

Controle Preditivo Satisfatório Prático: Algoritmos e Aplicações

Proposta de Dissertação de Mestrado

Orientador: Eduardo Camponogara
Coorientador: Marcelo Lopes de Lima (CENPES/Petrobras)

15 de Junho de 2016

1 Informações Gerais

- **Áreas de concentração:** otimização, sistemas dinâmicos, controle preditivo, controle satisfatório
- **Início:** Agosto/2016.
- **Previsão de término:** Dezembro/2017.

2 Objeto da Pesquisa

A estratégia de controle preditivo baseada em modelo é amplamente empregada na indústria petroquímica, em controle de processos e outros sistemas dinâmicos complexos. Tal estratégia resolve em tempo-real um problema de otimização para determinar os sinais de controle, enquanto leva em consideração o estado corrente do sistema, as perturbações que possam afetar a operação e as restrições que garantem a integridade e segurança do sistema [2].

Em essência, CP converte um problema de otimização dinâmica em uma sequência de problemas de otimização estática, permitindo assim o emprego de algoritmos de otimização padrão.

Sistemas geograficamente distribuídos, tais como plantas petroquímicas conforme ilustra a Figura 1, surgem da interconexão de diversos subsistemas dinâmicos acoplados, sejam pelas equações dinâmicas ou por restrições algébricas como conservação de massa e energia. Uma dificuldade para aplicação de controle preditivo em sistemas distribuídos está na sintonia dos objetivos dos subsistemas.

Tipicamente, engenheiros definem pesos para cada objetivo que são combinados em um objetivo global a ser minimizado pelo controlador/otimizador. Tal abordagem é conhecida como *sintonia categórica* [7] visto que, uma vez definida, é utilizada em quaisquer situações futuras. Daí a dificuldade, e talvez impossibilidade, de se encontrar ponderações estáticas que sejam adequadas para as diversas condições operacionais.



Figura 1: Planta Petroquímica

Em [3], foi proposta uma abordagem de controle preditivo distribuído satisfatório que leva a uma sintonia automática, conhecida como *sintonia situacional*. Esta nova abordagem estabelece uma região satisfatória para cada subsistema, em vez de utilizar ponderações associadas aos objetivos locais. O controlador/otimizador então busca uma solução que seja satisfatória para todos os subsistemas, em particular o centro analítico da região de interseção. Propriedades relacionadas ao controle preditivo clássico e estabilidade dinâmica foram estabelecidas para o centro analítico [4, 1].

No entanto, a abordagem de controle satisfatório exige o emprego de algoritmos de otimização mais complexos, de ponto-interior, que são mais sensíveis aos parâmetros e computacionalmente onerosos. Neste sentido, esta dissertação de mestrado busca desenvolver abordagens práticas para resolução do problema de controle satisfatório com o emprego de abordagens de otimização mais robustas. Além disso, esta dissertação busca incluir aspectos reais para a aplicação desta técnica a nível industrial. Por exemplo, considerar o modelo de entrada como sendo apenas uma amostra de dados entrada-saída do sistema e extrair as informações das regiões satisfatórias a partir de informações informais dos operadores de cada subsistema.

2.1 Definição do Problema

As abordagens existentes para sintonia de controladores preditivos de sistemas dinâmicos geograficamente distribuídos são de difícil aplicabilidade, seja pela natureza categórica da sintonia, seja pela complexidade das relações relativas entre as ponderações associadas aos diversos subsistemas. Assim surge o problema de se desenvolver metodologias mais práticas, que facilitem a sintonia e sejam de natureza situacional, se adaptando dinamicamente às situações futuras. Aplicações industriais são encontradas em refinarias, plantas petroquímicas e sistemas de energia geograficamente distribuídos, construídos a partir das interconexão de subsistemas dinâmicos.

