

# FTL066–Programação de Sistemas de Tempo Real

## Laboratório 6

Prof. André Cavalcante  
andrecavalcante@ufam.edu.br

Novembro de 2019

### 1 Objetivos

- Criar uma simulação de um sistema de controle
- Executar a simulação criada em um OS não RT e num RTOS

### 2 Descrição

Este exercício consiste da simulação feita no exercício 4, desenvolvida completamente e executada num OS não RT e num RTOS, coma a consequente comparação da execução entre os dois.

#### 2.1 Sistema de Controle

Um robô móvel com acionamento diferencial pode ser descrito pelo modelo no espaço de estados 1:

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} \cos(x_3) & 0 \\ \sin(x_3) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} u(t) \quad (1)$$
$$y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} R \cos(x_3) \\ R \sin(x_3) \end{bmatrix}$$

onde  $x(t) = [x_c \ y_c \ \theta]^T$ , sendo  $(x_c, y_c)$  a posição do centro de massa do robô e  $\theta$  a sua orientação.  $u(t) = [v \ \omega]^T$  é a entrada do sistema, sendo  $v$  a velocidade linear e  $\omega$  a velocidade angular do robô. A saída do sistema é  $y(t)$ , correspondendo à frente do robô, cujo diâmetro é  $D = 2R = 0.6m$ .

Para este sistema tem-se:

$$\begin{aligned}
\dot{y}(t) &= \begin{bmatrix} \cos(x_3)u_1 \\ \sin(x_3)u_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -R \sin(x_3)\dot{x}_3 \\ R \cos(x_3)\dot{x}_3 \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} \cos(x_3) & -R \sin(x_3) \\ \sin(x_3) & R \cos(x_3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \\
&= L(x)u(t)
\end{aligned}$$

e portanto, como  $L(x)$  é não singular, o sistema pode ser linearizado por realimentação fazendo-se

$$u = L^{-1}(x)v \quad (2)$$

sendo  $v$  a nova entrada do sistema linearizado e desacoplado dado por

$$\dot{y}(t) = v(t) \quad (3)$$

Para controlar o sistema (3) será utilizado um controlador por modelo de referência, com  $v(t)$  dados por

$$v(t) = \begin{bmatrix} \dot{y}_{mx} + \alpha_1(y_{mx} - y_1) \\ \dot{y}_{my} + \alpha_2(y_{my} - y_2) \end{bmatrix} \quad (4)$$

sendo  $y_{mx}$  e  $y_{my}$  as saídas dos modelos de referência para a dinâmica do robô nas direções  $X$  e  $Y$ , respectivamente, dados por

$$\begin{aligned}
G_{mx}(s) &= \frac{\alpha_1}{s + \alpha_1} \\
G_{my}(s) &= \frac{\alpha_2}{s + \alpha_2}
\end{aligned}$$

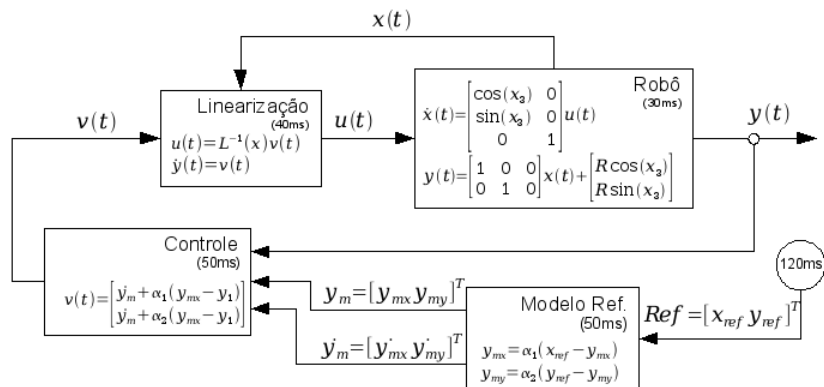
ou ainda, no domínio do tempo

$$\begin{aligned}
\dot{y}_{mx} &= \alpha_1(x_{ref} - y_{mx}) \\
\dot{y}_{my} &= \alpha_2(y_{ref} - y_{my})
\end{aligned}$$

A referência é dada por

$$\begin{aligned}
x_{ref}(t) &= \frac{5}{\pi} \cos(0.2\pi t) \\
y_{ref}(t) &= \begin{cases} \frac{5}{\pi} \sin(0.2\pi t) & , \text{ para } 0 \leq t < 10 \\ -\frac{5}{\pi} \sin(0.2\pi t) & , \text{ para } t \geq 10 \end{cases}
\end{aligned}$$

Com base nas equações acima, pode-se construir o seguinte diagrama de blocos do sistema:



## 2.2 O que fazer

1. Modifique o programa do exercício anterior para implantar todos os blocos descritos
2. Teste e execute o programa modificado em um sistema não-RT, com carga e sem carga
3. Instale um RTOS (linux-rt ou linux-rtai) em uma máquina
4. Modifique o programa anterior para sua execução em um ambiente RT
5. Execute o programa construído no modo RT, com carga e sem carga
6. Gere os gráficos dos períodos de amostragem medidos, bem como as estatísticas dos tempos e *jitters* para cada um dos casos.
7. Calcule a média, variância, desvio padrão e os valores máximo e mínimo de  $T(k)$  para cada um dos casos.
8. Faça uma tabela comparando os valores de média, variância, desvio padrão e valores máximos e mínimos do período e *jitters*, nos dois casos.
9. Criar um relatório técnico contendo
  - (a) Descrição dos objetivos
  - (b) Descrição do problema proposto
  - (c) Descrição dos programas criados
  - (d) Descrição das saídas dos programas de testes
  - (e) Tabelas e/ou gráficos das estatísticas
  - (f) Gráficos das funções executadas:
    - Referência
    - $y_c(t) \times t$
    - $x_x(t) \times t$
    - $\theta(t) \times t$
    - $x_c(t) \times y_c(t)$
  - (g) Conclusão contendo dificuldades encontradas e como foram superadas
  - (h) Referências

### 3 Entrega

- Data: 12 de dezembro 2019
- Hora: até 12:00h
- Fazer *upload* do relatório em PDF no Google Classroom
- Fazer *upload* da pasta de desenvolvimento no Google Classroom.
- Entrega em duplas.
- Não serão aceitos trabalhos iguais.
- Não serão aceitos trabalhos fora de prazo.
- No dia da entrega o trabalho será defendido na presença do professor
- A nota final deste trabalho será baseada na análise do código apresentado, no relatório e na defesa/apresentação