

Controle de sistemas lineares via rede com acionamento por eventos

Proponentes: Valter Júnior de Souza Leite
Luís Filipe Pereira Silva

Resumo

O controle via rede tem atraído bastante a atenção tanto da academia quanto da indústria na última década. Esse tipo de topologia de controle traz benefícios por ter custos de instalação e manutenção menores que os convencionais, pela flexibilidade, entre outros. Em contrapartida, o controle via rede traz desafios, pois pode haver perda de pacotes de informação, amostragem de sinais em intervalos variáveis, atrasos de comunicação, erros de quantização, etc. Tais fatos motivam este projeto que apresenta uma proposta de iniciação científica a ser desenvolvida no CEFET-MG *Campus* Divinópolis, cujo objetivo é o estudo de técnicas matemáticas para tratar o problema de sistemas de controle via rede acionados por eventos, de forma a assegurar a estabilidade da malha fechada. Além disso, pretende-se desenvolver condições inéditas para tanto para a análise de estabilidade quanto para a síntese de sistemas de controle via rede, a saber controladores e mecanismos de geração de eventos. Inicialmente, o aluno candidato estudará temas relacionados a sistemas lineares contínuos e discretos no tempo, ferramentas de álgebra linear, estabilidade de Lyapunov e desigualdades matriciais lineares (LMIs, do inglês *Linear Matrices Inequalities*). Em seguida, o aluno estudará os sistemas de controle via rede, acionados por eventos, focando nos desafios de controle e nas ferramentas matemáticas mais frequentemente usadas na literatura. Baseado nisso, espera-se que o aluno adquira uma formação básica sobre sistemas de controle via rede acionados por evento e também desenvolva condições de análise de estabilidade e de síntese para a classe de sistemas investigada. Essas condições serão comparadas com outras disponíveis na literatura para avaliação de desempenho. Pretende-se aplicar tais condições em plantas físicas disponíveis no Laboratório de Sinais e Sistemas do *Campus* Divinópolis.

i. **Palavras-chave:** Sistemas de controle via rede acionados por evento, função de Lyapunov, LMIs.

ii. **Câmara Temática:**

- Engenharia Civil, Engenharia Ambiental, Engenharia de Materiais, Engenharia de Minas, Engenharia Mecânica e Engenharia Metalúrgica;
- Engenharia Elétrica, Engenharia da Computação, Ciência da Computação, Engenharia de Produção e Engenharia de Transportes;
- Matemática, Estatística, Física, Química e Biologia;
- Ciências Humanas, Ciências Sociais, Ciências Sociais Aplicadas, Educação, Linguística, Letras e Artes.

iii. **Modalidade de orientando(s):**

- Bolsista;
- Voluntário.

iv. **Este projeto está sendo enviado em substituição a uma proposta já submetida?**

- Sim. Nº de projeto a ser substituído: _____;
- Não.

Divinópolis, 24 de novembro de 2021.

1 Apresentação do Problema

O rápido desenvolvimento de tecnologias de rede trouxe muitas mudanças para a vida das pessoas. As redes de comunicação modernas podem fornecer comunicação rápida e confiável entre duas ou mais plantas físicas localizadas geograficamente em lugares diferentes. Essas características proeminentes tornam as redes de comunicação amplamente utilizadas para conectar componentes de controle — tais como: sensores, atuadores e controladores — dentro de uma malha de controle, levando aos chamados sistemas de controle via rede (NCSs, do inglês *networked control systems*). Os NCSs têm sido aplicados em diversas áreas, como exploração espacial, ambientes, automação industrial, robôs, aeronaves, automóveis, monitoramento de fábricas, diagnósticos remotos e solução de problemas e teleoperações [3]. Vale destacar que análise e síntese de NCSs requer a integração e coordenação das áreas de comunicação, computação e controle, portanto, a aplicação de metodologias tradicionais de esquemas de controle pode não ser apropriada pelo fato de não considerar dos desafios do NCS [7].

Em um NCS, a camada da rede, normalmente partilhada por diversos dispositivos, provoca efeitos indesejáveis que podem afetar tanto a estabilidade quanto o desempenho do processo. Alguns desses efeitos são a amostragem não uniforme, isto é, com período de amostragem variável, atrasos de comunicação entre medidor e instância de decisão e entre esta e o atuador do processo, perda de pacotes e a quantização. Todos esses elementos dificultam a caracterização das situações nas quais possa ser assegurada a estabilidade da malha formada pelo processo, rede e instância de decisão. Apesar disso, em comparação com os sistemas de controle tradicionais, ditos ponto-a-ponto, os NCSs oferecem várias vantagens, tais como baixo custo de instalação e manutenção, maior confiabilidade, maior flexibilidade do sistema, fácil reconfiguração, menor volume de cabos, facilidade de instalação e manutenção de sistemas embarcados [7].

