

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Campus DIVINÓPOLIS

GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

Álan Crístopher e Sousa

IMPLEMENTAÇÃO DE CONTROLADOR MPC EM UM
SISTEMA A PARÂMETROS DISTRIBUÍDOS VIA SUBSISTEMAS
INTERCONECTADOS



Divinópolis

2018

Álan Crístopher e Sousa

IMPLEMENTAÇÃO DE CONTROLADOR MPC EM UM
SISTEMA A PARÂMETROS DISTRIBUÍDOS VIA SUBSISTEMAS
INTERCONECTADOS

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada ao Colegiado de Graduação em Enge-
nharia Mecatrônica como parte dos requisitos exi-
gidos para a obtenção do título de Engenheiro Me-
catrônico.

Eixo de Formação: Modelagem e Controle de Pro-
cessos.

Orientador: Prof. Dr. Valter Júnior de Souza Leite

Coorientador: Prof. Dr. Ignacio Rubio Scola



Divinópolis

2018

A MINHA FAMÍLIA, QUE SEMPRE
ME APOIOU NESSA CAMINHADA.

Agradecimentos

Agradeço,

aos meus pais por todo o apoio e confiança em mim depositados;

ao Prof. Valter por toda a paciência e empenho nesses 2 anos de orientação;

ao Prof. Ignacio pelas conversas e esclarecimentos;

aos colegas de trabalho mais próximos: Nelson Figueredo, Ângelo Eugênio, Mariella Maia, Michelle Faria, Anderson Bento, Mário Cipriano, Bernardo Amim, Luis Gustavo e Rafael Silveira a convivência descontraída e as trocas de experiências;

aos demais colegas do Grupo de Modelagem e Controle de Sistemas Mecatrônicos a ótima convivência;

a todos que de alguma forma contribuíram com o meu progresso.

Não há nada como um sonho para criar o futuro.

Victor Hugo

Resumo

Controle preditivo baseado em modelo (Controle preditivo por modelo, do inglês *Model Predictive Control* (MPC) — *model predictive control*) é uma técnica avançada de controle que permite a inserção de restrições no sinal de controle e de variação dos estados do sistema na etapa de equacionamento do controlador. Seu objetivo é encontrar a trajetória de controle ótima que respeite as restrições impostas. O MPC já está estabelecido em indústrias que lidam com processos multivariáveis de dinâmica lenta, especialmente na indústria petro-química. Sua formulação mais comum utiliza modelos descrito no espaço de estados, o que requer que todos os estados sejam conhecidos. Como nem sempre é possível medi-los, faz-se necessário o uso de observadores, que são técnicas de estimar os estados do sistema a partir dos sinais de entrada e saída por meio do modelo dinâmico do sistema. Utilizando técnicas de modelagem, como por exemplo os métodos lineares Modelo autoregressivo de média variável com entradas exógenas, do inglês *Autoregressive-moving-average with exogenous inputs model* (ARMAX) (do inglês *autoregressive moving average with exogenous inputs*), pode-se obter um modelo a parâmetros concentrados cujos coeficientes dependem do espaço (Sistema a Parâmetros Distribuídos (SPD) — sistema a parâmetros distribuídos). Esses modelos SPD pode ser utilizados por observadores para estimar os estados do sistema em pontos de interesse onde não é possível ou viável inserir sensores. Assim pode-se, por exemplo, medir-se a temperatura na extremidade de um sólido e, através desta, recuperar-se a temperatura em algum ponto no meio do sólido, desde que o modelo dinâmico de propagação seja conhecido. Ao combinar o modelo ARMAX, o controlador MPC e o observador de estados é possível controlar uma variável em um ponto diferente daquele sendo medido. Assim propõe-se o desenvolvimento e implementação de um controlador MPC que utilize modelos SPD para realizar o controle de uma variável estimada em um ponto intermediário de um sistema distribuído espacialmente. Para isso será utilizada a planta presente no Laboratório de Sinais e Sistemas do *campus V* do CEFET-MG. O modelo SPD utilizado é o desenvolvido por Barroso (2017). A implementação é feita utilizando os softwares *Moirai* e *Lachesis*, desenvolvidos *in loco*, que foram atualizados de forma a comunicar com o *hardware* da planta que receberam atualizações visando suas melhorias. Pretende-se com este trabalho, que envolve principalmente as áreas de controle e computação, aprofundar os estudos do

Grupo de Modelagem e Controle de Sistemas Mecatrônicos na utilização de modelos SPD e do MPC, bem como facilitar futuros trabalhos nesta e outras plantas.

Palavras-chave: Controle preditivo por modelo, sistema a parâmetros distribuídos, observador de Kalman

Abstract

Model Predictive Control (MPC) is an advanced control technique that allows the insertion of restrictions in the control signal and in the variation of the system states in the controller equation stage. Its goal is to find the optimal trajectory of the control signal that respects the restrictions imposed. The MPC is already established in industries dealing with multivariate, slow dynamics systems, especially in the petrochemical industry. Its formulation most commonly uses models described in state space, what requires all states to be known. As it is not always possible to measure them, observers, which are techniques of estimating states from the input and output signals, are employed. Using modeling techniques, such as ARMAX (autoregressive moving average with exogenous inputs), one can obtain a model with concentrated parameters whose coefficients depend on the space (DPS — distributed parameters system). These DPS models can be used to estimate the states of the system at points of interest where it is not possible or feasible to insert sensors. Thus, one can measure, for example, the temperature at the end of a solid and, through an observer, recover the temperature at some point in the middle of the solid, provided that the dynamic propagation is known. When combining the ARMAX model, the MPC controller and the state observer it is possible to control a variable in a different spacial point from that being measured. Thus, the development and implementation of a MPC controller using DPS to control an estimated variable at an intermediate point of a spatially distributed system is proposed. For this the plant used will be the one present in the Laboratory of Signals and Systems at *campus V* of CEFET-MG. The DPS model used is the one developed by Barroso (2017). The implementation is done using the Moirai and Lachesis softwares, developed *in loco*, which have been updated in order to communicate with the hardware of the plant. The software received updates aimed at its improvements. It is intended to this work, which mainly involves the areas of control and computation, to deepen the studies of the Group of Modeling and Control of Systems Mechatronics in the use of DPS and MPC models, as well as facilitate future work in this and other plants.

Keywords: Model predictive control, distributed parameters system, Kalman filter

Sumário

1	Hello	1
1.1	Hello	1

Lista de figuras

Lista de tabelas

Lista de acrônimos e notações

ARMAX	Modelo autoregressivo de média variável com entradas exógenas, do inglês <i>Autoregressive-moving-average with exogenous inputs model</i>
MPC	Controle preditivo por modelo, do inglês <i>Model Predictive Control</i>
SPD	Sistema a Parâmetros Distribuídos

Capítulo 1

Hello

1.1 Hello

MPC

- Autores: Álan Crístopher e Sousa.
- Orientador: Prof. Dr. Valter Júnior de Souza Leite.
- Coorientadores: Prof. Dr. Ignacio Rubio Scola.
- Coordenador: Prof. Dr. Lúcio Flávio Santos Patrício.
- Banca: Prof. Me. Alberto Pena Lara.