



ENSINO DE CONTROLE *FUZZY* USANDO MATLAB/SIMULINK: UMA ABORDAGEM BASEADA EM COMPETIÇÃO

Tiago Francesconi – tiagofrancesconi@hotmail.com

Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Grupo Produção
Graduação em Engenharia Mecatrônica (Controle e Automação)
Rua Imaculada Conceição, 1155, CEP 80215-901 – Curitiba - Paraná

Ricardo Artigas Langer – ricardo_langer@hotmail.com

Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Grupo Produção
Graduação em Engenharia Mecatrônica (Controle e Automação)
Rua Imaculada Conceição, 1155, CEP 80215-901 – Curitiba - Paraná

Leandro dos Santos Coelho – leandro.coelho@pucpr.br

Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Grupo Produção
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas
Laboratório de Automação e Sistemas, Rua Imaculada Conceição, 1155
CEP 80215-901 – Curitiba - Paraná

***Resumo:** Este artigo apresenta os resultados da realização de uma competição na disciplina de Inteligência Artificial. Esta disciplina é oferecida em um curso de graduação em Engenharia Mecatrônica (Controle e Automação) da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Os alunos utilizam a teoria de controle fuzzy para um projeto que consiste de uma competição para grupos de dois a três alunos. A competição requer dos alunos o projeto de um controlador fuzzy para a realização da tarefa de controlar uma válvula de controle não-linear usando ambiente computacional Matlab/Simulink. Esta abordagem de realizar competição entre os alunos tem encorajado muitos alunos a procurar pesquisa na área de inteligência artificial.*

***Palavras-chave:** ensino em engenharia, controle de processos, controle fuzzy, inteligência artificial.*

1. INTRODUÇÃO

Devido ao desenvolvimento de tecnologias cada vez mais sofisticadas tem existido um aumento da necessidade por novas abordagens em engenharia a fim de resolver problemas mais complexos. Como um resultado é extremamente evidente que a eletrônica, computação, sistemas de controle e mecatrônica tenham começado a ser áreas da engenharia com maior influência no meio industrial.

Os avanços rápidos da tecnologia, nos últimos anos, têm um grande impacto na reforma da educação em Engenharia, afetando o estado, metas e estratégias de ensino-aprendizagem no meio acadêmico e industrial. Os estudantes necessitam ter presente nos seus estudos em

Engenharia abordagens práticas que os exponham a um ambiente o mais próximo possível ambiente de trabalho de um engenheiro formado. Neste contexto, a inteligência artificial é uma área multidisciplinar que motiva o desenvolvimento de aplicações práticas e o cruzamento de fronteiras entre disciplinas tradicionais dos cursos de Engenharia.

Diversos exemplos diferentes em torno da educação em Engenharia, principalmente em Controle e Automação, Elétrica, Mecânica e Computação, tem sido iniciados em diversas universidades ao redor do mundo para o ensino nos cursos de graduação de tópicos de robótica (VERNER *et al.*, 1999; GEROVICH *et al.*, 2003), controle de processos (GARCIA & HECK, 1999; PENA *et al.*, 2001) e inteligência artificial (YURKOVICH & PASSINO, 1999; CAO & WU, 1999; KELLER, 2000; JURADO *et al.*, 2002). Estes exemplos incluem a realização de projetos, experimentos práticos e competições entre alunos como forma de motivar o aprendizado, uso da criatividade e a integração entre alunos. Segundo HEARST (1994), existem grandes dificuldades dos professores quando do ensino, de forma abrangente e acessível, aos alunos de tópicos na área de inteligência artificial.

Este artigo trata de uma competição entre alunos na realização de um projeto na área de controle *fuzzy*. Este projeto é parte do conteúdo da disciplina de Inteligência Artificial, uma disciplina ministrada para os estudantes do 9º semestre, do curso de Engenharia Mecatrônica (Controle e Automação), da Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

A disciplina de Inteligência Artificial tem um caráter multidisciplinar, pois abrange fundamentos, aplicações industriais e metodologias para análise projeto de algoritmos genéticos, sistemas *fuzzy* (ou sistemas nebulosos) e redes neurais artificiais.

