

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/263469336>

ARDUINO COMO PLATAFORMA PARA ENSINO DE CONTROLE FUZZY EM ENGENHARIA

Conference Paper · September 2013

CITATION

1

READS

1,338

2 authors:



[Karla Bueno](#)

Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

1 PUBLICATION 1 CITATION

[SEE PROFILE](#)



[Renato Pereira](#)

Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

26 PUBLICATIONS 56 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

ARDUINO COMO PLATAFORMA PARA ENSINO DE CONTROLE FUZZY EM ENGENHARIA

BUENO, Karla Taís Lutkemeyer

Acadêmica do Curso de Engenharia Bioquímica da Universidade Federal do Rio Grande
karlalbueno@gmail.com

PEREIRA FILHO, Renato Dutra

Professor/Pesquisador do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande
renatodutrapereira@gmail.com

Resumo. *Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de programar um simulador dinâmico do comportamento do nível de um tanque operando em malha fechada com controle automático, na plataforma livre Arduino, com a finalidade de testar o desempenho do microcontrolador de 8 bits ATMEGA 328, em tarefas de simulação e também usá-lo em atividades de ensino do curso de Engenharia Química e Bioquímica da FURG, para complementar a aprendizagem dos alunos na disciplina de Controle de Processos (Bio)Químicos. O tanque foi modelado matematicamente, programou-se em Scilab 5.4.1 o simulador dinâmico, para teste já com o sistema em malha fechada com o controlador Fuzzy tipo P-Sugeno, após foi implementada a programação em C++ compatível com o Arduino, usou-se como medida de desempenho o somatório do erro quadrático, ISE, e por fim, fez-se o teste em simulação do modelo implementado. Os resultados da implementação do controlador em simulação no hardware Arduino foram satisfatórios e promissores para aplicação dessa plataforma no ensino e na pesquisa em Engenharia Química.*

Palavras-chave: Hardware Livre, Microcontroladores, Simulação em Engenharia Química

1. INTRODUÇÃO

Um microcontrolador é um sistema computacional completo, o qual é utilizado para controlar processos lógicos. O Arduino é um exemplo de microcontrolador que possui hardware e software livres – *open source* - e pode ser programado através de uma linguagem de alto nível baseada em C/C++ (BANZI, 2011).

É vantajoso utilizar o Arduino no ensino de engenharia, nas disciplinas de controle e automação, porque reduz custos de aquisição de hardware, é fácil de manusear e permite integração com outras ferramentas de automação através das suas entradas/saídas analógicas e digitais. Além disso, a plataforma Arduino permite o rápido domínio de técnicas de montagens eletrônicas por usuários que tenham pouca ou nenhuma experiência com eletrônica analógica/digital. A possibilidade de desenvolver malhas de controle automático, por si só, representa para os estudantes, uma oportunidade bastante rica e recompensadora, por permitir a aplicação dos conceitos teóricos de projeto, teste e sintonia de sistemas de controle automático, em um protótipo físico.

A lógica *Fuzzy*, que trata de valores aproximados através de um conjunto de regras linguísticas do tipo “se-então”, foi desenvolvida por Zadeh (1965) e aplicada

inicialmente em controle de processos químicos por Mandani e colaborador (1975).

Os objetivos do presente trabalho foram modelar o comportamento dinâmico de um sistema de nível de tanque, programar em Arduino o simulador dinâmico correspondente ao modelo construído usando o método numérico de Euler para a solução do sistema de equações diferenciais ordinárias, construir um controlador *Fuzzy* do tipo Sugeno em malha fechada no simulador dinâmico no Arduino e, por fim, testar o desempenho e a estabilidade do sistema em simulação usando o microcontrolador ATMEGA 328, unidade de processamento do Arduino Nano.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi modelado matematicamente o comportamento do nível de líquido em um tanque aberto com vazão de saída manipulada através de válvula de controle, onde o objetivo era manter o nível de líquido no tanque próximo ao setpoint (LUYBEN, 1990). A vazão de entrada sofria uma perturbação de forma conhecida em determinado instante de tempo. O balanço material na forma diferencial juntamente com a equação constitutiva da válvula foi resolvido numericamente através do método de Euler de solução de EDOs:

$$h_{n+1} = h_n + \text{passo} \cdot dh/dt \quad (1)$$

Onde h_{n+1} é o nível no instante posterior ao cálculo da aproximação da derivada dh/dt ; h_n é o nível atual ou no instante t ; e dh/dt é a aproximação da taxa de variação do nível com o tempo e passo é o intervalo de integração do método de Euler.

Considerando a temperatura, a pressão e área constantes, as equações utilizadas para o equacionamento do tanque foram as seguintes:

$$F_o = C_v \cdot \sqrt{\rho g h} \quad (2)$$

$$dh/dt = (F_i - F_o)/A \quad (3)$$

Onde F_o é a vazão de saída; F_i é a vazão de entrada; A é a área da tubulação; ρ é a massa específica do fluido; g é a aceleração da gravidade; e h é o nível do tanque.

A programação do modelo desenvolvido foi implementada em Scilab 5.4.1 e, posteriormente, adaptada para linguagem C++ do compilador Arduino e testado.

Implementou-se o controlador *Fuzzy* do tipo Sugeno (TAKAGI apud JAGER, 1995) proporcional em malha fechada no simulador dinâmico, conforme a Figura 1.

