

Apresentação Final TCC

Estudo Comparativo de algoritmos de controle implementados em hardware de baixo custo para controle de temperatura em bancada didática

Discente: Gustavo C. de Souza

Orientador: Me. Daniel M. Cruz

Faculdade de Engenharia de Várzea Grande - UFMT

28 de Agosto de 2019

Sumário

- 1 Problemática
- 2 Justificativa
- 3 Solução
- 4 Metodologia
- 5 Controladores
- 6 Instrumentação da Bancada
- 7 Ensaios em malha aberta
- 8 Projeto dos Controladores
- 9 Resultados
- 10 Conclusões e Trabalhos Futuros

- Ao longo dos últimos anos, houve a popularização dos microcontroladores decorrente da queda dos preços dos componentes eletrônicos.
- Com a automação nas indústrias, onde há interconexões entre equipamentos eletrônicos, permitindo índices maiores de produção, entretanto, paralelamente surge maiores exigências dentro dos processos de produção para manter a qualidade do produto, fazendo-se necessário o uso de controladores para cumprir com tal.

- Tendo em vista a necessidade de reduzir custos para estes processos, faz-se necessário um estudo que possibilite avaliar a viabilidade destes algoritmos quando implementados em hardwares de baixo custo, verificando a capacidade de controle destes e as dificuldades de implementação.

Table 1: Comparativo de preços para aquisição de controladores PID Universais.

PID	Fabricante	Modelo	Valor (R\$)
1	MYPIN	T4AIRR	480,00
2	Novus	N1100	520,00
3	Novus	N480d	614,80
4	Novus	N2000	780,00
5	Novus	N1200	790,00
6	ABB	CM10	2600,00

- Baseando-se na necessidade de redução de custos, avaliou-se a implementação dos algoritmos de controle em três plataformas de baixo custo, sendo o Arduino selecionado pelo preço, além do hardware atender as necessidades de projeto.

Table 2: Comparativo das plataformas

Plataforma	Clock	GPIO	SRAM	Preço
Arduino	16 MHz	14	2 KB	R\$ 25.75
Raspberry	1.4 GHz	40	1 GB	R\$ 170.00
Pic16f84 (Kit)	10 MHz	13	264 KB	R\$ 70.00

- Estudo das estratégias de controle (PID 2DOF e Seguidor de Referência por Integradores).
- Escolha do hardware para implementação dos algoritmos.
- Instrumentação e organização da bancada didática.
- Ensaios em malha.

- Projeto dos controladores.
- Implementação dos controladores PID 2DOF e realimentação de estados com seguimento de referência por integradores no hardware de baixo custo.
- Coleta de dados para avaliar a performance do controlador no microcontrolador selecionado.

PID 2DOF

- O PID com dois graus de liberdades (2DOF) inclui pesos nos termos proporcional e derivativo. Um controlador PID 2DOF é capaz de seguir a referência com reduções significativas no overshoot [1] - [3].

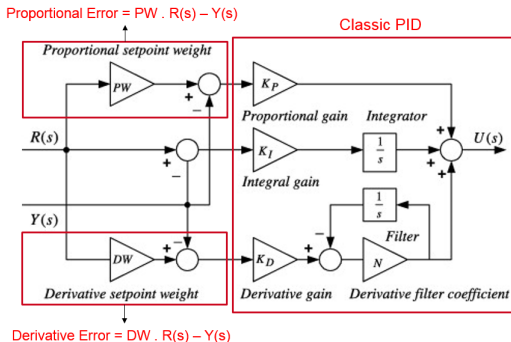


Figure 1: Rastreamento com Integradores. Fonte: Debnath, M. K.

Seguidor de Referência com Integradores

- Realimentação de estados (seguimento com integradores) segundo [2], é uma alternativa de controle, do qual garante erro nulo no regime permanente para as entradas do tipo degrau, além de ser uma estratégia mais viável para sistemas mais complexos (MIMO).