A teoria de inteligência artificial é muito conceitual. Conforme BERNSTEIN (1999), a educação deve ser ambas conceitual e experimental, pois conceitos abstratos são elegantes e poderosos, mas o aprendizado é sempre aprimorado pela experiência direta. Neste artigo são apresentados os conceitos e um estudo de caso da aplicação de uma competição entre os alunos da disciplina de Inteligência Artificial. Neste caso, os alunos têm de realizar seu projeto, que consiste de otimizar um controlador *fuzzy* de forma a obter o menor valor de uma função custo (soma do erro quadrático) em ambiente Matlab/Simulink. Para isto, os alunos podem se valer de qualquer técnica de projeto, como por exemplo, heurísticas de projeto, técnicas de tentativa e erro, otimização não-linear e algoritmos genéticos.

O artigo é organizado da seguinte forma. Alguns comentários relacionados à realização de competições como abordagem motivadora ao aprendizado dos alunos são realizados na seção 2. Nas seções 3 e 4 são apresentados os fundamentos de controle *fuzzy* e do estudo de caso alvo da competição, respectivamente. A conclusão é apresentada na seção 5.

2. COMPETIÇÃO: UMA ABORDAGEM MOTIVADORA AO APRENDIZADO

As metas de uma competição têm freqüentemente uma superfície de intersecção com tópicos enfocados pela educação. Entretanto, o foco da competição é a determinação de um vencedor baseado no seu desempenho em um determinado projeto, enquanto o foco da educação concentra-se no ensino de métodos, no entanto estes métodos podem levar ao sucesso de um aluno ou grupo de alunos em uma competição acadêmica (MURPHY, 2001).

Os professores de Engenharia, em sua maioria, utilizam uma variedade de técnicas na sala de aula, exercícios de laboratório e projetos para garantir que cada um tenha a oportunidade de encontrar os objetivos de aprendizado propostos pelo professor.

O modelo de Perry (PERRY, 1970; PAVELICH & MOORE, 1993) sugere que uma competição pode ajudar na maturidade intelectual dos estudantes que estão começando a aceitar que existe mais que uma resposta certa para um problema “prático”. A abordagem

primária de um professor é como identificar e integrar aspectos apropriados de uma competição em um laboratório e/ou em requerimentos de projeto solicitado aos alunos.

As competições podem ser um canalizador de aprendizado por parte dos alunos, pois providenciam uma motivação adicional para os alunos amadurecerem de acordo com o modelo de desenvolvimento intelectual de Perry (PERRY, 1970; CULVER *et al.*, 1990; PAVELICH, 1996).

O modelo de Perry define nove estágios de aprimoramento do raciocínio complexo. Em síntese, o modelo pode ser resumido por:

- posições 1 e 2 (dualismo): reflete a atitude do aluno, onde respostas certas e erradas existem para todos os problemas;
- posição 3 (multiplicidade precoce): os alunos aprendem que o conhecimento inclui métodos para resolução de problemas e que pode existir mais que uma resposta certa para um problema;
- posição 4 (multiplicidade “aprimorada”): quando os alunos começam a pensar e analisar sobre a diversidade das soluções possíveis;
- posição 5 (relativismo): os alunos avaliam as soluções sobre diferentes contextos;
- posições 6 a 9 (variantes do relativismo): os alunos são aptos a levar em conta que o mundo é um lugar de mudanças.

Uma competição envolve um problema claramente definido, mas de final imprevisto pois existem muitas soluções possíveis. O estudante deve conhecer o problema proposto em detalhes e aplicar seu conhecimento e métodos de resolução de problemas, o que engloba as posições 1 a 3 do modelo de Perry.

O trabalho voluntário e cooperativo entre estudantes encoraja a identificar e avaliar um fluxo das mais variadas opiniões, incluindo-se a literatura científica, professores e outros estudantes, que levam os estudantes para a posição 4. A organização de uma equipe típica de alunos mais a colaboração de um professor (instrutor) leva a realização das posições 5 a 9 do relativismo, onde o professor serve como um consultor em vez de um árbitro.

