

# FTL066–Programação de Sistemas de Tempo Real

## Exercício 3 - 2ª Simulação de Sistemas

Prof. André Cavalcante  
andrecavalcante@ufam.edu.br

Setembro de 2017

### 1 Objetivos

- Criar uma simulação de um sistema simples
- Usar múltiplas *threads*

### 2 Descrição

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

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

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  $y(t)$ .

Faça um programa em C ou C++ para simular a resposta desse sistema para uma entrada igual a:

$$u(t) = \begin{cases} 0 & , \text{ para } t < 0 \\ \begin{bmatrix} 1 \\ 0.2\pi \end{bmatrix} & , \text{ para } 0 \leq t < 10 \\ \begin{bmatrix} 1 \\ -0.2\pi \end{bmatrix} & , \text{ para } t \geq 10 \end{cases}$$

### 3 Observações

- Utilize a estrutura gerada no exercício anterior e a expanda para este programa.
- A implementação do modelo do robô em si é algo independente do resto do programa (geração dos arquivos de dados, iterações, geração do sinal de entrada) e pode ser organizada em uma biblioteca que será reutilizada em diversos programas. Assim, faça o seguinte:
  1. Implemente uma função para cálculo de  $\dot{x}$  a partir de  $x$  e  $u$ .  $\dot{x}$  e  $x$  devem ser vetores de dimensão 3 e  $u$  deve ser um vetor de dimensão 2.
  2. Implemente uma função para cálculo de  $y$  a partir de  $x$ .
  3. Implemente uma função para cálculo do novo valor de  $x$  a partir de  $\dot{x}$  e  $x$ .
  4. As funções acima devem estar cada uma em um arquivo fonte, que deve estar dentro de um diretório de bibliotecas (lib). Este diretório deve conter um Makefile que compila os arquivos fonte e gera uma biblioteca (librobo.a, por exemplo). O arquivo header associado a esta biblioteca deve estar no diretório (include).
  5. O programa deste exercício deve estar em um outro diretório (exerc3, por exemplo), onde deve estar a função `main()` e as demais funções necessárias. Este diretório também deve ter um Makefile para gerar o programa executável.
- Considere agora o mesmo problema de simulação de um robô móvel descrito no exercício anterior. Imagine que deseja-se usar aquele programa para, com interfaces apropriadas, realizar uma animação da movimentação do robô. Para isto é necessário que o programa reproduza de forma relativamente fiel o comportamento do robô real. Isto inclui a temporização do sistema. Ou seja, os 20s que foram simulados devem ocorrer em 20s medidos pelo relógio. Isto significa que cada iteração da simulação deve ocorrer com o período de amostragem adequado.
  1. Modifique o programa do resultante das modificações anteriores para que seja executada uma iteração de simulação a cada 30 ms.
  2. No início de cada iteração, armazene o instante de tempo atual, usando, por exemplo, a função `gettimeofday()`, ou outra similar que retorne o tempo de relógio e não o tempo de CPU utilizado pelo programa.
  3. Salve os instantes de tempo em uma quarta coluna no arquivo de saída, descontando o instante de tempo inicial, ou seja, subtraia de todos os valores o instante de tempo obtido na primeira iteração. Assim, o instante inicial armazenado nesta coluna deverá ser zero.
  4. Faça um gráfico do instante do tempo medido em função do número da iteração ( $k$ ) correspondente.
  5. Faça um gráfico do período de amostragem medido,  $T(k)$  em função do valor de  $k$ . Para isto calcule  $T(k) = t(k) - t(k - 1)$ , com  $t(k) = 0$  para  $k \leq 0$ .

6. Calcule a média, variância, desvio padrão e os valores máximo e mínimo de  $T(k)$ .
7. Faça um gráfico do *jitter* do período de amostragem medido em função de  $k$ . Calcule o *jitter* por  $J(k) = T(k) - T^*$ , onde  $T^*$  é o período de amostragem ideal de 30ms.
8. Calcule a média, variância, desvio padrão e os valores máximo e mínimo de  $J(k)$ .
9. Execute novamente o programa de simulação com o computador sobrecarregado. Ou seja, execute a simulação enquanto em outra janela é executado o programa `flops[1]` e em uma terceira janela é executado um comando para listar todos os arquivos do disco (`ls -lR /`)
10. Faça uma tabela comparando os valores de média, variância, desvio padrão e valores máximos e mínimos de  $T(k)$  e  $J(k)$ , nos dois casos.

## 4 Entrega

- Data: 28 de setembro 2017
- Hora: 8h às 10h
- Entregar relatório impresso contendo:
  1. Descrição dos objetivos
  2. Descrição do problema proposto
  3. Introdução teórica
  4. Descrição da estrutura de diretórios utilizada
  5. Descrição dos arquivos fontes
  6. Os gráficos de saída gerados, comentando-os.
  7. As tabelas com as estatísticas geradas nas duas execuções
  8. Uma análise crítica dos resultados dos experimentos.
  9. Suas conclusões sobre a programação e sobre a simulação
- Enviar a pasta de desenvolvimento para o e-mail do professor, contendo, no assunto: [PTR] Exercício 3 <NOME DO ALUNO>
- Entrega individual.
- Não serão aceitos trabalhos iguais.
- Não serão aceitos trabalhos fora de prazo.