Considerando a questão da amostragem, os NCS possuem uma característica fundamental: a planta física evolui em tempo contínuo, enquanto controladores e rede operam tipicamente em tempo discreto. Conseqüentemente, uma das principais dificuldades na análise e projeto de NCSs é lidar com a questão do tempo. Como geralmente lida-se com recursos de comunicação ou microcontroladores com poder de processamentos limitados, surgem desafios no controle do sistema. Nesse cenário, o controle acionado por evento (ETC, do inglês *event-triggered control*) surge como uma alternativa ao tradicional controle periódico [5].

Nas técnicas de controle acionado por evento, uma nova informação de controle é transmitida após a geração de um evento. Em geral, isso significa que uma nova transmissão de medida do estado do sistema é transmitida sempre que a diferença entre o estado atual e último transmitido excede, em módulo, uma certa quantidade. Assim, o ETC pode reduzir a execução das tarefas de realização de medição e transmissão do estado do sistema, assim como do sinal de controle, ao mesmo tempo, em que se garante estabilidade e algum índice de desempenho do sistema em malha fechada [1].

Em um projeto de sistemas ETCs, podem-se ter algumas configurações, ou seja, o controlador dado e a síntese do mecanismo de eventos, o mecanismo de eventos dado e a síntese do controlador ou a síntese de ambos. Os dois primeiros casos são caracterizados na literatura como emulação. Já o último é caracterizado como co-design. Para mais detalhes, veja [6].

Pesquisas recentes têm desenvolvido ferramentas para se analisar e projetar esses sistemas de controle de tal forma a garantir a estabilidade assintótica e algum tipo de índice de desempenho. Dessa forma, os estudos conceituais dos efeitos dos ETCs e das ferramentas utilizadas para lidar com NCS são fundamentais para a iniciação nesta área. Conseqüentemente, fundamentam a pretensão de proposição de novas ferramentas para tratar ETCs. Diante disso, o projeto a ser desenvolvido na iniciação científica baseia-se na introdução dos conceitos básicos de sistemas de controle via rede acionados por eventos ao bolsista. A partir disso, pretende-se desenvolver resultados originais para a análise e a síntese de sistemas ETCs, aproveitando-se também da experiência dos proponentes nessa área.

2 Objetivos da Pesquisa

Nesta seção é descrito de forma sucinta o objetivo geral do projeto de pesquisa e, também, são descritos os objetivos específicos. Os objetivos específicos são propostos de maneira a permitir um avanço do bolsista na área, chegando ao ponto de propor novas soluções para análise e projeto de NCSs.

2.1 Objetivo geral

Entender os efeitos dos mecanismos utilizados para acionar os sistemas de controle via rede. Além disso, conhecer as ferramentas mais tradicionais utilizadas para tratar os sistemas ETCs e desenvolver novas ferramentas para análise e síntese de sistemas ETCs.

2.2 Objetivos específicos

Listam-se os seguintes objetivos específicos:

- Entender o princípio de funcionamento dos sistemas ETCs.
- Conhecer algumas ferramentas de emulação e co-design presentes na literatura.
- Implementar as ferramentas de emulação e de co-design estudadas.
- Propor o desenvolvimento de novas ferramentas para emulação e de co-design.
- Implementar em sistemas reais os projetos realizados com as ferramentas de emulação ou co-design eventualmente propostas.

3 Metodologia de Trabalho

Para o desenvolvimento do projeto, propõe-se o estudo ou revisão dos seguintes temas: elementos de álgebra linear, sistemas lineares contínuos no tempo, sistemas lineares discretos no tempo, teoria da estabilidade de Lyapunov, desigualdades matriciais lineares e sistemas de controle acionados por eventos. Para o desenvolvimento e a implementação das condições de análise de estabilidade e síntese de controladores, destaca-se o uso das seguintes ferramentas: procedimento S, complemento de Schur, lema de Finsler.

Os resultados, avaliações e discussões serão baseadas em simulações computacionais e posteriormente em aplicações em plantas reais. As simulações serão realizadas com o uso do software *Python* e as bibliotecas *NumPy*, *CVXPY* e *CVXOPT*, a partir de modelos que descrevem sistemas reais ou acadêmicos. Para as aplicações em plantas físicas, pretende-se a utilização de plantas já existentes no laboratório de Sinais e Sistemas do CEFET-MG Unidade Divinópolis. Os resultados encontrados serão comparados com resultados presentes na literatura. Além disso, o bolsista terá acompanhamento semanal com seus orientadores.