Em síntese, as metas da competição, como caminho oposto a aplicações potenciais da inteligência artificial, servem para exploração de aspectos conceituais de aplicação do conhecimento. No contexto deste artigo, a competição de projetos de controle *fuzzy* foi usada como um exercício de aprendizado em sala de aula.

3. FUNDAMENTOS DE CONTROLE *FUZZY*

Nos últimos anos nota-se um acentuado crescimento do número de aplicações e sofisticação dos sistemas de controle avançados que empregam conceitos da teoria dos conjuntos *fuzzy*, denominados de sistemas *fuzzy* (ou nebulosos). A contribuição central dos sistemas *fuzzy* é a de tratar-se de uma metodologia apta ao tratamento de imprecisão, raciocínio aproximado, sistemas baseados em regras e manipulação de termos lingüísticos.

Os sistemas *fuzzy* são ferramentas poderosas que possibilitam a expressão de conceitos que não sejam bem definidos, onde usualmente é empregado um nome ou adjetivo para descrevê-lo. A concepção lingüística da teoria dos sistemas *fuzzy* possibilita a fusão de processamento simbólico e computação numérica, provendo uma metodologia apta a tratar problemas de decisão e controle, motivando a implementação de controladores *fuzzy*.

Entre as vantagens do controladores *fuzzy* sobre os controladores convencionais têm-se: (i) não necessitam do modelo matemático do processo; (ii) podem trabalhar com entradas imprecisas, (iii) tratam processos complexos, com características de comportamento não-

linear, elevada ordem, atraso de transporte, e sistemas “mal” definidos, (iv) possibilitam a implementação do conhecimento e experiência de especialistas utilizando regras lingüísticas.

Para implementar um controlador *fuzzy*, o projetista necessita não somente de heurística, mas também de alguns procedimentos teóricos na síntese e análise do projeto. A concepção de um controlador *fuzzy* é geralmente um projeto de controle não-linear. Assim é uma tarefa difícil examinar-se a influência de cada parâmetro no desempenho e robustez do seu projeto. O procedimento de projeto adotado para o controlador *fuzzy* baseado em regras é sintetizado pelos seguintes passos: (i) definir as funções de pertinência das entradas e das saídas; (ii) selecionar as entradas de controle; (iii) especificar as regras associadas às funções de pertinência; (iv) selecionar o método de inferência associado as regras de produção; (v) selecionar o método de desnebulização; e (vi) avaliação do controlador.

Um dos primeiros tipos de controladores nebulosos propostos na literatura e a serem usados comercialmente é controlador nebuloso baseado em regras. Os controladores nebulosos baseados em regras foram primeiramente descritos por MAMDANI & ASSILIAN (1975).

Este tipo de controlador é constituído de um conjunto de regras relativamente simples que descrevem como a variável manipulada deve mudar em resposta a mudanças na variável controlada, e em alguns controladores, a mudanças na variável de perturbação. Estas regras são freqüentemente obtidas pela entrevista com operadores (ou especialistas humanos) do processo, e então usando engenharia do conhecimento para obtenção de um base de regras consistente e completa.

Em síntese, o desenvolvimento de um controlador *fuzzy* convencional baseado em regras é orientado por controlador. O comportamento de um operador ou especialista humano (controlador) é modelado por regras lingüísticas de controle. Um modelo analítico do processo não é necessário, mas uma “hipótese” aproximada do comportamento do processo. Este procedimento apresenta vantagens para processos industriais complexos de serem descritos por equações analíticas. A desvantagem é que não é possível provar a estabilidade em malha fechada do sistema de controle sem um modelo analítico do processo. Adicionalmente a isto, a busca heurística por regras de controle *fuzzy* pode consumir muito tempo e não existe garantia que um controlador *fuzzy* útil e que atenda as especificações de projeto seja encontrado.

