



## Aprimoramento na filtragem de sinais para controle baseado em dados

Guilherme Coelho Fermino<sup>1</sup>, Lucíola Campestrini<sup>1</sup>

[guilherme.fermino@ufrgs.br](mailto:guilherme.fermino@ufrgs.br)

<sup>1</sup>Departamento de Sistemas Elétricos de Automação e Energia (DELAE), UFRGS, Porto Alegre, Brasil

### Motivação

#### Controle em malha fechada

Dado um sistema de controle:

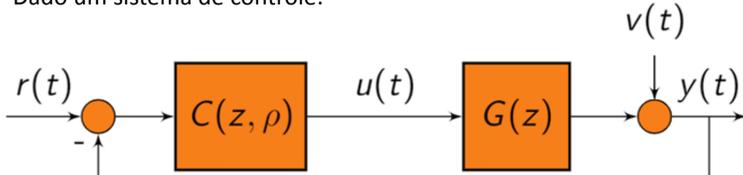


Figura 1: Diagrama de blocos de um controle em Malha fechada

Deseja-se estimar um novo  $C(z, \rho)$  utilizando apenas dados coletados em malha fechada, tentando minimizar o erro entre o sinal de saída e o sinal de referência aplicado.

### Controle baseado em dados

- Não necessita de um modelo  $G(z)$  para sintonia do controlador.
- Na grande maioria das abordagens o desempenho em malha fechada é comparado por um *modelo de referência*  $T_d(z)$ .
- Busca minimizar a função custo.

$$C(z, \rho) = \rho^T \bar{C}(z). \quad T(z) = \frac{C(z, \rho)G(z)}{1 + C(z, \rho)G(z)}$$

$$J_y(\rho) = \bar{E}[(T(z, \rho) - T_d(z))r(t)]^2$$

#### VRFT

- Necessita de apenas um conjunto de dados de entrada/saída.
- Minimiza uma função custo quadrática.

$$J(\rho) = \bar{E}[L(z)(u(t) - C(z, \rho)\bar{e}(t))]^2$$

- A fim de aproximar  $J_y(\rho)$  de  $J_y(\rho)$ , utiliza-se um filtro L. Foram testadas 3 escolhas diferentes:

$$L_1(z) = 1$$

$$L_2(z) = T_d(z)(1 - T_d(z))$$

$$L_3(z) = T_d(z)(1 - T_d(z))W(z)$$

Onde:

$$W(z) = \sigma^T \bar{W}(z) = [\sigma_n \quad \sigma_{n-1} \quad \dots \quad \sigma_1 \quad \sigma_0] \begin{bmatrix} z^{-n} \\ \dots \\ z^{-1} \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\sigma_* = \left( \sum_{t=1}^N (\bar{W}(z)u(t))^T \bar{W}(z)u(t) \right) \sum_{t=1}^N (\bar{W}(z)u(t))^T r(t)$$

O sinal  $r(t)$  é o sinal de referência a ser seguido, sendo escolhido como um degrau. A ordem de  $W(z)$  escolhida foi  $n = 15$ .

### Simulações

Foram simulados a eficácia das 3 funções  $L(z)$  mencionadas, tendo por objetivo principal calcular o ganho por estimar os espectros da filtragem, relacionando seus custos e seguindo as seguintes condições:

$$G1(z) = \frac{z}{(z-0.8)(z-0.6)} \quad C_0(z) = \frac{k(z-0.75)(z-0.45)}{z(z-1)}$$

$$G2(z) = \frac{(z-0.9)(z-0.7)}{(z-0.8)^2(z-0.6)} \quad T_d(z) = \frac{1-0.8}{z-0.8}$$

- Plantas  $G1(z)$  e  $G2(z)$
- $\bar{C}(z) \Rightarrow$  classes PI e PID
- $v(t)$  de variância de 0.01
- Controlador  $C_0(z)$
- $0.1 < k \leq 1$
- Um único  $T_d(z)$

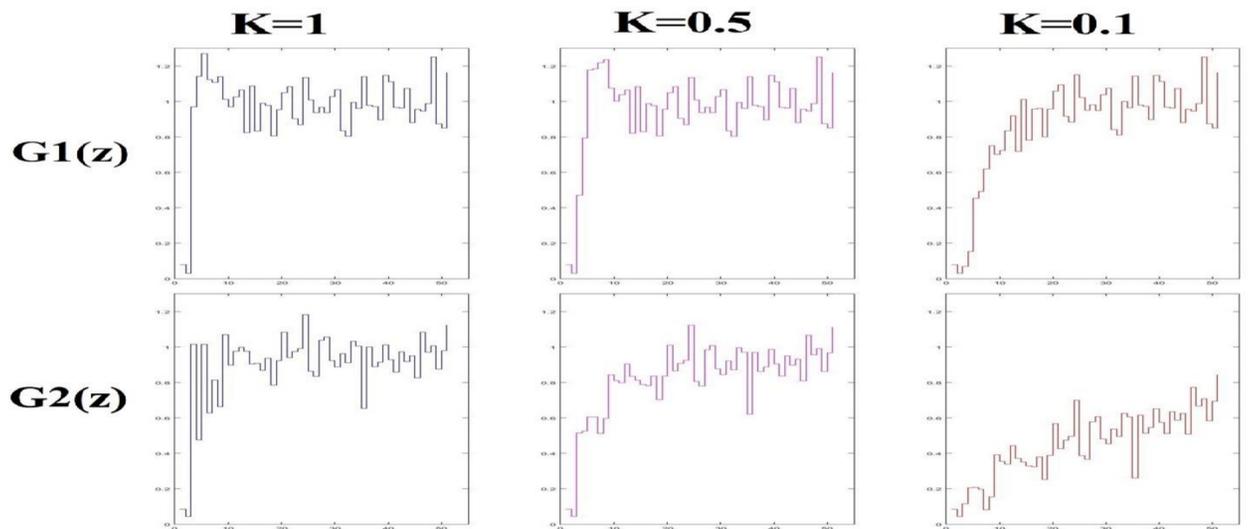


Figura 2: Ensaio de malha fechada para entrada "Salto" para plantas  $G1(z)$  e  $G2(z)$ , utilizando um mesmo controlador  $C_0(z)$  porém variando  $k$  em '1', '0.5', e '0.1'.