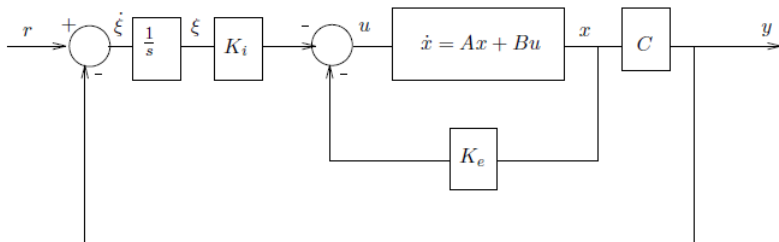


Figure 2: Rastreamento com Integradores. Fonte: [2]

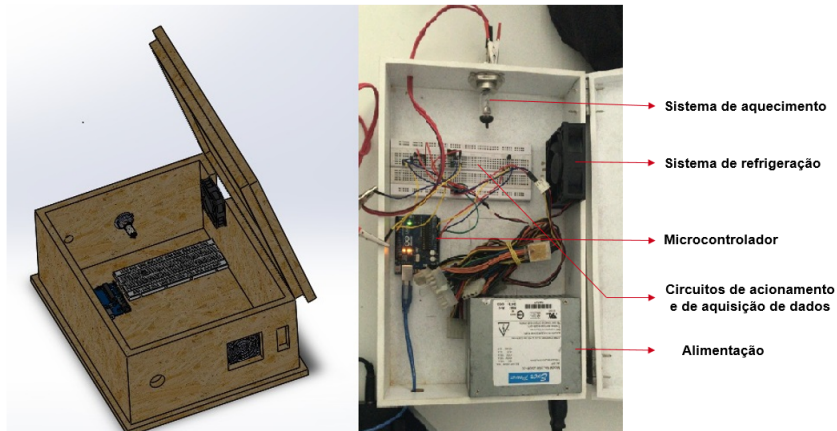


Figure 3: Bancada didática

Ensaio em Malha aberta

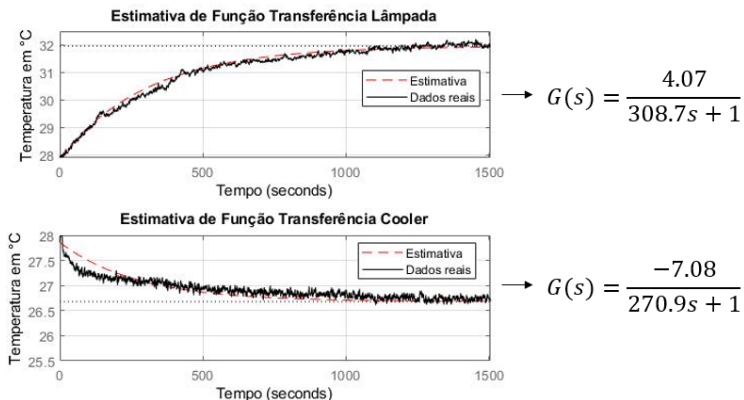


Figure 4: Resposta ao degrau com estimativa de função transferência

Requisitos do projeto

- Para o projeto do controlador, definiu-se que em malha fechada, o sistema deveria alcançar um tempo 6x menor que o tempo em malha aberta, isto é, um tempo menor que 200 segundos.
- Em relação aos sobressinal, o máximo permitido no projeto é de 15%
- Além destes requisitos, deseja-se que o controlador tenha erro nulo, quando submetido a entradas do tipo degrau, além de ser capaz de rejeitar perturbações.

- Com os requisitos e as FT's características do sistema, desenvolveu-se o projeto do controlador em tempo contínuo, posteriormente discretizando-o para obter as constantes de ajuste.
- Com o projeto, pode-se obter os seguintes valores para ajuste do controlador: $K_p = -38$, $K_i = -3$, $K_d = -0.1$ e $b = c = 0.8$
- Tempo de amostragem de 25 ms

- Para este controlador, alocou-se os pólos em malha fechada para obter uma resposta semelhante a obtida com o PID 2DOF, sendo assim, mantendo o sistema dentro dos requisitos estabelecidos no projeto.
- Com o projeto, pode-se obter os seguintes valores para ajuste do controlador: $K_e = 49.9131$ e $K_i = 4.0562$.

