

CONTROLADOR DE TEMPO QUASE ÓTIMO PARA SISTEMAS BIDIMENSIONAIS

LEANDRO PFULLER LISBOA*, HENRIQUE LASEVICH*, NELSO BEDIN*, JEFERSON VIEIRA FLORES*,
AURÉLIO TERGOLINA SALTON*

*PUCRS - Grupo de Automação e Controle de Sistemas
Av. Ipiranga, 6681, 90619-900
Porto Alegre (RS), Brasil

Emails: {leandro.lisboa, henrique.laevich, nelson.bedin}@acad.pucrs.br,
{jeferson.flores, aurelio.salton}@pucrs.br

Abstract— This paper focuses on the development of a proximate time optimal control method for two dimensional rigid body systems. Our approach is based on the traditional Proximate Time-Optimal Servomechanism (PTOS), which starts with a near-time-optimal controller and then switches to a linear controller at the time when the system output approaches a given target. This paper proposes to expand the PTOS, a unidirectional control law to a two dimensional systems, in order to perform linear point to point trajectories.

Keywords— Bidimensional Rigid Body System, Nonlinear Feedback, Time-Optimal Performance.

Resumo— Este artigo foca no desenvolvimento de um controlador de tempo semi ótimo para sistemas de corpo rígido bidimensionais. A abordagem baseia-se na tradicional técnica de controle *Proximate Time-Optimal Servomechanism* (PTOS), a qual inicia com uma aproximação do *Time-Optimal Control* (TOC) e, em seguida, comuta para um controlador linear Proporcional Derivativo (PD), no instante em que a saída do sistema se aproxima da referência. Este artigo propõe uma expansão do PTOS, uma lei de controle específica para sistemas unidimensionais, para ser utilizado em sistemas bidimensionais a fim de realizar trajetórias lineares ponto a ponto.

Palavras-chave— Sistema Bidimensional, Controlador Não Linear, Performance de Tempo Ótimo.

1 Introdução

Atuadores de posição trabalhando em malha fechada têm como objetivo alcançar a referência com a melhor precisão menor tempo possíveis. Como exemplo desta aplicação, existem atuadores atuando como *Pick and Place*, *Hard Disk Drives* (HDD), Braços Robóticos, Estações de Montagem Automática entre outras inúmeras aplicações de precisão na engenharia.

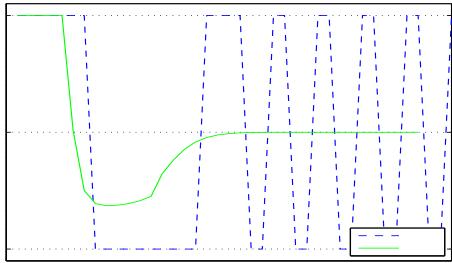
A maior parte dos atuadores usados na engenharia de precisão são modelados com equações de dinâmica de corpo rígido, tais como motores eletromagnéticos, (Grabner et al., 2010); braços robóticos, (Geering et al., 1986); sistemas HDD's de simples estágio, (Chen, 2006) bem como duplo estágio, (Zheng et al., 2010), entre outros.

Conforme (Zheng et al., 2010) , desempenho em tempo ótimo, ou, tempo mínimo de movimentação de um ponto inicial a um ponto final é o principal objetivo de inúmeros sistemas de controle. Assim, a técnica que obtém o melhor desempenho em servomecanismo é a *Time Optimal Controller* (TOC). Este controlador normalmente é chamado de *Bang-Bang Control* devido a sua atuação ser baseada em uma máxima aceleração seguida de uma máxima desaceleração possível. Esta ação é consideravelmente agressiva, o que resulta em um fenômeno conhecido como *Chattering*, (Khalil, 2002), tornando o controlador TOC incapaz de fornecer uma solução em um sentido prático. Dado este cenário, diferentes técnicas de controle tem sido sugeridas na literatura para a

obtenção de uma aproximação de tempo ótimo. A qual inclui *Proximate Time-Optimal Servomechanism control* (PTOS) , (Workman et al., 1987b), (Pascoal et al., 1989), (Salton et al., 2012) e (Workman et al., 1987a); *Variable Structure Sliding Mode control*, (Hung et al., 1993); *Nonlinear control*, (Chen et al., 2003); *Mode Switching control*, (Yamaguchi et al., 1998); *Two Degrees of Freedom control*, (Yi and Tomizuka, 1999); *Linear Quadratic Gaussian control*(LQG), (Hanselmann and Engelke, 1988) e *Adaptive control*, (Serikitkankul et al., 2005).

Do ponto de vista prático, a técnica de controle mais usual é o PTOS, o qual fornece uma solução relativamente simples e elegante para uma aproximação de tempo ótimo em movimentação ponto a ponto. A técnica PTOS foi desenvolvida com o objetivo de resolver o fenômeno de *chattering*. Esta técnica consiste em uma troca suave da lei TOC no instante em que o sinal se aproxima da referência para uma lei de controle linear, evitando assim, uma mudança abrupta no sinal de controle. Como consequência, esta lei de controle utiliza a máxima aceleração do atuador apenas quando lhe é conveniente, tornando-a ideal para sistemas unidimensionais. Contudo, quando a intenção é atuar em sistemas bidimensionais esta técnica não garante a sincronia dos eixos, não sendo capaz de alcançar uma trajetória linear bidimensional ponto a ponto.

Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma nova abordagem referente ao PTOS, tornando possível utilizá-lo em um sistema de corpo



- Aplica-se uma lei de controle que comute da lei não linear complexa para uma lei linear simples, tal como um PD, quando o sistema se aproxima da referência, conseguindo assim uma estabilidade assintótica.

Estas três etapas resultam em um controlador dado por (3), onde o sinal de controle u tem o comportamento apresentado na Figura 1.

$$u(t) = k_2(-f_P(e) - \dot{y}) \quad (3)$$

onde:

$$f_P(e) = \begin{cases} (k_1/k_2)e & , |e| \leq y_l \\ sgn(e) (\sqrt{|e|} - y_l) & , |e| > y_l \end{cases}$$