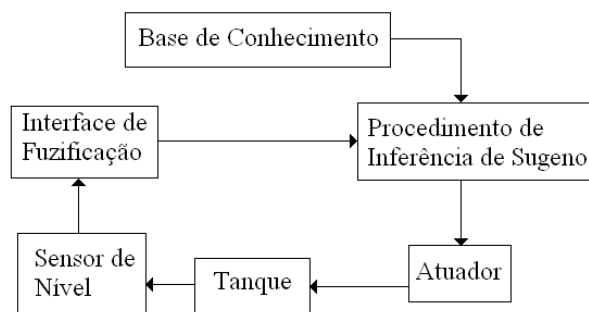


Figura 1: Malha fechada do controlador com processo em simulação.

A vantagem do uso do controlador *Fuzzy* do tipo Sugeno sobre o Controlador *Fuzzy* do tipo Mandani é que a ação determinada pelo algoritmo do tipo Sugeno já se encontra no domínio real, não necessitando de procedimento de defuzzificação (DRIANKOV, 1996).

A sintonia do controlador *Fuzzy* proporcional do tipo Sugeno é feita através dos parâmetros ganho do controlador e escala do erro (TAKAGI apud JAGER, 1995).

Para avaliar o desempenho da resposta em malha fechada do sistema com o controlador *Fuzzy* tipo P-Sugeno, foi usado o índice ISE, o somatório do erro quadrático, ao longo do tempo e comparado com um controlador proporcional convencional implementado de forma semelhante à estrutura desenvolvida.

Foi usado na implementação o Arduino Nano que possui 14 pinos digitais, dos quais 6 são providos de PWM (modulação por largura de pulso), 8 pinos analógicos e é alimentado com uma tensão de 5 V (McROBERTS, 2013). O uso desse microcontrolador representa um desafio pelo fato do mesmo ser baseado em 8 bits e em uma frequência de clock de 18 MHz somente, bem como por apresentar pouca memória, respectivamente 32 Kbytes de RAM e 1 Kbytes de Rom. (BANZI, 2011). A faixa de preço do Arduino Nano no mercado brasileiro em 2013 é de R\$ 40,00 a R\$ 80,00.

3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na simulação em malha aberta em Scilab obteve-se o resultado esperado com exatidão apropriada, usando o método de Euler. Observou-se que o tempo de execução do programa aumenta com a implementação do controlador *Fuzzy* proporcional, quando comparado com o proporcional, atingindo cerca de 50 segundos para rodar o código com 700 iterações, um tempo relativamente pequeno considerando a frequência de clock do microcontrolador ATMEGA 328 de 18MHz.

O desempenho do controlador Sugeno foi comparado com o de um controlador proporcional convencional, em função das sintonias, usando o processamento no Arduino. O menor somatório do erro quadrático (ISE) com controlador *Fuzzy* foi de $7,59 \text{ m}^2$ e o menor ISE com controlador proporcional convencional foi de $7,91 \text{ m}^2$, o que demonstra um desempenho ligeiramente melhor do controlador *Fuzzy*, quanto ao somatório do erro quadrático.

As duas implementações, *Fuzzy* e convencional, tiveram o mesmo caráter oscilatório da resposta dinâmica com amplitude fixa, aumentando a frequência de oscilação com aumento dos ganhos, o que

era esperado pelo uso de uma lei de controle tão simples.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No desenvolvimento deste trabalho foi modelado o comportamento dinâmico de um sistema de nível de tanque e, posteriormente implementado em Scilab o qual serviu de base para adaptação do simulador para a plataforma de hardware livre Arduino. O controlador implementado em simulação no Arduino foi do tipo proporcional Fuzzy-Sugeno apresentando desempenho dinâmico compatível com a literatura (DRIANKOV, 1996). A adoção da plataforma Arduino para ensino e pesquisa em automação de processos em Engenharias Química e Bioquímica representará a disponibilidade de uma ferramenta de fácil aquisição e manuseio para professores, estudantes e pesquisadores. Apesar do hardware modesto, especialmente por não apresentar unidade de coprocessamento numérico, o Arduino foi capaz de executar a simulação dinâmica e processar em tempo hábil as corridas em simulação nele executadas.

A resposta dinâmica do sistema simulado em malha fechada com o controlador desenvolvido foi estável.

Agradecimentos

À Universidade Federal do Rio Grande pelo fomento ao projeto.

4. REFERÊNCIAS

BANZI, M., **Primeiros Passos com o Arduino**, Novatec Editora Ltda, São Paulo, 2011.

DRIANKOV, D., HELLENDORRN, H., REINFRANK, M. **An Introduction to Fuzzy Control**. 2nd Ed., Springer-Verlag, New York, 1996.

LUYBEN, W.L., **Process Modeling Simulation and Control for Chemical Engineers**, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 1990.

MAMDANI, E. H., ASSILIAN, S., An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller. **International Journal of Man-Machine Studies**, 7, pp. 1-13, 1975.

McROBERTS, M, **Arduino Básico**, 3^a reimpressão, Novatec Editora Ltda, São Paulo, 2013.

JAGER, R. , **Fuzzy Logic in Control** , ISBN 9090083189, 1995.

ZADEH, L. A., Fuzzy Sets. **Information and Control**, 8, pp 338-353, 1965.