Além da entrada "Degrau" de 50 amostras, utilizadas para a figura 2, foram aplicadas outras entradas como:

- Entrada "PRBS", simulando um sinal randômico de entrada, contendo 500 amostras.
- Entrada "Sawtooth", simulando um sinal periódico dente de serra de 500 amostras.
- Entrada "Triangle", simulando um sinal de onda triangular de 500 amostras.

A seguir são demonstrados os resultados de custos  $J_y(\rho)$ , relacionados ao ganho "k" do controlador, obtidos com cada uma das entradas:

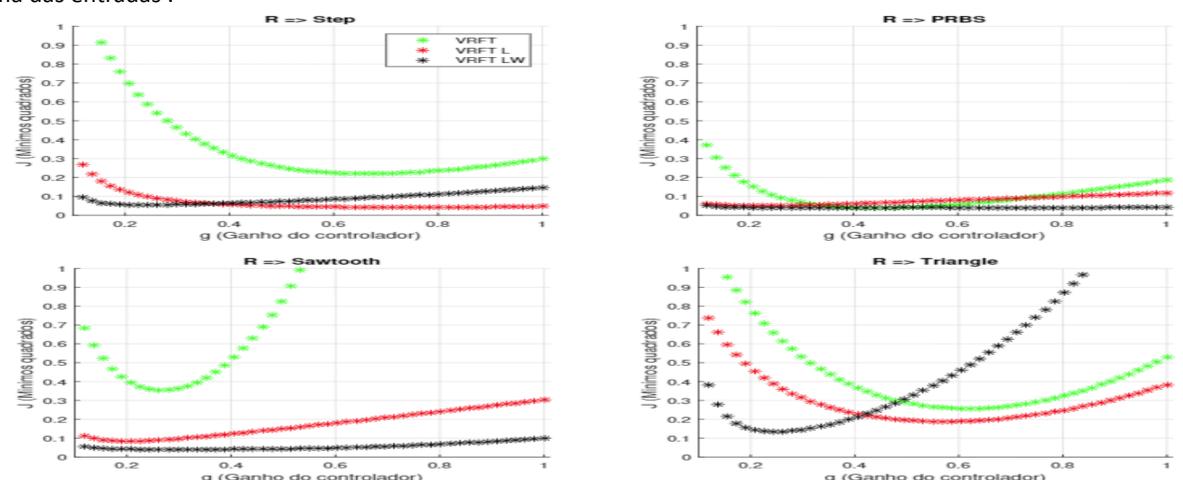


Figura 3: Gráficos de resultados "Ganho do controlador (k) / Função custo ( $L_y(z)$ )" para  $G1(z)$  e controlador PI.

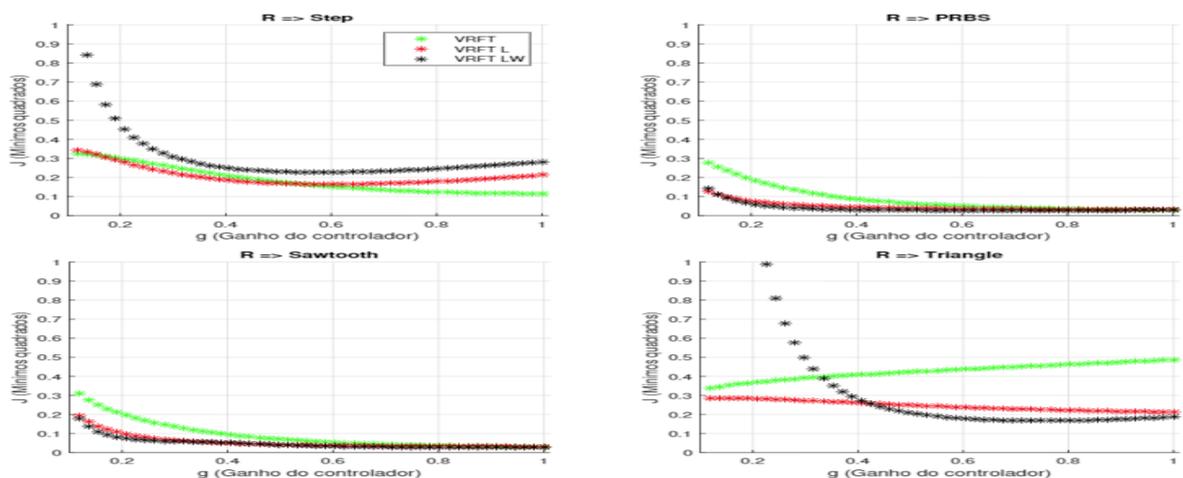


Figura 4: Gráficos de resultados "Ganho do controlador (k) / Função custo ( $L_y(z)$ )" para  $G2(z)$  e controlador PID.

### Conclusões

- Os resultados mostraram que estimar a função  $W(z)$  em  $L_3(z)$  foi benéfica, resultando uma melhor aproximação da resposta obtida com o controlador comparada com a resposta desejada.
- Foi estimado sempre um filtro FIR de ordem 15. Como trabalho futuro, pretende-se estimar a parcela  $W(z)$  com outras técnicas, bem como definir a ordem baseada em alguma característica do sistema presente nos dados coletados.