Entretanto, existem algumas dificuldades da abordagem convencional de projeto de um controlador *fuzzy*. A primeira, o projeto de um controlador *fuzzy* requer um conhecimento confiável obtido *a priori* pelo especialista humano e, portanto, o desempenho do controlador *fuzzy* é dependente da qualidade do especialista. Outra dificuldade é que um modelo matemático confiável da estratégia de controle do operador não é sempre possível de obter. Também, algumas mudanças significativas no processo a ser controlado pode estar fora do escopo do conhecimento da experiência do operador e o procedimento de projeto pode ficar limitado pela dificuldade da elucidação de regras heurísticas de controle eficientes. Em síntese, a configuração de projetos de controladores *fuzzy* baseados em regras pode levar a alguns questionamentos, entre os quais (PASSINO & YURKOVICH, 1998):

- O comportamento observado do especialista humano e usado na construção do controlador *fuzzy* inclui todas as situações que podem ocorrer devido a distúrbios, ruídos e variações de parâmetros do processo industrial?
- Pode o especialista humano realisticamente e de forma confiável prever os problemas que podem ser demandados por instabilidades do sistema de controle em malha fechada ou ciclos limites?

- O especialista humano está apto a incorporar efetivamente critérios de estabilidade e objetivos de desempenho na base de regras para garantir que uma operação confiável possa ser obtida?

Neste caso, o reconhecimento do problema de obtenção de conjuntos de regras para um controlador *fuzzy* simples tem levado a muitos pesquisadores a desenvolverem controladores que sejam aptos a gerarem suas próprias regras. O mais conhecido destes projetos é o *self-organizing-controller* de PROCYK & MAMDANI (1979). Um *SOC* trabalha começando com uma base de regras genérica usando geralmente o erro e a mudança do erro da variável controlada sendo usada no antecedente. Como o controlador visa controlar o processo de forma eficiente, um mecanismo de supervisão de como o controlador está funcionando é executado e ajusta os consequentes das regras para direcionar o sistema através de uma resposta “ideal” pré-definida.

Existe uma classe de controladores *fuzzy* que demanda um crescente interesse da academia e indústria, é a classe dos controladores *PID* (proporcional, integral e derivativo) *fuzzy*. A sintonia dos controladores *PID fuzzy* se dá basicamente através da definição das funções de pertinência e dos universos de discurso das variáveis nebulosas. As funções de pertinência implementadas no projeto do controlador *PID fuzzy* deste artigo são do tipo triangular, por serem as mais utilizadas neste tipo de projeto na literatura de controle de processos e, por apresentarem resultados satisfatórios. Existem muitas abordagens para o projeto de um controlador nebuloso. As principais são (NAVARRO & ALBERTOS, 1996):

- *procedimentos heurísticos de tentativa e erro*: O projetista sintoniza um controlador e baseado na resposta de sistemas dinâmico a ser controlado (desempenho do sistema de controle) ajusta gradualmente seu projeto de forma a atender as especificações (por exemplo, sobre-elevação, tempo de subida e tempo de resposta) necessárias ao projeto;
- *modelagem do conhecimento do operador*: Se existe um operador que controla o processo, então um controlador *fuzzy* pode ser projetado através de regras que fundamentam o conhecimento do operador. Neste caso, um algoritmo de identificação pode ser utilizado para modelar este comportamento;
- *projeto analítico*: Existem algumas abordagens que permitem projetar um controlador *fuzzy* baseado em algoritmos de aprendizagem ou otimização, tais como redes neurais, computação evolucionária (ou evolutiva) e aprendizagem por reforço. No entanto, estas abordagens são válidas somente para algumas estruturas particulares de controladores.

Na próxima seção é descrito o projeto de controle *PID fuzzy* proposto para os alunos (grupos de dois a três alunos). O projeto é de um controlador *PI fuzzy* combinado a um ganho derivativo (convencional).

3.1. CONTROLE *PI FUZZY* + GANHO DERIVATIVO CONVENCIONAL

O projeto de controlador *PI* nebuloso + *D* convencional, proposto por QIN (1994), apresentado na figura 1 foi adotado para o estudo de caso no projeto proposto aos alunos, para a realização da competição visando a obtenção de um melhor projeto, descrito neste artigo.

Este controlador *PID fuzzy* configura-se em uma alternativa ao projeto de controle *PID fuzzy* completo com três entradas (no caso monovariável), que expande a base de regras substancialmente e implica em diversas dificuldades no controle.