Resposta em MF: PID 2DOF

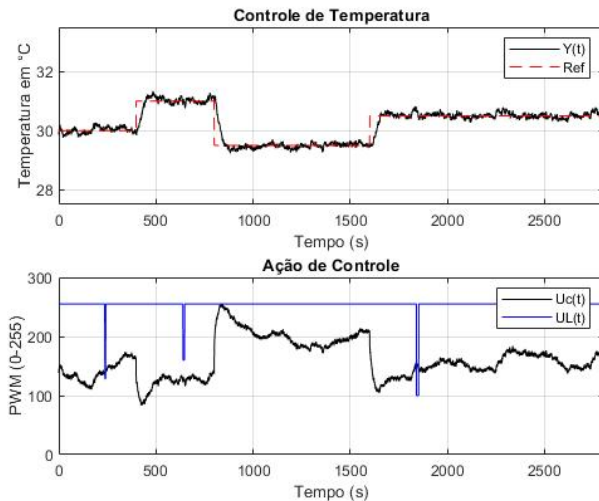


Figure 5: Dinâmica do processo em malha fechada com o PID 2DOF.

Resposta em MF: PID

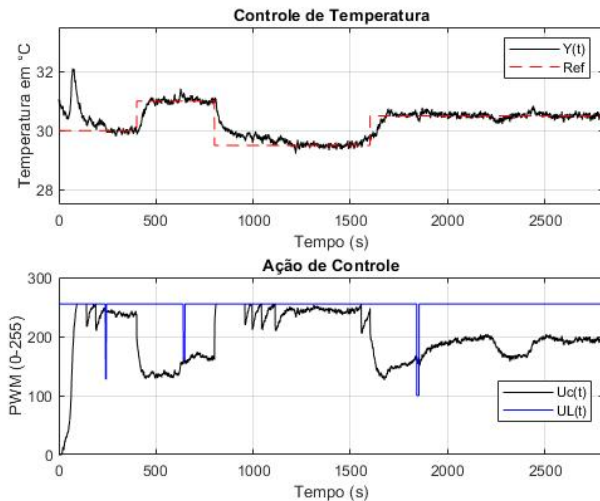


Figure 6: Dinâmica do processo em malha fechada com o PID.

Comparativo entre PID e PID 2DOF em MF

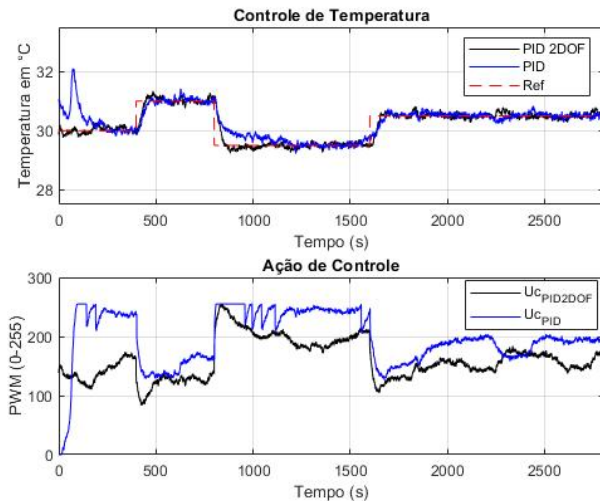


Figure 7: Comparativo entre as estratégias de controle.

