



COBENGE

2018

XLVI Congresso Brasileiro
de Educação em Engenharia
e 1º Simpósio Internacional
de Educação em Engenharia

03 a 06 de setembro de 2018
SALVADOR / BA

"Educação inovadora
para uma Engenharia sustentável"



Digite aqui o nome da SD escolhida para submeter o seu trabalho
dentre as 4 que se encontram na página do COBENGE

Plataforma didática para simulação e controle via rede de sistemas
lineares e invariantes no tempo

Nome: Bruna Fortunato

E-Mail: Fortunato.bru@gmail.com

IES: Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR câmpus:
Cornélio Procópio - PR.

Nome: Cristiano Marcos Agulhari

E-Mail: agulhari@utfpr.edu.br

IES: Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR câmpus:
Cornélio Procópio - PR.

Resumo:

Esta plataforma didática consiste em uma *interface* para simulação de sistemas de controle via rede (ou *Networked Control Systems* – NCS), facilitando os testes de desempenho e robustez de sistemas de controle com atrasos. Seu uso é destinado aos alunos e pesquisadores da área de Engenharia de Controle e Automação, aproximando os mesmos a conhecer o comportamento do projeto de controle quando aplicado em um ambiente real, sujeito a interferências externas recorrentes a sistemas de controle via rede. A *interface* é destinada a simulação de atrasos invariantes no tempo em sistemas de controle do tipo Linear e Invariante no Tempo (LIT), onde uma planta e um controlador se comunicam remotamente por intermédio de uma rede de comunicação, caracterizando um NCS. Esta *interface* deve ser submetida a testes de simulação com atrasos de rede aplicados a um sistema de controle de velocidade de um motor DC, proposto por Meshram e Kanojiya (2012). Atrasos progressivos são inseridos a fim de verificar o desempenho do sistema de controle proposto, caso fosse inserido em um ambiente real.

Palavras-chave: Atrasos, Comunicação, Controle, Sistemas LIT, Redes, NCS.

Organização:



Realização:



PLATAFORMA DIDÁTICA PARA SIMULAÇÃO E CONTROLE VIA REDE DE SISTEMAS LINEARES E INVARIANTES NO TEMPO

1 Sistemas de Controle via Redes – NCS

O uso de redes de comunicação serial, integradas com sistemas de controle via rede para substituir a tradicional ligação ponto a ponto, realizada por cabos de rede, têm sido frequente, uma vez que a NCS permite a descentralização do controle e favorece o desenvolvimento de sistemas de controle com modularidade, facilidade de diagnóstico e baixo custo (WALSH; YE, 2001). Assim, sensores, atuadores e a planta se interconectam por meio de uma rede de transmissão de dados, formando uma malha de controle remota, caracterizando um típico modelo de Sistema de Controle via Redes (NCS) (GODOY et al., 2008). Automóveis inteligentes, aeronaves, plantas de manufatura e outros contextos, que necessitam o uso de uma comunicação controlada e automática, são os principais utilizadores de um NCS.

O atraso de comunicação em um NCS representa um dos principais fatores influenciadores em seu desempenho e estabilidade e são gerados devido à quantidade de componentes ligados a rede que necessitam enviar/receber informações em tempo real, ocasionando uma saturação da rede (TANENBAUM, 2003).

Neste trabalho, apresenta-se uma plataforma didática para simulação de sistemas LIT. Tal plataforma consiste em um *interface* facilita para simulação, que encapsula uma rede de comunicação serial integrada e com isso, simula um sistema de controle via rede (NCS) incluindo atrasos. Seu funcionamento se dá por meio de parâmetros definidos pelo usuário correspondentes a planta, controlador e rede, sem que para isso seja necessário um conhecimento aprofundado de programação em linguagem C ou modelagem em diagramas de controle do *software* Matlab/Simulink®.

