

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Automação e
Sistemas

Tema de Mestrado 2017

**Modelagem e Controle de força e posição de robôs
manipuladores**

Edson Roberto De Pieri - Orientador
Henrique Simas- Co-orientador

Florianópolis, julho de 2017

1 Resumo do projeto

O aumento da complexidade das tarefas de robôs industriais e a expansão da utilização de robôs de serviço requerem o aprofundamento de estudos sobre a interação de robôs com o meio. Esta interação pode ser estática, quando não existe movimento relativo do robô com o meio, ou dinâmica, quando existe movimento relativo do robô em relação ao meio, mas o contato é mantido durante esta movimentação. Quando a movimentação é lenta, é possível considerar a interação como quase-estática, pois os efeitos dinâmicos podem ser desprezados. Na execução de determinadas tarefas, os robôs industriais e os robôs de serviço podem ser levados ao limite de sua capacidade de força-momento. Se a capacidade de força-momento do robô é excedida, danos materiais e ferimentos em pessoas podem ocorrer durante a execução de uma tarefa. A capacidade de força-momento de um robô depende dos torques em seus atuadores, de sua configuração, da posição e orientação de seu efetuador e das ações presentes no contato com o meio. Neste trabalho, será considerado o problema de modelagem e controle de robôs industriais com diferentes tipos de contato com o meio.

Palavras-chave: Robótica, Manipuladores, Controle de Força-Posição

2 Introdução

Nas diversas aplicações da robótica, os manipuladores têm sido tradicionalmente utilizados no meio industrial em tarefas repetitivas e que exigem velocidade, precisão de posicionamento e força superiores à capacidade humana. Fora do campo industrial, robôs têm sido desenvolvidos e aplicados na execução de tarefas específicas – como robôs de serviço – em aplicações médicas, militares, espaciais, ambientais, em treinamento e em lazer. Mesmo no meio industrial, novas aplicações têm sido concebidas. Esta diversidade é atingida à custa de uma maior complexidade na especificação e execução das tarefas bem como no desenvolvimento de novas configurações cinemáticas, incluindo robôs seriais, paralelos, a utilização cooperativa de manipuladores, robôs móveis e as aplicações envolvendo veículos-manipuladores.

Independente do ramo de aplicação, muitas destas tarefas exigem que o manipulador ou manipuladores sejam capazes de interagir com o ambiente em que está inserido, ambiente este denominado genericamente de meio. O meio, por sua vez, impõe restrições ao movimento do manipulador e surgem forças e torques de interação justamente devido ao contato. A correta especificação e o controle dessas grandezas são preponderantes para a execução da tarefa. Para tanto, as seguintes áreas de conhecimento são envolvidas: modelagem e estimativa de parâmetros estáticos, dinâmicos e geométricos do contato, planejamento de trajetórias de posição e de força e o controle da interação. Em cada um destes domínios, pesquisa extensiva tem sido apresentada nos últimos 20 anos e a área de pesquisa possui um número expressivo de questões teóricas e experimentais em aberto.

Com relação ao contato, a interação entre o robô e o meio pode ser dinâmica ou estática, conforme há ou não movimento relativo do manipulador com o meio – garantindo-se sempre que o contato seja mantido. Se as velocidades envolvidas forem suficientemente baixas de modo que efeitos dinâmicos sejam desprezíveis, a interação pode ser considerada como quase-estática. Estas características são fundamentais para definir o modo de tratar o problema e especificar estratégias adequadas às diferentes aplicações anteriormente citadas.

A correta geração de referências de posição e força, off-line ou em tempo de execução, é essencial para o controlador garantir o contato nos níveis desejados. Técnicas de geração de trajetórias de posição com evitamento de colisão e a otimização de trajetórias de força e posição segundo critérios pré-definidos são exemplos recentes de aplicações.

Do ponto de vista de controle, comandar um robô consiste em determinar e gerar forças e torques de acionamento nas juntas de forma a executar uma dada tarefa. Ao mesmo tempo deve satisfazer requisitos de desempenho e segurança. No caso das aplicações em que há contato com o meio, a força é uma grandeza que descreve adequadamente o estado da interação. As estratégias gerais são: controle de rigidez passivo, que utiliza dispositivos reconfiguráveis baseados no conceito do centro remoto de complacência (RCC); controle de rigidez ativo, que faz o controle indireto da força através de um controle de posição; por impedância, em que a dinâmica da relação força x velocidade é controlada; controle híbrido, em que a tarefa é particionada em função de restrições geométricas nas quais os controles de força e de velocidade são realizados complementarmente; o controle direto, com realimentação de força e malhas internas de posição e/ou velocidade, e finalmente o controle paralelo, que permite a regulação simultânea de força e de posição. Estratégias modernas utilizam controle adaptativo, controle robusto e métodos de aprendizado complementando as formulações clássicas. O uso de servo-visão também tem sido estudado e é uma abordagem a ser analisada.

