

Planeamento de Trajectórias

Labwork #4

Data de Entrega: 23-Dez-2018

1.

Pretende-se mover para a posição θ_{p_f} uma junta de rotação de um manipulador que se encontra em repouso na posição θ_{p_0} . O tempo de execução do movimento é definido por t_f e pretende-se realizar o movimento utilizando funções com troços parabólicos (Funções de velocidade trapezoidal). Mostre que a velocidade definida para este movimento está condicionada ao intervalo

$$\frac{\theta_{p_f} - \theta_{p_0}}{t_f} < V \leq \frac{2(\theta_{p_f} - \theta_{p_0})}{t_f}$$

para que o mesmo seja possível.

2.

Pretende-se mover a garra de um manipulador PRR da posição P_A para a posição P_B , estando as posições representadas, respectivamente, pelas matrizes de transformação

$${}^0T_{P_A} = \begin{bmatrix} 0.3536 & 0.866 & -0.3536 & 2.4142 \\ -0.6124 & 0.5 & 0.6124 & -4.1815 \\ 0.7071 & 0 & 0.7071 & 7.8284 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^0T_{P_B} = \begin{bmatrix} 0.7071 & 0 & 0.7071 & 4.8284 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -0.7071 & 0 & 0.7071 & 2.1716 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

As equações de cinemática inversa do manipulador são conhecidas e definidas por

$$d_1 = t_z - 4 \cdot n_z \quad \theta_2 = tg^{-1}\left(\frac{t_y}{t_x}\right) \quad \theta_3 = tg^{-1}\left(\frac{t_z - d_1}{C_2 \cdot t_x + S_2 \cdot t_y - 2}\right)$$

O manipulador deverá realizar a trajetória em 2 segundos e cada junta do manipulador deverá movimentar-se com velocidade constante durante metade do percurso.

- Qual a aceleração necessária em cada junta para concretizar a trajetória?
- Qual o valor da velocidade linear de cada junta?
- Qual o valor das juntas quando se inicia e finaliza o percurso em velocidade linear.

3.

Considere um manipulador PRR do qual se conhecem as expressões de cinemática inversa das juntas.

$$d_1 = t_z - 3 \cdot n_z \quad \theta_2 = \text{atan2}(t_y, t_x) \quad \theta_3 = \text{atan2}(n_z, a_z)$$

Pretende-se mover a garra do manipulador da posição P_A para a posição P_B , estando as posições representadas, respectivamente, pelas matrizes de transformação

$${}^0T_{P_A} = \begin{bmatrix} 0 & \sqrt{3}/2 & 0.5 & 1.5 \\ 0 & 0.5 & -\sqrt{3}/2 & -2.5981 \\ 1 & 0 & 0 & 6.0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^0T_{P_B} = \begin{bmatrix} 0.5 & -\sqrt{3}/2 & 0 & 3.0 \\ \sqrt{3}/2 & 0.5 & 0 & 5.1962 \\ 0 & 0 & 1 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

O manipulador deverá realizar a trajetória em 5 segundos e cada junta do manipulador deverá movimentar-se com velocidade constante durante 60% do percurso.

1. Qual a aceleração necessária em cada junta para concretizar a trajetória?
2. Qual o valor da velocidade linear de cada junta?
3. Qual o valor das juntas quando se inicia e finaliza o percurso em velocidade linear.

Se adoptasse uma estratégia de planeamento de trajetória baseada em funções polinomiais de grau 3, quais as relações de velocidade máxima por junta entre as duas abordagens?

4.

Pretende-se mover uma junta de rotação de uma posição inicial $\theta_i = -\frac{\pi}{6}$ para uma posição final $\theta_f = \frac{\pi}{4}$. O movimento deve ser realizado em 2seg, iniciando-se e terminando-se o movimento em condição de repouso, i.e, com velocidade inicial e final nula.

- I. Usando uma abordagem baseada em funções de segunda ordem (*Parabolic Blends*), mostre que é possível concretizar o movimento da junta com uma velocidade linear de amplitude igual a $|V| = \frac{\pi}{4} \text{ rad/s}$. Durante quanto tempo é possível movimentar a junta com essa velocidade?
- II. Assumindo que a junta de rotação apresenta uma aceleração máxima igual a $\frac{\pi}{8} \text{ rad/s}^2$, calcule o tempo mínimo necessário para efectuar o movimento. Qual a máxima velocidade de rotação que a junta consegue atingir? Durante quanto tempo se desloca a junta com velocidade linear?

5.

Pretende-se mover para a posição $\theta_f = 45^\circ$ uma junta de rotação de um manipulador que se encontra em repouso na posição $\theta_i = -30^\circ$, utilizando funções com troços parabólicos (Funções de velocidade trapezoidal).