Por meio da *interface* desenvolvida é possível a realização de testes automatizados em pesquisas, desenvolvimento e aperfeiçoamento de produtos relacionados à área de Engenharia de Controle e Automação. Isto se torna interessante pois não é necessário a aquisição e custeamento de uma plataforma física para testes de desempenho e ajustes de parâmetros de controle, ou ainda a implementação em campo e obtenção de comportamentos indesejados de um sistema de controle já projetado, onde falhas de comunicação via rede são recorrentes,

necessitando novos investimentos, redefinição do projeto de controle demora para execução do projeto.

O modelo de transmissão da rede adotado foi baseado pelo aluno de Engenharia da Computação, Vinicius Henrique Moraes de Oliveira, estudante da UTFPR de Cornélio Procópio, sendo idealizado o projeto da *interface* e o diagrama de controle pelos autores deste trabalho. Esta plataforma consiste em uma ferramenta que transmite os efeitos que os atrasos podem causar em um sistema de controle via rede.

2 Projeto da *Interface* para simulação

A *interface* da Fig.1, foi criada para que o usuário possa inserir atrasos de rede durante a simulação, podendo prever o comportamento do sistema sendo o mais próximo possível de um ambiente real. Com isso, o usuário define valores de período de amostragem para a discretização das informações via rede e insere neste processo valores de atrasos invariantes no tempo, compreendendo qualitativamente a capacidade de refinamento dos dados da rede do NCS e sua estabilidade.

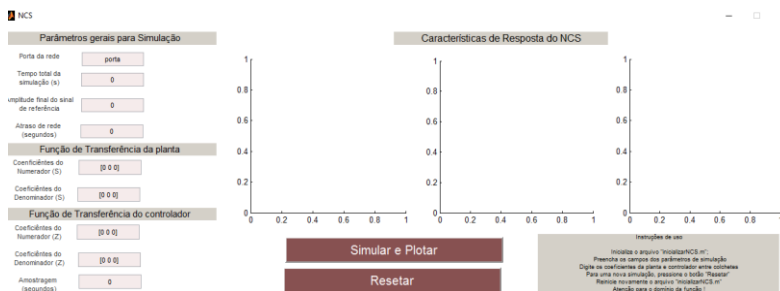


Figura 1: Interface desenvolvida. Fonte: Autoria Própria

O download¹ da *interface* bem como visualização de um tutorial de instruções podem ser obtidos através do endereço eletrônico do laboratório de pesquisa da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Lab Control. Todo o ambiente virtual gráfico da *interface* foi projetado por meio da *toolbox* GUI (*Graphical User Interface*) do *software*

¹ Disponível em: < <http://www.labcontrol.xyz/dokuwiki/doku.php?id=wiki:research:lmi:software> >. Acesso em: 10/05/2018

Matlab/Simulink® . A *interface* é inicializada através de uma linha de comando no *workspace* do Matlab/Simulink®.

O comportamento entre o controlador e a planta é avaliado mediante o efeito da inserção dos valores atrasos pré-setados na *interface*, que realiza diversas simulações de resposta do sistema de controle em questão. Assim, a função de transferência do NCS é dada conforme descrito na Eq.1.

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = e^{-(t_k^{sc} + t_k^{ca})s} G(s) \quad (1)$$

Sendo $G(s)$ uma função de transferência de malha fechada que considera uma planta $G_p(s)$ e um controlador digital $G_c(z)$ equivalentes. Os atrasos entre o sensor e o controlador ($e^{-(t_k^{sc})s}$), bem como o sinal de controle e a alimentação do sistema ($e^{-(t_k^{ca})s}$) são representados pela rede transmissão por meio de autofunções complexas, $e^{-(t_k^{sc} + t_k^{ca})}$, relacionadas aos espectros de sinais atrasados.

O padrão arquitetural do NCS encapsulado é apresentado na Fig.2, sendo baseado no modelo de sete camadas OSI. O foco são as camadas de transporte e enlace, com utilização do protocolo UDP para comunicação.