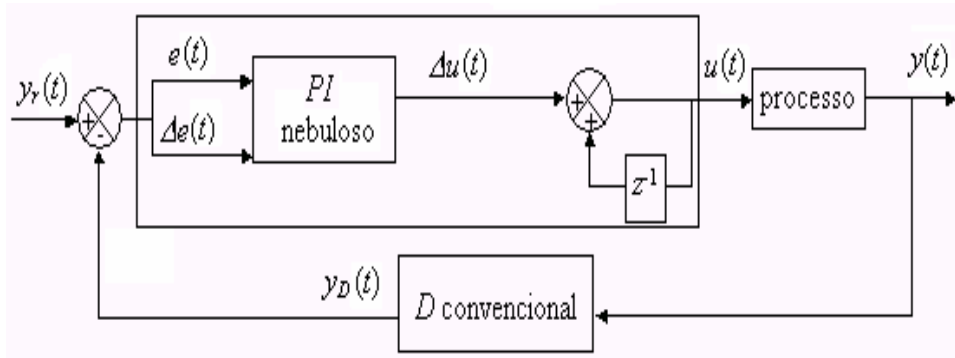


Figura 1. Controlador *PI fuzzy* + *D* convencional.

A equação principal que rege o comportamento deste controlador é:

$$u(t) = K_u [u_{PI}(t) + u_D(t)], \quad (1)$$

$$u_{PI}(t) = K_e [e(t)] + K_{de} [de(t)] \quad (2)$$

onde $u(t)$ é a ação de controle incremental, $u_{PI}(t)$ e $u_D(t)$ são as ações de controle *PI* e *D*; K_e , K_{de} e K_u são os fatores de escala do erro $e(t)$, da variação do erro $de(t)$ e do controle, respectivamente. A ação de controle derivativa leva em consideração um ganho em relação à derivada da saída do processo em relação a referência, ou seja,

$$u_D(t) = K_D y(t) - y_r(t), \quad (3)$$

onde K_D é ganho derivativo (dado por um filtro) da saída do processo e $y_r(t)$ é a saída de referência (desejada). O princípio deste projeto é o algoritmo do tipo *PI fuzzy*, que tem a vantagem da implementação de controle derivativo na saída, evitando picos derivativos frente a mudanças de referência.

O controlador *PI fuzzy* + *D* convencional apresenta uma vantagem em relação ao projeto do *PID* convencional, pois um controlador *PID* convencional tem um comportamento aceitável quando atua em torno de um determinado ponto de operação, mas, frequentemente, apresenta um desempenho pobre em regime transiente quando mudanças entre pontos diferentes de operação ocorrem devido a mudanças na dinâmica do processo (comportamento regulatório deficiente) e o controlador não é sintonizado adequadamente.

Para obter-se um desempenho adequado no projeto *PI fuzzy* + *D* convencional, principalmente quanto aos aspectos relacionados à diminuição da sobre-elevação e do tempo de subida, deve-se considerar que: (i) para diminuir a sobre-elevação deve-se aumentar o fator de escala da ação de controle integral (do controle *PI*) quando a saída está próxima da referência desejada; (ii) para diminuir o tempo de subida, a ação integral deve ser diminuída (menor fator de escala) durante o regime transiente; (iii) para diminuir o tempo de subida, o ganho do controle *PI* deve ser aumentado durante o transiente e diminuído quando a saída está próxima da referência.

4. ESTUDO DE CASO: CONTROLE DE UMA VÁLVULA DE CONTROLE

O estudo de caso para o projeto do controlador *PI fuzzy* + *D* convencional é um modelo matemático que descreve o comportamento dinâmico de uma válvula para controle do fluxo

de fluido (WIGREN, 1993). O modelo consiste de um sistema não-linear do tipo Wiener (representado por modelo matemático linear seguido de não-linearidade) que é regido pelas seguintes equações:

$$x(t) = 1,4138x(t-1) - 0,6065x(t-2) + 0,1044u(t-1) + 0,0883u(t-2) \quad (4)$$

$$y(t) = f_n(x(t)) = \frac{x(t)}{\sqrt{0,10 + 0,90(x(t))^2}} \quad (5)$$

Uma restrição à ação de controle é que $u(t) \in [0; 0,4]$. Para avaliar o controlador *fuzzy* projetado são usadas 200 amostras de um sinal de referência tipo degrau visando a minimização da função custo:

