

3ª Lista de Simulação - Versão 1.01
PTC3441 - Modelagem e Controle de Manipuladores Robóticos
Prof. Fábio de Oliveira Fialho

Data de entrega: esta lista deverá ser entregue via moodle do STOA USP da disciplina até às 23:00 hs do dia lá indicado.

Créditos: essa lista foi retirada dos exercícios propostos em CRAIG, J. J. “Introduction to Robotics: Mechanics and Control”, Addison-Wesley, 1989, 2nd edition. Ela foi redigida por Fabián Núñez.

Instruções para documentação do código: o MATLAB possui uma ferramenta nativa para formatação e publicação de códigos escritos em seu ambiente chamada *Publishing*. Ela permite ao mesmo tempo a programação e documentação do código, eliminando uma tarefa crítica e enfadonha de atualização manual da documentação a cada vez que uma linha de código é modificada. Dessa forma, esta será nossa ferramenta de documentação do trabalho de simulação e, assim, todas as listagens deverão ser entregues em formato *Publishing* pdf, além dos arquivos .m originais.

Objetivo: o objetivo deste trabalho de simulação é produzir um simulador de um braço robótico RRR planar. Para tanto, 3 listas de exercícios de simulação foram previstas, sendo esta a segunda da série. Elas estão divididas em tarefas relacionadas a cada capítulo da disciplina e levam gradativamente ao desenvolvimento das funções necessárias ao simulador.

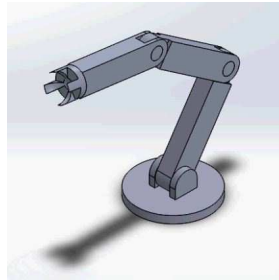


Figura 1: Manipulador planar de três juntas.

1 Geração de Trajetórias

1. Escreva um sistema de planejamento de trajetórias no espaço de juntas por interpolação cúbica.

Uma rotina que seu sistema deve incluir é:

```
function [cc]=cubcoef(th0,thdot0,thf,thdotf,T)
```

onde,

`th0` = posição inicial de θ no segmento;

`thdot0` = velocidade inicial do segmento;

`thf` = posição final de θ no segmento;

`thdotf` = velocidade final do segmento;

`T` = tempo de duração de cada segmento (seg);

`cc` = vetor de saída com os quatro coeficientes do polinômio cúbico.

Seu programa deve aceitar a especificação de n pontos intermediários na forma do sistema da ferramenta, $\{T\}$, com relação ao sistema da estação, $\{S\}$, todos na forma usual do usuário: (x, y, ϕ) . Para simplificar sua vida, todos os segmentos terão a mesma duração. Seu sistema deve solucionar o problema de determinação dos coeficientes do polinômio cúbico utilizando alguma abordagem heurística razoável para a atribuição das velocidades da junta nos pontos intermediários. **Sugestão:** Veja a opção 2 na Seção 7.3 do livro *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*.

2. Escreva um sistema gerador de caminhos que calcule a trajetória no espaço de juntas baseado nos conjuntos de coeficientes para cada segmento do exercício anterior. Ou seja, deve ser possível gerar o caminho multisegmentado que você planejou no Exercício 1. A duração para os segmentos será especificada pelo usuário. Produza gráficos temporais de posição, velocidade e aceleração na taxa de atualização do caminho, que também deve ser especificada pelo usuário.
3. O manipulador é o mesmo de três juntas usado anteriormente. As definições dos sistemas $\{T\}$ e $\{S\}$ são as mesmas usadas anteriormente:

$$\begin{aligned} {}^W_T T &= [x \ y \ \theta] = [0.1 \ 0.2 \ 30.0], \\ {}^S_T T &= [x \ y \ \theta] = [0.0 \ 0.0 \ 0.0]. \end{aligned}$$

Usando uma duração de 3 segundos por segmento, planeje e execute o caminho que começa com o manipulador na posição

$$[x_1 \ y_1 \ \phi_1] = [0.758 \ 0.173 \ 0.0],$$

movimentando-se através dos pontos intermediários

$$[x_2 \ y_2 \ \phi_2] = [0.6 \ -0.3 \ 45.0],$$

e

$$[x_3 \ y_3 \ \phi_3] = [-0.4 \ 0.3 \ 120.0],$$

e termina no ponto objetivo (neste caso, igual à posição inicial)

$$[x_4 \ y_4 \ \phi_4] = [0.758 \ 0.173 \ 0.0].$$

Utilize uma taxa de atualização de 40 Hz. Plote a posição, a velocidade e a aceleração em termos da forma Cartesiana do usuário.

2 Controle Independente por Junta

4. Desejamos simular um controlador simples de acompanhamento de trajetória para o braço planar de três juntas. Este sistema de controle será implementado como uma lei de controle PD simples independente por junta. Defina os ganhos dos servos para alcançar aproximadamente o amortecimento crítico, seguindo a metodologia proposta no cap. 8 da apostila do curso.

Use o modelo do manipulador produzido em Simulink no exercício 6 da lista 2 para simular um servo em tempo discreto. Implemente a lei de controle independente por junta rodando a 100Hz e teste o esquema de controle nas seguintes condições:

- (a) Inicialize o braço em $\Theta = (60, -110, 20)$ e comande-o para permanecer nesta posição até $t = 3$, quando o *set-point* deve mudar instantaneamente para $\Theta = (60, -50, 20)$, isto é, uma entrada degrau de 60 graus na junta 2. Plote os resultados, inclusive os erros e esforços de controle de cada junta.
 - (b) Controle o braço para seguir a trajetória cúbica do exercício da seção anterior. Plote os resultados, inclusive os erros e esforços de controle de cada junta.
5. Integre a malha de controle acima ao controle de velocidade (Resolved-Rate Control) do exercício 4 da lista 2 de simulação, ou seja, inclua no bloco Robot a dinâmica do manipulador e o controle de posição independente por junta. Assuma a existência de atrito viscoso com coeficiente $v = 5N.m$. Execute novamente os testes propostos naquele exercício, produzindo novos gráficos de saída. Compare os resultados.