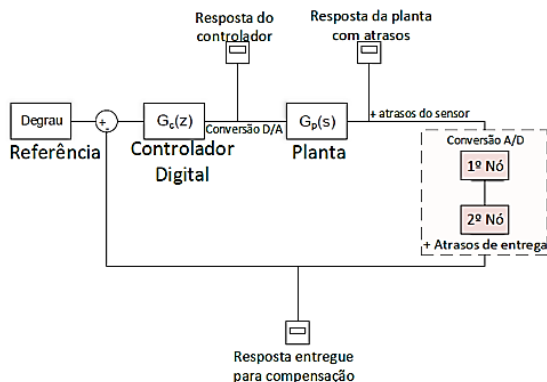


Figura 2 Modelo do NCS encapsulado. Fonte: Autoria Própria

Os pacotes de informações digitais da planta são gerados com atrasos no primeiro nó e no segundo nó de rede, há uma realimentação com replicação de novos atrasos, sendo o sinal resultante disponibilizado ao controlador digital, $G_c(z)$ para compensação.

Por meio deste sistema, gera-se três respostas gráficas: a resposta em frequência da planta enviada para a rede por meio de um sensor contendo atrasos; O sinal de rede recebido com novos atrasos causados pelo protocolo UDP correspondente a ação do controlador digital; e a resposta entregue ao atuador na planta, fisicamente acoplado à ela.

3 Materiais e Métodos

Para a comprovação do correto funcionamento da *interface* e suas aplicações de sinais atrasados, deseja-se simular um sistema projetado utilizando o diagrama de blocos do Matlab/Simulink®. A planta de controle adotada é proposta por Meshram e Kanojiya (2012) de acordo com a Eq.(2).

$$G_p(s) = \frac{0.015}{0.01s^2 + 0.14s + 0.40015} \quad (2)$$

Por meio da Eq.(2), foi projetado um controlador do tipo Proporcional, Integrativo e Derivativo (PID) cuja representação equivalente discreta, para um período $T_s = 0.001s$, é dada pela Eq.(3).

$$G_z(z) = \frac{405.5z^2 - 804.38z + 399}{z^2 - 1.99z + 0.99} \quad (3)$$

Realizando a simulação o sistema digital em malha fechada, utilizando o diagrama de blocos do Matlab/Simulink®, para uma referência tipo degrau unitário com excitação durante 10s. Obteve-se a resposta da Fig.3.



Figura 3 Resposta do sistema de controle digital ideal. Fonte: Autoria Própria

Em seguida, busca-se reconstruir o comportamento de resposta da Fig.3, considerando os coeficientes das Eq.(2-3). Após, inclui-se

atrasos de rede para avaliar o desempenho e estabilidade do sistema projetado. Este procedimento se dá de acordo com as instruções representadas no canto inferior direito da Fig.1. Para uma melhor compreensão, as instruções estão apresentadas na Fig.4.

Instruções de uso

Inicialize o arquivo "inicializarNCS.m";
 Preencha os campos dos parâmetros de simulação
 Digite os coeficientes da planta e controlador entre colchetes
 Para uma nova simulação, pressione o botão "Resetar"
 Reinicie novamente o arquivo "inicializarNCS.m"
 Atenção para o domínio da função!

Figura 4 Instruções de uso disponível na interface. Fonte: Autoria Própria

Os parâmetros considerados estão de acordo com a Tab.1.

Parâmetros de simulação	1ª Simulação	2ª Simulação	3ª Simulação	4ª Simulação
Porta para comunicação de rede	1000	1000	1000	1000
Tempo (segundos)	10s	10s	10s	10s
Amplitude do sinal de referência	1	1	1	1
Valores de atraso de rede	1ms	5ms	6ms	4s
$G_p(s)$ (coeficientes)	0.015			
$G_x(z)$ (coeficientes)	$0.01 + 0.14 + 0.40015$ $405.5 - 804.38 + 399$			
	$1 - 1.99 + 0.99$			
Amostragem de rede (segundos)	1 ms	1 ms	1 ms	1 ms

Os resultados estão representados nas Fig.(5-8).