$$J = \sum_{t=1}^{200} [y_r(t) - y(t)]^2 \quad (6)$$

Os sinais de referência estipulados para o projeto são $y_r(t) = 0,6$ (amostras 1 a 100) e $y_r(t) = 0,8$ (amostras 101 a 200). Em síntese, o projeto do controlador foi implementado em ambiente Matlab/Simulink, da MathWorks, usando o *Fuzzy Logic Toolbox*, conforme apresentado na figura 2. O ambiente computacional Matlab/Simulink é muito utilizado no meio acadêmico e científico para o processamento de matrizes, cálculos polinomiais, visualização gráfica, simulação, processamento de imagens, filtragem, otimização, estatística, controle de processos, entre outras finalidades.

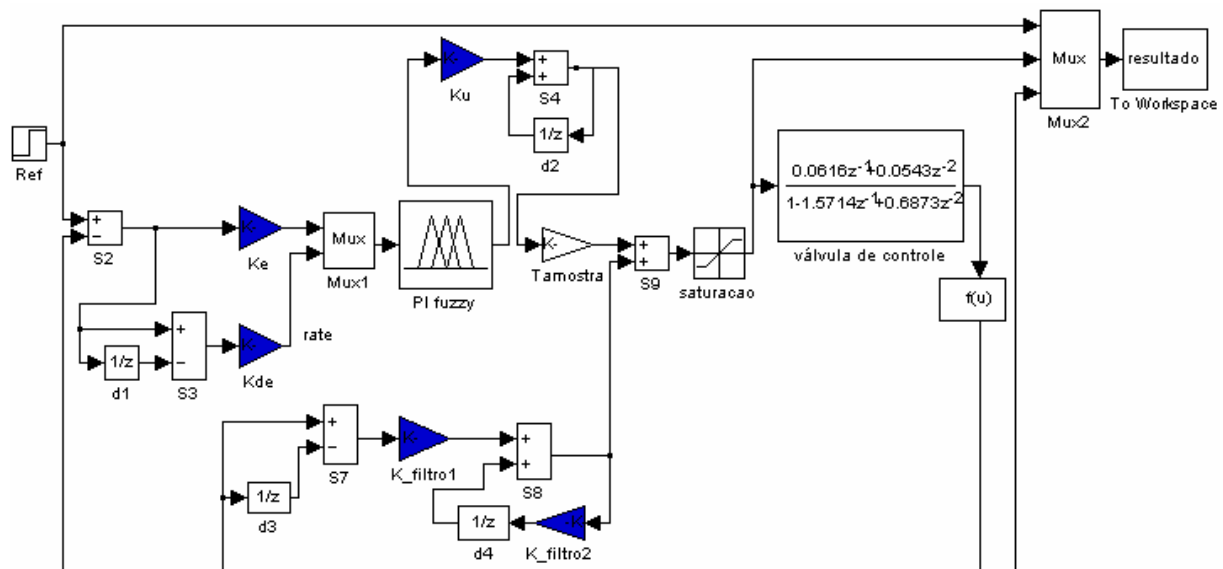


Figura 2. Projeto do controlador *PI fuzzy + D* convencional em ambiente Matlab/Simulink.

A fim de atingir os objetivos propostos de minimização da função custo J , os vários grupos de alunos matriculados na disciplina de Inteligência Artificial adotaram as mais diversas heurísticas para melhorar o projeto do controlador *fuzzy* visando um controle eficiente da válvula de controle. A abordagem heurística foi adotada pela maioria dos alunos para o projeto das entradas, base de regras e funções de pertinência do controlador *fuzzy*, esta abordagem é resumida em ALBERTOS (1992). Alguns alunos, adotaram um procedimento

de otimização por algoritmos genéticos (tópico ensinado anteriormente na disciplina de Inteligência Artificial) dos fatores de escala (ganhos do controlador) das funções de pertinência e ganhos dos filtros da parte derivativa do controlador.

