José E. de A. Junior: 20170009356

Kallil de A. Bezerra: 20180154987

Rafael de M. M. Capuano: 20180010172

Victor K. C. Sousa: 20180155278

Controle no Espaço de Estados

Brasil

Dezembro de 2020

José E. de A. Junior: 20170009356

Kallil de A. Bezerra: 20180154987

Rafael de M. M. Capuano: 20180010172

Victor K. C. Sousa: 20180155278

Controle no Espaço de Estados

Modelo canônico de Relatório Técnico e/ou Científico em conformidade com as normas ABNT apresentado à comunidade de usuários LaTeX.

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

Departamento de Engenharia da Computação e Automação – DCA

Brasil

Dezembro de 2020

Resumo

Nesse relatório serão apresentadas e descritas experiências e seus resultados, desenvolvidos no *software* Matlab. Através de diferentes simulações, foi aplicado o uso do espaço de estados para controle. Testando diferentes representações de sistema de estados, alterando suas variáveis, possibilitando observadores de estados e seguidores de referência, separadamente e em conjunto. Esse trabalho, além de reforçar o que é visto na teoria, também desenvolve melhoramentos na resolução de problemas de controle, que contribuirão no desenvolvimento de soluções de problemas reais.

Palavras-chaves: Sistemas de controle. PID. Sistemas de Estados.

Lista de ilustrações

Lista de tabelas

Sumário

Introdução

O controle automático tem desempenhado um papel vital no avanço da engenharia e da ciência. Além da sua importância em sistemas de veículos espaciais, sistemas robóticos, e semelhantes, o controle automático tornou-se uma importante parte da fabricação moderna e dos processos industriais. É possível citar o controle numérico de ferramentas e máquinas nas indústrias de manufatura, no projeto de sistemas de piloto automático em operações aeroespaciais e no projeto de carros e caminhões na indústria automobilística. O controle também é essencial no controle de pressão, temperatura, umidade e viscosidade nos processos industriais (OGATA, 2001).

As representações em espaço de estados são modelos matemáticos de um sistema, nesses modelos existem um conjunto de variáveis de entrada, saída e estados relacionados entre si por meio de equações diferenciais de primeira ordem. Essa representação fornece uma forma mais prática para modelar e analisar sistemas que possuem múltiplas entradas e saídas. O regulador de estados tem o objetivo de manter o sistema em uma condição fixa de operação, enquanto que o servo atua na saída, garantindo que os resultados estejam de acordo com um comando desejado. De forma resumida, os reguladores possuem uma boa rejeição ao distúrbio, mas apresentam dificuldades para seguir trajetórias ou sinais de referência.

1 Embasamento teórico

O controlador PID esteve em uso por mais de um século em várias formas e aplicações. Já foi popular como um dispositivo puramente mecânico, também como um dispositivo pneumático e até eletrônico. Atualmente o PID é implementado em sistemas embarcados, e os microprocessadores são essenciais nessa tarefa (WESCOTT, 2020)

As três letras que compõem o PID vem de Proporcional, Integral e Derivativo, e cada um desses elementos tem uma tarefa diferente, portanto, causam diferentes efeitos na funcionalidade de um sistema. Num típico controle PID esses elementos são orientados por uma combinação de comandos do sistema e de respostas do sinal que está sendo controlado.

1.1 Espaço de Estados

O controle no Espaço de Estados é aplicável a sistemas de múltiplas entradas e múltiplas saídas, que podem ser lineares ou não-lineares, invariantes ou variantes no tempo e com condições iniciais nulas ou não. Considera-se que o estado de um sistema no instante t_0 é a quantidade de informação em t_0 que, em combinação com a entrada $u(t)$ em $t \geq t_0$, determina univocamente o comportamento do sistema para todo $t \geq t_0$.

Assim, temos a representação de um sistema dinâmico no espaço de estados com as seguintes equações:

$$\dot{x(t)} = f(x(t), u(t), t) \tag{1.1}$$

e

$$y(t) = g(x(t), u(t), t) \tag{1.2}$$

Em que a equação 1.1 é a Equação de Estados e a 1.2 é a de Saída.

Nas equações acima $x(t)$ é o vetor de estados, $u(t)$ é o de entrada e $y(t)$ é o vetor de saída. Por último $f(\cdots)$ e $g(\cdots)$ são funções não-lineares.

Porém, se o sistema for modelado como um sistema linear e invariante no tempo, ele poderá ser representado pelas seguintes equações:

$$\dot{x(t)} = Ax(t) + Bu(t) \tag{1.3}$$

e

$$y(t) = Cx(t) + Du(t) \tag{1.4}$$

Nas equações 1.3 e 1.4 as matrizes A_{nxn},B_{nxp},C_{qxn} e D_{qxp} são os parâmetros que modelam a dinâmica do sistema. Em resumo, a realimentação de estados consistem em alocar os polos de malha fechada, modificando a dinâmica do sistema.

1.1.1 Controlabilidade

Para um sistema linear e invariante no tempo poder ser *controlável* deve existir um vetor de entrada $u(t)$ com $T > 0$ e finito, para $0 \leq t \leq T$, de forma que o sistema passe de uma condição inicial para qualquer outro estado em um intervalo de tempo. Um sistema é dito controlável se a matriz de controlabilidade U tem posto, ou seja, possui o número de linhas não-nulas, igual a ordem da matriz de estado (n). Esse conceito é importante no projeto de estabilizadores, porque descreve a capacidade de se variar um sistema sem sair dos parâmetros desejados pelo projeto.

$$U = \begin{bmatrix} B & AB & A^2B & \cdots & A^{n-1}B \end{bmatrix} \tag{1.5}$$

1.1.2 Observabilidade

Para um sistema linear e invariante no tempo poder ser *observável* deve existir um vetor de entrada $u(t)$ e de saída $t(t)$, em qualquer instante $0 \leq t \leq T$. De forma semelhante à controlabilidade, um sistema observável deve ter a matriz V com posto igual a matriz de estados (n).

$$V = \begin{bmatrix} C \\ CA \\ CA^2 \\ \vdots \\ CA^{n-1} \end{bmatrix} \tag{1.6}$$

Referências

ARAúJO, F. M. U. de. *Roteiro de laboratório 2A*. 2020. Disponível em: <http://www.dca.ufrn.br/~meneghet>. Acesso em: 20 set. 2020. Nenhuma citação no texto.

MADEIRA, D. *Controlador proporcional em sistemas de segunda ordem*. 2016. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/controlador-proporcional-em-sistemas-de-segunda-ordem/>. Acesso em: 01 nov. 2020. Nenhuma citação no texto.

OGATA, K. *Modern Control Engineering*. [S.l.]: Prentice Hall, 2001. Citado na página 6.

WESCOTT, T. *PID without a PhD*. 2020. Disponível em: <http://manuals.chudov.com/Servo-Tuning/PID-without-a-PhD.pdf>. Acesso em: 12 out. 2020. Citado na página 7.