

Robótica e Automação Projeto N° 2

1 Controle Cinemático de Manipuladores

Considere o manipulador Kinova Gen3 Ultra lightweight (www.kinovarobotics.com) da Kinova Inc.. A estrutura cinemática deste manipulador de 7 juntas pode ser vista na figura:



Os parâmetros de Denavit-Hartenberg do manipulador são apresentados na tabela 1.

Junta	α (rad)	A (m)	θ (rad)	D (m)	Offset (rad)
1	$\pi/2$	0	0	0	0
2	$\pi/2$	0	0	0	π
3	$\pi/2$	0	0	-0.4208	π
4	$\pi/2$	0	0	0	π
5	$\pi/2$	0	0	-0.3143	π
6	$\pi/2$	0	0	0	π
7	π	0	0	0	π

Tabela 1: Parâmetros de Denavit-Hartenberg do Manipulador antropomórfico

Considere o controle cinemático da posição do punho do manipulador nas seguintes condições:

1. O posição inicial do manipulador é a definida pelos ângulo de juntas $\theta = [0, 0, 0, \pi/2, \pi, 0, 0]$;
2. A velocidade máxima das juntas é $\dot{\theta}_{max} = 3rad/s$;
3. Serão consideradas as seguintes trajetórias de referência (com $w_n = 2\pi/10$):

(a)

$$x_d = \begin{bmatrix} 0.075 (\sin(w_n t) + \sin(4 w_n t)) + 0.456 \\ 0 \\ 0.075 (\cos(w_n t) + \cos(4 w_n t)) + 0.069 \end{bmatrix}$$

;

- (b) x_d sendo uma circunferência de $0.075m$ de raio no plano ($X-Z$) centrada no ponto $x_0 = [0.456, 0, 0.2]^T$, e percorrida com uma frequência w_n .
- (c) A circunferência do item anterior projetada no plano definido por $(x - 0.456) - y + (z - 0.2) = 0$.

Simule o comportamento do sistema em malha fechada para as trajetórias especificadas utilizando os seguintes controladores:

1. $u = (J(q))^{-1} [\dot{x}_d + K (x_d - x)]$;
2. $u = (J(q))^{-1} K (x_d - x)$;

Sintonizar o ganho K para obter o melhor desempenho possível atendendo a especificação de $|u_i| \leq 3$ ($i = 1, 2, 3$).

Simule e conclua sobre a estabilidade e o desempenho de cada um dos controladores considerados.

Na simulação não é permitido a utilização de saturações ($sat()$) e/ou derivadores puros.

2 Controle Cinemático de manipuladores redundantes

Considere o manipulador planar $3R$. O comprimento dos 3 elos é de $0.5m$. A configuração inicial do manipulador é determinada por $\theta(0) = [\pi, -\pi/2, -\pi/2]^T$.

1. Projete o controle cinemático para seguir uma trajetória desejada dada por:

$$p_d = \begin{bmatrix} 0.25 (1 - \cos(\pi t)) \\ 0.25 (2 + \sin(\pi t)) \end{bmatrix}, \quad t \in [0, 4]$$

A orientação desejada é parametrizada por:

$$\phi_d = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 = \sin\left(\frac{\pi}{24}t\right)$$

2. Agora considere que a orientação não é restrita, i.e. não esta sendo controlada. No controle cinemático de posição, aproveite esta redundância, através do espaço nulo do Jacobiano, para:

- (a) Maximizar a manipulabilidade $w(\theta) = \det(J(\theta)J^T(\theta))$. Neste caso pode levar em consideração que $w(\theta) = \det(J(\theta)J^T(\theta)) \approx 0.5 (\sin^2(\theta_2) + \sin^2(\theta_3))$ (comparar graficamente).
- (b) Manter os valores dos ângulos das juntas dentro dos seguintes limites:

$$-2\pi \leq \theta_1 \leq 2\pi; \quad -\pi/2 \leq \theta_2 \leq \pi/2; \quad -3\pi/2 \leq \theta_3 \leq -\pi/2$$

3 Controle Cinemático de Manipuladores por Servo Visão

Considere um manipulador planar $2R$. O comprimento do primeiro elo é de $0.45m$ e do segundo elos é de $0.5m$. A configuração inicial do manipulador é determinada por $\theta(0) = [-\pi/20, -\pi/2]^T$.

Considere o controle cinemático da posição do punho utilizando servo-visão nas seguintes condições:

1. É utilizada uma câmera monocular para obter a posição do efetuador;
2. O eixo ótico da câmera é perpendicular ao plano de trabalho do manipulador;
3. A distância focal da câmera é $f = 8mm$;
4. A câmera é posicionada a uma distância $z_0 = 0.64m$ do plano de trabalho do manipulador;
5. O fator de escala da câmera é $\alpha = 72727 \text{ pixels}/m$ nas duas direções;
6. A origem do plano da imagem na tela é $O_c = [320, 240]^T$;
7. A posição da câmera com relação à base do manipulador é $P_{bc} = [0.5, -0.38]^T$ com orientação $\phi = 0$;
8. Será considerada a seguinte trajetória de referência em coordenada da tela (com $w_n = 1$):

$$x_{cd} = \begin{bmatrix} 300 + 60 (\sin(w_n t) + \sin(1.5w_n t)) \\ 200 + 60 (\sin(w_n t + 1.6) + \sin(1.5w_n t + 1.6)) \end{bmatrix};$$

Simule o comportamento do sistema em malha fechada para a trajetória especificada utilizando o seguinte controlador:

$$u = (K_p J(\theta))^{-1} [\dot{x}_{cd} + K (x_{cd} - x_c)]$$

Conclua sobre a estabilidade, o desempenho do controlador considerado. Verifique a robustez do controlador projetado se a câmera é rotacionada em $\phi = \pi/4$.