- a) Sabendo que os troços parabólicos (aceleração & desaceleração) não devem apresentar um tempo de duração acumulado superior a 30% do tempo total desejado para o percurso, qual a aceleração mínima necessária para concretizar o movimento em 5 segundos?
- b) Assumindo que a amplitude da aceleração obtida anteriormente é 1/10 da aceleração máxima da junta, programe o movimento da junta entre os pontos $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ ($\theta_1 = -30^\circ$, $\theta_2 = -45^\circ$ e $\theta_3 = 45^\circ$) considerando tempos de trajetória de 2 segundos entre os pontos 1-2 e 5 segundos entre os pontos 2-3.
- c) Qual a velocidade de passagem no ponto 2?
- d) Quais as velocidades lineares em cada troço e durante que intervalo temporal se desloca a junta com velocidade linear?

LABWORK

1. Pretende-se planear a trajetória de um manipulador RPR que se move de um ponto de partida p_A até um ponto de chegada p_B em $t_f = 8$ segundos. Sabe-se que o modelo geométrico inverso do manipulador é dado por

$$\theta_1 = \text{tg}^{-1} \left(\frac{t_y - 10 \cdot a_y}{t_x - 10 \cdot a_x} \right) \quad d_2 = C_1(t_x - 10 \cdot a_x) + S_1(t_y - 10 \cdot a_y) \quad \theta_3 = \text{tg}^{-1} \left(\frac{a_y}{a_x} \right) - \theta_1$$

e que as transformações para cada um dos pontos que definem a trajetória são conhecidas e iguais a

$${}^0_A T = \begin{bmatrix} 0 & -0.2588 & 0.9659 & 23.8014 \\ 0 & -0.9659 & -0.2588 & 11.5539 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^0_i T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^0_B T = \begin{bmatrix} 0 & 0.8660 & 0.5 & 30.9808 \\ 0 & -0.5 & 0.8660 & -6.3397 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Como condições de movimento, a trajetória deve ter uma velocidade inicial e final NULA e deve integrar um ponto de passagem (*via point*) p_i no instante $t_i = 5$ (seg), para evitar a colisão com um obstáculo existente no espaço de trabalho.

- Usando funções polinomiais cúbicas para a modelização da trajetória ($p_A \rightarrow p_i \rightarrow p_B$), obtenha as expressões que permitem calcular os valores dos coeficientes das funções polinomiais (8 coeficientes), assumindo que a trajetória tem velocidades e acelerações contínuas no ponto de passagem p_i . (AJUDA : Baseie a sua análise na seguinte heurística: Se o sentido de crescimento da variável da junta se inverter, a velocidade no ponto é nula (a junta pára antes de mudar de direcção), caso contrário, a velocidade é obtida por interpolação das velocidades médias nos troços adjacentes ao ponto.)
- Implemente um algoritmo em matlab que concretize a trajetória definida anteriormente.

2.

Considere o manipulador do RR cuja matriz de parâmetros de D-H se apresenta.

	θ_i	d_i	a_i	α_i	Off_i
$0 \rightarrow 1$	θ_1	0	0	-90°	0°
$1 \rightarrow 2$	θ_2	a	0	90°	90°
$2 \rightarrow 3$	0°	l	0	0°	0°

Para movimentar o manipulador pretende-se elaborar um planeamento de trajetória com controlo das juntas. Assumindo que o comprimento dos elos é igual a 1 ($a = l = 1$) pretende-se que a trajetória do "end-effector" se inicie no ponto A, de coordenadas $P_A = \left(\frac{1+\sqrt{2}}{2}, \frac{-1+\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2} \right)$, passe pelo ponto B, de coordenadas $P_B = \left(\frac{\sqrt{2}}{2}, 1, -\frac{\sqrt{2}}{2} \right)$ e termine no ponto C, de coordenadas $P_C = \left(-1, \frac{\sqrt{2}}{2}, -\frac{\sqrt{2}}{2} \right)$.

Obtenha a função polinomial cúbica que modela a trajetória da junta.

- Desenhe as configurações do manipulador nos três pontos que definem a trajetória e indique os respectivos valores das juntas para cada configuração.
- Pretende-se que a trajetória seja efectuada em 10 segundo, devendo o manipulador efectuar o movimento entre os pontos A e B em 4 segundos, gastando 6 segundos na execução do movimento entre os pontos B e C. Obtenha as expressões das velocidades angulares das juntas função do tempo. Implemente um algoritmo em matlab que concretize a trajetória definida.

- c) Considere agora que se pretendia realizar um movimento sequencial $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow \dots$. Adapte o programa implementado em b) de modo a concretizar esse objetivo.
- d) Apresente uma solução alternativa de planeamento à realizada na alínea b) mas adoptando funções parabólicas. Considere que a aceleração máxima de cada uma das juntas é $|\ddot{\theta}| = 60^\circ / s^2$. Implemente esta solução em matlab.