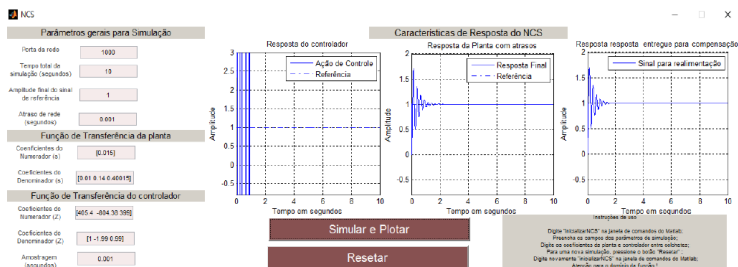


Figura 5 NCS encapsulado com atraso de 1ms. Fonte: autoria própria

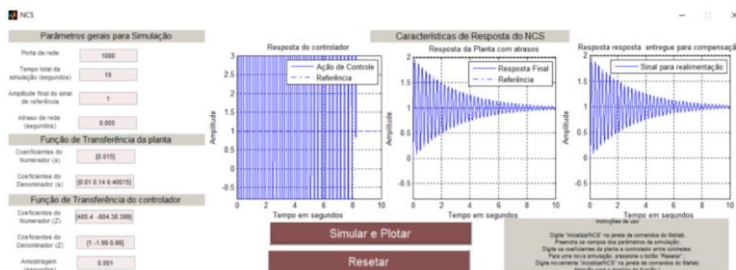


Figura 6 NCS encapsulado com atraso de 5ms. Fonte: autoria própria

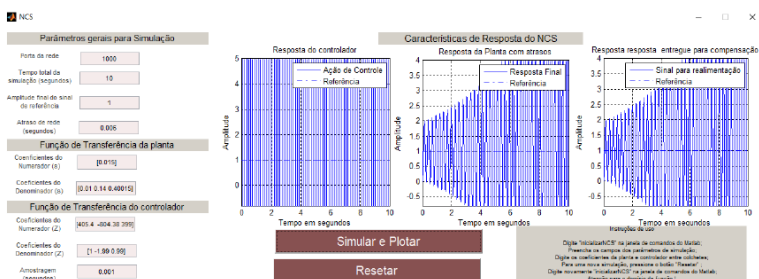


Figura 7 NCS encapsulado com atraso de 6ms. Fonte: autoria própria

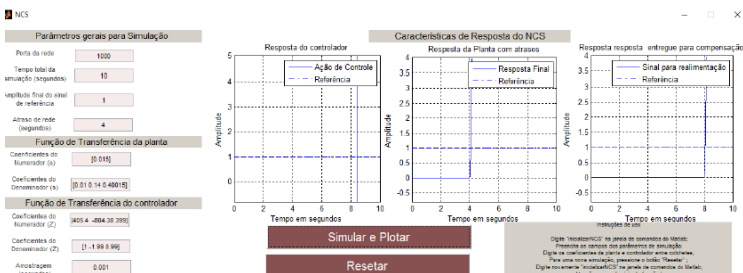


Figura 8 NCS encapsulado com atraso de 4s. Fonte: autoria própria

4 Resultados e discussões

Por meio das simulações realizadas, observa-se que com a inserção de atrasos em até a 5ms o sistema apresenta um maior transitório; Já para atrasos superiores a este valor observa-se que o sistema torna-se instável. Aplicando um atraso de 4s, pode-se validar a comunicação entre a interface e o sistema de controle encapsulado com atrasos (NCS), uma

vez que a resposta gráfica obtida entre cada nó de rede apresenta a réplica da resposta com atrasos respectivos.