4 Resultados e Impactos Esperados

Com o desenvolvimento desta pesquisa, espera-se obter os resultados listados a seguir:

1. desenvolvimento de resultados teóricos inéditos na literatura de sistemas de controle via rede acionados por eventos;
2. implementação prática de resultados teóricos desenvolvidos;
3. Vocacionamento e formação do bolsista para atividades de pesquisa;

4. Aproximação do bolsista com mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEL) que desenvolve mestrado nesse mesmo tema. Portanto, haverá a verticalização do processo de pesquisa e formação.
5. Escrita de artigos como consequência dos resultados alcançados.
Tais resultados possibilitarão ao bolsista adquirir experiência em pesquisa e, no caso de publicação de trabalho científico, o aproveitamento desse para substituição do TCC, conforme as normas do curso de Engenharia Mecatrônica.

5 Recursos Necessários

Os recursos necessários para o desenvolvimento da parte teórica deste projeto são computadores, o software *Python*, as bibliotecas *NumPy*, *CVXPY* e *CVXOPT*, e acesso aos portais CAPES e SCOPUS. Todos esses recursos já estão disponíveis. Para a aplicação dos resultados obtidos, tem-se por interesse utilizar uma planta física já existente no laboratório de Sinais e Sistemas do CEFET-MG Campus Divinópolis. Não é descartado também a possibilidade de construções de plantas físicas a partir de equipamentos já existentes na unidade Divinópolis.

6 Referências

- [1] M. Lemmon. *Event-triggered feedback in control, estimation, and optimization*. Lecture Notes in Control and Information Sciences, vol 406. Springer, London, 2010.
- [2] R. C. Dorf and R. H. Bishop *Sistemas de controle moderno*. 10^a edição, LTC Editora, Rio de Janeiro, 2011.
- [3] X.-M. Zhang, Q.-L. Han, X. Ge, D. Ding, L. Ding, D. Yue, and C. Peng *Networked control systems: A survey of trends and techniques*. *IEEE/CA Journal of Automatica Sinica*, 7(1):1–17, July 2019.
- [4] C.-T. Chen *Linear System Theory and Design*. 3^a edição, Oxford University Press, Inc., USA, 1998.
- [5] P. Tabuada. *Event-triggered real-time scheduling of stabilizing control tasks*. *IEEE Transaction on Automatic Control*, 52(9):1680–1685, September 2007.
- [6] C. de Souza, V. Leite, S. Tarbouriech, and E. Castelan. *Emulation-based dynamic output-feedback control of saturating discrete-time LPV systems*. *IEEE Control Systems Letters*, 5(5):1549–1554, November 2020.
- [7] X. Ge, F. Yang, Q.-L. Han. *Distributed networked control systems: A brief overview*. *Information Sciences*, 380:117–131, February 2017.
- [8] C. Peng and F. Li. *A survey on recent advances in event-triggered communication and control*. *Information Sciences*, 457–458:113–125, August 2018.
- [9] W. Heemels, M. Donkers, and A. Teel. *Periodic event-triggered control for linear systems*. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 58(4):847–861, September 2012.

Plano de trabalho do bolsista

Modalidade do Orientando: Bolsista PIBIC.

1. Objetivos das Atividades:

O aluno deverá estudar os conceitos básicos referentes ao projeto. Assim, ele terá a base necessária para o desenvolvimento do projeto.

2. Descrição das Atividades:

1. Estudos teóricos

1.1 Sistemas lineares contínuos e discretos no tempo

1.2 Sistemas de controle via rede acionados por eventos

1.3 Teoria de estabilidade de Lyapunov e LMIs

1.4 Ferramentas de análise e síntese de sistemas de controle via rede acionados por evento

2. Desenvolvimento e aplicação

2.1 Obtenção de condições de análise e síntese de sistemas de controle via rede acionados por eventos

2.2 Aplicação do controlador na planta real

3. Relatório final

3.1 Escrita do relatório final e elaboração de artigos para congressos e/ou revista.

3. Local de Desenvolvimento das Atividades:

Laboratório Sinais e Sistemas, sala 315, CEFET-MG *Campus* Divinópolis.

4. Cronograma de Atividades:

Atividade (↓) Mês.(→)	1 ^o	2 ^o	3 ^o	4 ^o	5 ^o	6 ^o	7 ^o	8 ^o	9 ^o	10 ^o	11 ^o	12 ^o
1.1	✓											
1.2		✓	✓									
1.3			✓	✓								
1.4				✓	✓							
2.1						✓	✓	✓	✓			
2.2								✓	✓	✓		
3.1										✓	✓	✓

Tabela 1: Cronograma de atividades.

5. Metodologia de Acompanhamento:

O bolsista será acompanhado semanalmente, através de reuniões com orientador e co-orientador. A partir do 3^o mês de atividade, o bolsista apresentará seminários mensais descrevendo as atividades realizadas.