Prof. Fernando Lizarralde (2018)

Introdução à Robótica
Projeto N$^{\circ}$ 2

1 Controle Cinemático de Manipuladores

Considere o manipulador antropomorfico (6R) com os parâmetros de Denavit-Hartenberg (standard) dados na tabela 1.

Junta	α (rad)	A (mm)	θ (rad)	D (mm)
1	$\pi/2$	0	0	0
2	0	279.4	0	0
3	$-\pi/2$	0	0	0
4	$\pi/2$	0	0	228.6
5	$-\pi/2$	0	0	0
6	0	0	0	0

Tabela 1: Parâmetros de Denavit-Hartenberg do Manipulador

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 $\theta = [0,\ \pi/2,\ -\pi,\ \pi,\ 0,\ 0]$ (posição READY);
2. A velocidade máxima das juntas é $\dot{\theta}_{max} = 3\ rad/s$;
3. Serão consideradas as seguintes trajetórias de referência (com $w_n = 2\pi/10$):
   (a) x_d sendo uma circunferência de $75mm$ de raio no plano $(X{-}Z)$ centrada no ponto $x_0 = [228,\ 0,\ 278]^T$, e percorrida com uma freqüência w_n.
   (b) A circunferência do item anterior projetada no plano definido por $(x-228)-y+(z-278)=0$.
   (c) $x_d = [(75*(\sin(w_nt)+\sin(4w_nt))+228),\ 0,\ (75*(\cos(w_nt)+\cos(4w_nt))+69)]^T$;

Projete o sistema em malha fechada utilizando os seguintes controladores para seguir as trajetórias especificadas acima:

1. $u = (J(\theta))^{-1}\ [\dot{x}_d + K\ (x_d - x)]$;
2. $u = (J(\theta))^{T}\ [\alpha\ \dot{x}_d + K\ (x_d - x)]$
   onde $\alpha \in [0,1]$. Tem justificativa teórica considerar $\alpha \neq 0$?.

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:

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

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:

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

3 Controle Cinemático utilizando Quaternions

Considere o controle cinemático da orientação de um corpo rígido (e.g., um satélite). O objetivo de controle é levar a orientação de uma condição inicial $R(t_0) = R_0$ para uma condição desejada $R_d = I_{3\times 3}$. Para isto serão utilizados os quaternions como forma de representação das orientações.

Considera-se na equação cinemática do quaternion a velocidade angular ω como sendo o sinal de controle, i.e. $u = \omega$,

$$\dot{q} = \frac{1}{2}\ E(q)\ \omega = \frac{1}{2}\ E(q)\ u$$

onde q_0 e q_v são as partes escalar e vetorial do quaterion q respectivamente, e

$$E(q) = \begin{bmatrix} -q_v^T \\ q_0 I - \hat{q}_v \end{bmatrix}$$

Projete uma lei de controle, $u = K\ q_v$, para levar o sistema de $R_0 \rightarrow R_d = I$, onde $R_0 = e^{\hat{w}\theta}$ com $\omega = [0.4896,\ 0.2032,\ 0.8480]^T$ e $\theta = 2.4648\ rad$.

Simule o comportamento do sistema em malha fechada.

4 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 $\alpha = 72727\ pixels/m$ 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 $w_n = 1$):

$$x_{cd} = \begin{bmatrix} 300 + 70\ (\sin(w_n t) + \sin(1.5 w_n t)) \\ 200 + 70\ (\sin(w_n t + 1.6) + \sin(1.5 w_n t + 1.6)) \end{bmatrix};$$

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 $\phi = \pi/4$.