Portanto, o uso da *interface* como uma plataforma facilitadora para simulação e controle de sistemas LIT pode ser uma ferramenta auxiliar para pesquisas relacionadas à robustez e desempenho de sistemas de controle, aproximando os alunos e pesquisadores da área de engenharia de controle e automação a um ambiente real, sujeito a interferências externas. Em consequência o conhecimento e a experiência para o desenvolvimento e síntese de controladores podem ser ampliados de forma segura, economizando recursos físicos quando o projeto é aplicado em campo, contribuindo para a redução do tempo de projeto, prevenindo a perda parcial ou total de componentes físicos de protótipos ou ainda a danificação permanente da planta para controle.

Referências

BERNARDO, P. C.; KON, F. A importância dos testes automatizados. **Engenharia de Software Magazine**, v. 1, n. 3, p. 54–57, 2008.

CARVALHO, A. S.; BARONE, D. A. C. Uma plataforma computacional para o ensino de engenharia e controle. **COBENGE, Recife(PE)**, 2009.
CASTRUCCI, P. Controle Automático–Teoria e Projeto. 5a.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

FANTINATO, M. et al. Autotest—um framework reutilizável para automação de teste funcional de software. **Cad. CPqDTecnologia**, v. 1, n. 1, p. 119–131, 2005.

FRANKLIN, G. F.; POWELL, J. D.; WORKMAN, M. L. **Digital Control of Dynamic Systems**. Second. Reading Massachusetts: Addison-Wesley, 1990. (Electrical and Computer Engineering; Control Engineering). A SRL reference.

GODOY, E. P.; PORTO, A. J. V.; INAMASU, R. Y. Proposta de utilização de hardware-in-the loop no desenvolvimento de sistemas de controle via redes can.sistema, v. 5, p. 6, 2008.

LATHI, B. P. et al. **Linear systems and signals**. [S.l.]: Oxford University Press New York:, 2005.

MESHAM, P. M.; KANOJIYA, R. G. Tuning of pid controller using ziegler-nichols method for speed control of dc motor. In: **IEEE-International Conference On Advances In Engineering, Science And Management (ICAESM-2012)**. [S.l.: s.n.], 2012. p. 117–122.

MO, H.; XIE, M. Modelling and analysis of transmission delays and packet dropouts on the reliability of digital networked control systems. In: **2013 Chinese Automation Congress**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 187–192.

NISE, N. S.; SILVA, F. R. da. **Engenharia de sistemas de controle**. [S.l.]: LTC, 2002.

S.; SILVA, F. R. da. **Engenharia de sistemas de controle**. [S.l.]: LTC, 2002. OGATA, K. Engenharia de controle moderno. 5a.ed. Rio de Janeiro: Prentice Hall, 2010.

OPPENHEIM, A. V. **Discrete-time signal processing**. [S.l.]: Pearson Education India, 1999. OPPENHEIM, A. V. Sinais e sistemas. [S.l.]: Prentice-Hall, 2010.

TANENBAUM, A.S. **Redes de Computadores**. São Paulo: Ed. [S.l.]: Campus, 2003.

TANG, B.; WANG, J.; ZHANG, Y. A delay-distribution approach to stabilization of networked control systems. **IEEE Transactions on Control of Network Systems**, v. 2, n. 4, p. 382–392, Dec 2015. ISSN 2325-5870.

TORRES, G. **Redes de computadores**. [S.l.]: Novaterra Editora e Distribuidora LTDA, 2015.

WALSH, G. C.; YE, H. Scheduling of networked control systems. **IEEE Control Systems**, **IEEE**, v. 21, n. 1, p. 57–65, 2001.

ZHANG, W.; BRANICKY, M. S.; PHILLIPS, S. M. Stability of networked control systems. **IEEE Control Systems**, **IEEE**, v. 21, n. 1, p. 84–99, 2001.