2.2 Objetivos

A pesquisa vinculada à presente proposta de dissertação terá como objetivos específicos:

- Desenvolver novas abordagens para implementação e aplicação de controle satisfatório, na forma centralizada e distribuída, fazendo uso de algoritmos mais robustos que aproximem de forma indireta o centro analítico da região definida pela interseção das regiões satisfatórias.
- Implementar, testar e validar as novas abordagens de controle satisfatório práticas em um sistema dinâmico representativo, possivelmente um sistemas de separação trifásico encontrado em plataformas marítimas de produção de petróleo e gás.

3 Metodologia

O plano de estudos compreende a realização de algumas disciplinas especializadas, são elas:

1. DAS-410069 - Sistemas Dinâmicos Lineares, 4 créditos
2. DAS-410049 - Programação Inteira, 2 créditos.
3. DAS-410048 - Otimização Convexa, 2 créditos.
4. DAS-410066 - Controle Preditivo, 2 créditos.

O plano de atividades para a execução do projeto está delineado abaixo:

1. Fundamentação em otimização matemática e algoritmos com a realização da disciplinas de “Programação Inteira” e “Otimização Convexa.”
2. Fundamentação em controle preditivo com a realização da disciplina de “Controle Preditivo.”
3. Síntese de um sistema dinâmicos não-linear e representativo para estudos, análise e experimentações. Sugere-se a síntese do sistema de quatro tanques em Modelica [5].
4. Estudo abordagens para identificação de modelos dinâmicos, com ênfase na metodologia proposta por Santoro e Odlak [6].
5. Implementação e teste de estratégias de controle preditivo satisfatório [3] do sistema de quatro tanques utilizando os modelos identificados.

6. Desenvolvimento de uma abordagem de solução prática do problema de controle satisfatório, possivelmente utilizando algoritmos de programação quadrática e ponderações de objetivos ajustadas dinamicamente, em resposta as condições operacionais vigentes.
7. Implementação e teste das novas abordagens de controle satisfatório prático considerando o sistema de quatro tanques.
8. Síntese de modelo de simulação de um sistema de separação de fluidos típico de plataformas marítimas de produção de petróleo e gás.
9. Aplicação das novas abordagens de controle satisfatório prático ao sistema de processamento de fluidos, bem como comparação com o controle satisfatório ótimo que implementa a solução definida pelo centro analítico das regiões satisfatórias.
10. Estudar possibilidades de implementar, de maneira distribuída, os algoritmos desenvolvidos.
11. Redação de artigo.
12. Redação da dissertação
13. Defesa da dissertação.

4 Cronograma

O cronograma de atividades está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Cronograma de Atividades

Atividade/Mês	2016					2017												
	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	x	x	x															
2			x	x	x													
3	x	x	x															
4			x	x	x													
5				x	x	x												
6						x	x	x										
7								x	x	x								
8									x	x	x							
9											x	x	x					
10													x	x	x			
11			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
12			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
13																		x

Bibliografia de Referência

- [1] Stephen P. Boyd and Lieven Vandenberghe. *Convex Optimization*. Cambridge University Press, 2004.
- [2] E.F. Camacho and C. Bordons. *Model Predictive Control*. Advanced Textbooks in Control and Signal Processing. Springer London, 2004.
- [3] M. L. de Lima, E. Camponogara, D. Limón, and D. Muñoz. Distributed satisficing MPC. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 23(1):305–312, 2015.
- [4] M. L. de Lima, D. Limón, D. Muñoz, and E. Camponogara. Distributed satisficing MPC with guarantee of stability. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 61(2):532–537, 2016.
- [5] K. H. Johansson. The quadruple-tank process: a multivariable laboratory process with an adjustable zero. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 8(3):456–465, 2000.
- [6] Bruno F. Santoro and Darci Odloak. Closed-loop stable model predictive control of integrating systems with dead time. *Journal of Process Control*, 22, 2012.
- [7] Wynn C. Stirling. *Satisficing Games and Decision Making: With Applications to Engineering and Computer Science*. Cambridge University Press, 2003.