistema de juntas e minimiza a relação que define a destreza do manipulador. Trata-se de um problema multiobjetivo conflitante que utiliza, neste trabalho, o método dos objetivos ponderados, onde se define a prioridade de cada função objetivo de acordo com o interesse do projetista de modo que a soma dos coeficientes de ponderação w_i seja igual a um. Os coeficientes w_i representam bem a importância dos objetivos se todas as funções forem expressas de forma adimensional, por exemplo, obtendo-se as soluções ideais (valores ótimos) de cada função separadamente.

Assim, o problema é reescrito como uma função escalar no vetor de variáveis dimensionais do manipulador $x = (d_3, d_4, r_2)^T$, conforme a Eq. (6), onde $V = 2\pi r_g A$ é o volume do espaço de trabalho, (Oliveira, 2006).

$$\text{Maximizar } \phi(x) = w_1 \frac{V}{V_{id}} - w_2 \frac{D}{D_{id}} + w_3 \frac{R}{R_{id}} \quad (6)$$

Para a solução deste problema foi utilizado o algoritmo de Evolução Diferencial (ED), estratégia ED/best/1/exp, adotando uma população com 15 indivíduos, 100 gerações, fator da diferença ponderada: $F=0,8$; probabilidade de cruzamento: $CR=0,6$; $X_{\min}=(0,1 \ 0,1 \ 0,1)^T$, $X_{\max}=(1,0 \ 1,0 \ 1,0)^T$ e soluções ideais: $V_{id}=105,4445$, $D_{id}=1,0064$ e $R_{id}=14$. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados da otimização do Volume, da Rigidez e da Destreza de manipuladores 3R.

Prioridades de w_i : <i>Vol, Dest, Rig</i>	d_2	d_3	r_2 (u.m.)	Volume (u.v.)	Destreza (u.d.)	Rigidez (u.r)	Tempo (min)
$w_1=0,33$; $w_2=0,33$; $w_3=0,33$	1,00	1,00	1,00	105,4445	2,3974	14,0000	54,02
$w_1=0,90$; $w_2=0,05$; $w_3=0,05$	1,00	1,00	1,00	105,4445	2,3974	14,0000	59,23
$w_1=0,05$; $w_2=0,90$; $w_3=0,05$	0,17	0,59	1,00	15,6235	1,0064	4,0096	59,33
$w_1=0,05$; $w_2=0,05$; $w_3=0,90$	1,00	1,00	1,00	105,4445	2,3974	14,0000	52,31
$w_1=0,10$; $w_2=0,45$; $w_3=0,45$	0,17	0,59	1,00	15,6430	1,0065	4,0123	54,80
$w_1=0,45$; $w_2=0,10$; $w_3=0,45$	1,00	1,00	1,00	105,4445	2,3974	14,0000	57,74
$w_1=0,45$; $w_2=0,45$; $w_3=0,10$	0,17	0,59	1,00	15,6430	1,0065	4,0123	59,64

A melhor solução para este problema depende do interesse do projetista na solução compromisso, pois as funções são conflitantes. Na Tabela 1, por exemplo, tanto o volume como a rigidez com prioridade de 90%, mostra que volume e a rigidez tendem aos valores ideais, isto se deve ao fato de que ambos estão sendo maximizados, no entanto, a destreza é penalizada, se distanciando do valor ideal.

Considerando prioridade de 90% para a destreza, observa-se que esta tende ao valor ideal, mas o volume e a rigidez são severamente penalizados, daí verifica-se sua influência na busca das variáveis dimensionais ótimas dos manipuladores com três juntas ortogonais.

Observa-se ainda que alta prioridade para o volume conduz à obtenção de variáveis com dimensões máximas.

A principal contribuição deste trabalho foi verificar que a destreza tem grande influência na obtenção das dimensões ótimas dos manipuladores.

REFERENCIAS

- BAILLI, M., "Analyse et Classification de Manipulateur 3R à axes Orthogonaux", Thèse de Doctorat - University of Nantes, France, 2004. 256p.
- OLIVEIRA, G. T. S., "Estudo e Aplicações da Evolução Diferencial", Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil, 2006. 126p.