A equipe vencedora optou por utilizar o algoritmo genético canônico (ou binário) estudado em sala de aula para otimizar os parâmetros do controlador. Primeiramente foi realizado um estudo abrangendo 40 parâmetros a serem otimizados através de algoritmos genéticos (GOLDBERG, 1989) que compôs um arquivo de configuração (do tipo *.fis do *Fuzzy Logic Toolbox* do Matlab) otimizado. Em seguida foram mantidos constantes os parâmetros encontrados anteriormente e apenas os fatores de escala (grifados em azul na figura 2) foram otimizados. O melhor resultado encontrado (os dois alunos, Tiago e Ricardo, foram incluídos como autores deste artigo) foi apresentado na figura 3. A função custo obtida foi $J = 0,921357$ apresentando os seguintes valores de ganhos:

- $K_u = 5,635798$;
- $K_e = 2,451469$;
- $K_{de} = 6,423224$;
- $K_{filtro_1} = 0,082256$; e
- $K_{filtro_2} = 0,985188$.

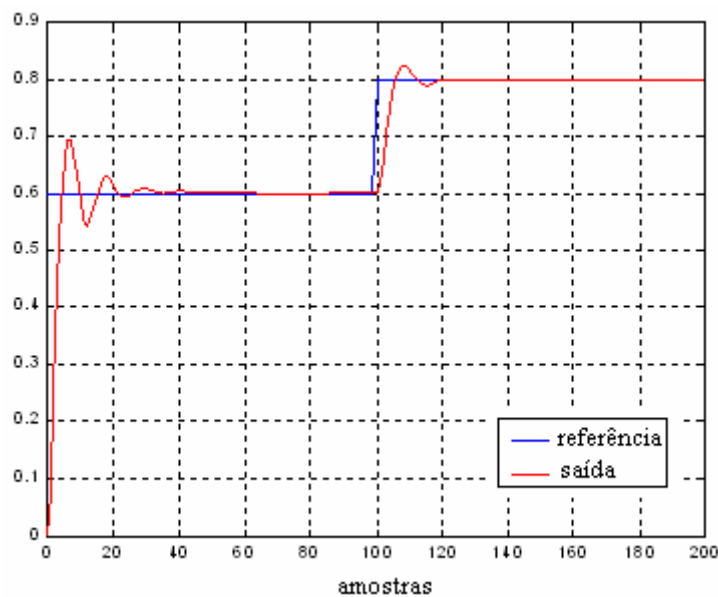


Figura 3. Melhor resultado para o controle *fuzzy* de uma válvula de controle com índice de desempenho $J = 0,921357$.

5. CONCLUSÃO

Neste artigo é apresentado o resumo de uma competição entre alunos visando a obtenção de um projeto de controlador *fuzzy*. Este projeto foi parte do conteúdo da disciplina de Inteligência Artificial, do curso de Engenharia Mecatrônica (Controle e Automação), da Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

A disciplina de Inteligência Artificial é ministrada com intuito de: (i) enfatizar a interação entre componentes de sistemas presentes no meio industrial e técnicas de inteligência artificial, (ii) enfatizar problemas do mundo real, mas que demonstrar conceitos teóricos em



problemas simples, e (iii) preparar os alunos a serem aptos a identificar problemas potenciais ao uso de metodologias de inteligência artificial.