Resposta em MF: Seguidor de Ref com Integradores

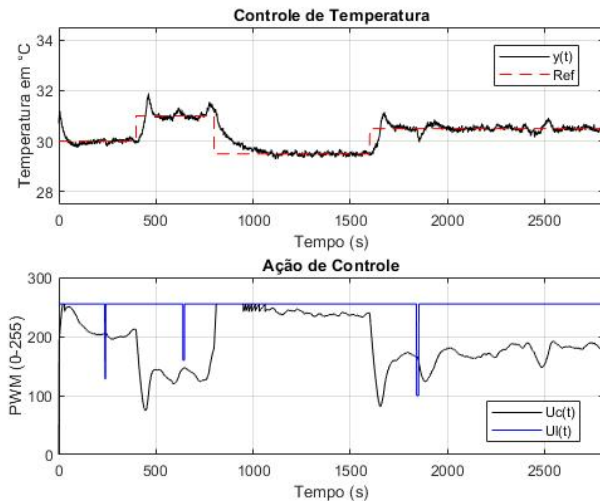


Figure 8: Ação do Controlador.

- Executando apenas uma amostra, é possível determinar o tempo necessário para a execução de um ciclo de cálculo de cada estratégia de controle implementada no hardware.

Table 3: Tempo necessário para a execução dos cálculos.

Estratégia	T_s (ms)
PID	20.4
PID 2DOF	20.5
SS	23

- Com auxílio da IDE do microcontrolador, é possível obter o espaço necessário na memória do uC para a implementação das estratégias de controle.

Table 4: Ocupação dos algoritmos na memória do Hardware.

Estratégia	Memória de Programa (%)	Memória Dinâmica (%)
PID	17	33
PID 2DOF	17	33
SS	16	32

- Adicionando mais uma malha de controle PID e expandindo as matrizes para ordem 2, executou-se novamente mais uma amostra e coletou-se os tempos abaixo.

Table 5: Tempo necessário para a execução dos cálculos para sistemas maiores.

Estratégia	T_s (ms)
PID	24.7
PID 2DOF	24.7
SS	23.2

Desempenho do Hardware para MIMO: Memória

- Com esta expansão, pode-se identificar um aumento na ocupação da memória do microcontrolador, entretanto, para matrizes maiores ou iguais a ordem 2, para SS, estes números permanecem estáveis.

Table 6: Ocupação dos algoritmos na memória do Hardware para sistemas maiores.

Estratégia	Memória de Programa (%)	Memória Dinâmica (%)
PID	17	36
PID 2DOF	17	36
SS	19	39

- Anti wind-up.
- Saturação na ação de controle
- Filtro média móvel para limpar os ruídos inerentes da aquisição de dados.

- Com este hardware em conjunto com as estratégias de controle implementadas, pode-se controlar sistemas, dos quais, o tempo de amostragem é superior a 25 *ms*.
- Se retirar a interface de visualização, pode-se obter tempos menores para a execução de um ciclo de cálculo.
- Para sistemas menores, o SS torna-se inviável, tanto pela complexidade de projeto, quanto pelo desempenho observado no hardware, entretanto, para sistemas maiores, enquanto o os PID's necessitam de mais espaço de armazenamento, e o tempo de amostragem é aumentado, o SS permanece índices estáveis de ocupação nas memórias além de deter menos parâmetros para ajustar.

- Implementar as estratégias de controle em diferentes plataformas, assim, observando as diferenças entre as performances, selecionando o melhor hardware para a implementação destes controladores, levando em conta, o preço de aquisição e o desempenho.
- Nesta implementação, utilizou-se o filtro de média móvel para limpar as medições de temperatura, entretanto, esta estratégia, ocupa um percentual de 14% da memória com a janela utilizada, desta forma outras alternativas podem ser pensadas, afim de diminuir estes índices.
- Implementar filtro de Kalman no SS para melhorar a estratégia de controle

- 1 MATHWORKS. Two-Degree-of-Freedom PID Controllers . 2013. MathWorks PID 2DOF. Disponível em:
<https://www.mathworks.com/help/control/ug/two-degree-of-freedom-2-dof-pid-controllers.html>. Acesso em: 21 dez. 2018.
- 2 OGATA, K. Modern Control Engineering . 4th. ed. [S.l.]: PEARSON PRENTICE HALL, 2002.
- 3 ÅSTRÖM, K. J.; HAGGLUND, T. The Future of PID Control . [S.l.]: Control Engineering Practice, 2001

- Obrigado pela presença de todos!