A realização de projetos, na disciplina de Inteligência Artificial, que envolvam *software* competições e desafios de implementação incrementa significativamente o nível de conhecimento de aspectos teóricos e sua aplicação por parte dos alunos, além de aumentar a motivação e o aprendizado dos alunos. Entretanto, apesar de todas as vantagens da realização de competições entre alunos para motivar o aprendizado de disciplinas como a de Inteligência Artificial, existem desvantagens. Uma das maiores desvantagens, segundo MANSEUR (2000), é que existe uma equipe vencedora e várias perdedoras em uma competição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTOS, P. Fuzzy controllers, In: **Application of artificial intelligence in process control**, Boullart, L.; Krijgsman, A.; Vingerhoeds, R. A. (eds.), p. 343-367, Pergamon Press, 1992.
- BERNSTEIN, D. S. Enhancing undergraduate control education. **IEEE Control Systems**, October, p. 40-43, 1999.
- CAO, Y. J.; WU, Q. H. Teaching genetic algorithm using matlab. **International Journal Electrical Engineering Education**, v. 36, p. 139-153, 1999.
- CULVER, R. S.; WOODS, D.; FITCH, P. Gaining professional expertise through design activities, **Engineering Education**, v. 80, n. 3, p. 533-536, 1990.
- GARCIA, R. C.; HECK, B. S. An interactive tool for classical control design education. **Proceedings of the American Control Conference**, San Diego, CA p. 1460-164, 1999.
- GEROVICH, O.; GOLDBERG, R. P.; DONN, I. A. From science projects to the engineering bench. **IEEE Robotics & Automation Magazine**, September, p. 9-12.
- GOLDBERG, D. **Genetic algorithms in search optimization and machine learning**, Reading: MA: Addison-Wesley, 1989.
- HEARST, M. A. Preface: improving instruction of introductory AI. **Improving Instruction of Introduction AI**, New Orleans, Louisiana, AAAI Press, p. 1-4, 1994.
- JURADO, F.; CASTRO, M.; CARPIO, J. Experiences with fuzzy logic and neural networks in a control course. **IEEE Transactions on Education**, v. 45, n. 2, p. 161-167, 2002.
- KELLER, J. P. Teaching PID and fuzzy controllers with LabVIEW. **International Journal of Engineering Education**, v. 16, n. 3, 2000.
- MAMDANI, E. H.; ASSILIAN, S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. **International Journal of Machine Studies**, v. 7, n. 1, 1975.
- MANSEUR, R. Hardware competitions in engineering education. In: 30th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, Kansas City, MO, USA. **Anais**. p. F3C-5-F3C8, 2000.
- MURPHY, R. R. "Competing" for a robotics education, **IEEE Robotics & Automation Magazine**, v. 8, n. 2, p. 44-55, 2001.
- NAVARRO, J. L.; ALBERTOS, P. Fuzzy logic implementation of industrial controllers. **13th World Congress of IFAC**, San Francisco, USA, p. 409-414, 1996.
- PASSINO, K. M.; YURKOVICH, S. **Fuzzy control**, Addison Wesley Longman, CA, USA, 1998.
- PAVELICH M. J.; MOORE, W. S. Measuring maturing rates of engineering students using the Perry model. **Frontiers in Education Conference**, Washington, DC, USA, p. 451-455, 1993.
- PENA, R. T.; JOTA, F. G.; SEIXAS-FILHO, C. A new undergraduate degree in control engineering. **IEEE Transactions on Education**, v. 44, n. 4, p. 399-405, 2001.



- PERRY, W. G. **Forms of intellectual and ethical development in the college years**, Holt, Rinehart and Winston, NY, USA, 1970.
- PROCYK, T. J.; MAMDANI, E. H. A linguistic self organizing process controller. **Automatica**, v. 15, n. 1, 1979.
- QIN, S. J. Auto-tuned fuzzy logic control. **American Control Conference**, Baltimore, Maryland, USA, p. 2465-2469, 1994.
- VERNER, I. M.; WAKS, S.; KOLBERG, E. Educational robotics: an insight into systems engineering. **European Journal of Engineering Education**, v. 24, n. 2, p. 201-212, 1999.
- WIGREN, T. Recursive prediction error identification using the nonlinear Wiener model. **Automatica**, v. 29, n. 4, p. 1011-1025, 1993.
- YURKOVICH, S.; PASSINO, K. M. A laboratory course on fuzzy control. **IEEE Transactions on Education**, v. 42, n. 1, p. 15-21, 1999.

LEARNING IN FUZZY CONTROL USING MATLAB/SIMULINK: AN APPROACH BASED ON COMPETITION

Abstract: *This paper presents the results of realization of a competition in the Artificial Intelligence course. This course is offer for an undergraduate-level course of Mechatronic Engineering (Control and Automation Engineering) of Pontifical Catholic University of Parana. The students use the fuzzy control theory in a project that is a well-specified and fixed competition assigned to teams consisting of two to three students. The competition requires the students to design a fuzzy controller that perform the task of control a nonlinear control valve using Matlab/Simulink computational environment. This approach of make competition between students has encouraged many students to pursue research in artificial intelligence area.*

Key-words: *learning in engineering, process control, fuzzy control, artificial intelligence.*