O uso de dois ou mais manipuladores executando uma tarefa sobre um mesmo objeto, caracterizando a chamada manipulação cooperativa, tem sido uma tendência de pesquisa com aplicações variadas. Como exemplos, podemos citar o compartilhamento de carga, mãos robóticas, operações de dobramento, montagem e inspeção, robôs operando como guias, entre outros. A modelagem e controle destes sistemas robóticos cooperativos requer técnicas específicas e diferenciadas se comparadas àquelas usadas em robôs individuais. De toda forma, os problemas de estática, dinâmica, planejamento e controle são campos de desenvolvimento nesta área. Diversas abordagens para o controle cinemático têm sido apresentadas. Podemos citar a aplicação de quatérnions para representar a configuração geométrica relativa dos efetuadores e da configuração absoluta do objeto

manipulado, o controle de postura com restrições cinemáticas representado pelas equações estruturais, e o uso de helicoides para especificar a estrutura robótica, o ambiente da tarefa e a cinemática diferencial em diferentes tarefas.

Ao contrário daquilo que ocorre com o controle de posição, no controle de força, devido à dificuldade de dispor de robôs equipados com sensores de força e com arquitetura aberta de controle, a grande maioria dos métodos de controle propostos são teóricos e os principais testes são realizados em nível de simulação. Para teste dos algoritmos de controle de força e posição será utilizado o robô industrial de configuração *SCARA* (Inter), disponível no laboratório de Robótica da UFSC.

2.1 Objetivos

O objetivo principal desta proposta é o desenvolvimento e aplicação de técnicas de modelagem e controle de força posição para manipuladores em contato com o meio.

3 Etapas

- A Revisão da literatura referente à modelagem de robôs manipuladores em contato com o meio
- B Revisão dos conceitos helicoides e heliforças e uso dessas ferramentas para modelagem cinemática do contato
- C Desenvolvimento e testes de modelos matemáticos para diferentes tipos de contatos
- D Revisão bibliográfica da literatura de controle de força de robôs manipuladores
- E Projeto e simulação de controladores de força
- F Atualização do sistema operacional do Robô *SCARA* e definição de tarefas para teste dos controladores
- G Experimentação e análise de resultados
- H Publicação dos resultados
- I Redação e defesa da dissertação

4 Requisitos

- Bom desempenho acadêmico
- Capacidade de leitura, compreensão e redação em inglês
- Iniciativa e capacidade de trabalho em grupo
- Dedicção exclusiva ao mestrado até a etapa de publicação de resultados

Referências

- [1] R.S. Ball – A Treatise on the Theory of Screws – Cambridge University Press, reedition of 1998
- [2] A. Bicchi, V. Kumar – Robotic grasping and contact: a review – Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics & Automation. San Francisco, USA: IEEE. 2000. p. 348–353

- [3] S. Boyd, B. Wegbreitt – Fast computation of optimal contact forces – IEEE Transactions on Robotics, v. 23, p. 1117–1132, 2007
- [4] J. K. Davidson, K. H. Hunt – Robots and Screw Theory: Applications of Kinematics and Statics to Robotics – New York: Oxford University Press Inc., 2004
- [5] T. H. Davies – Kirchhoff's circulation law applied to multi-loop kinematic chains – Mechanism and Machine Theory, v. 16, p. 171–183, 1981
- [6] T. H. Davies – Couplings, coupling network and their graphs – Mechanism and Machine Theory, v. 30, p. 991–1000, 1995
- [7] T. H. Davies – Freedom and constraint in coupling networks – Proc. of the IMechE, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, v.220, n.7, 2006
- [8] T. H. Davies – Mechanical networks III: Wrenches on circuit screws – Mechanism and Machine Theory, v.18, n.2, 1983
- [9] J. De Schutter et al – Force control: A bird's eye view – Lecture Notes in Control and Information Sciences, v. 230, p. 1–17, 1998
- [10] R. Kelly, V. Santibanez, A. Loria – Control of Robot Manipulators in Joint Space – 1st. ed. London, United Kingdom: Springer-Verlag London Limited, 2005
- [11] B. Siciliano et al. – Force Control – Springer Handbook of Robotics. Springer Berlin Heidelberg, 2008, pp. 161–185
- [12] M. Takegaki, S. Arimoto – A new feedback method for dynamic control of manipulators – Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, ASME, v. 103, n. 2, p. 119–125, 1981
- [13] L. W. Tsai – Robot Analysis: the mechanics of serial and parallel manipulator – New York, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1999
- [14] L. W. Tsai – Solving the inverse dynamics of a Stewart-Gough manipulator by the principle of virtual work – Journal of Mechanical Design, v. 122, n. 1, 2000
- [15] P. Wenger, D. Chablat – Kinematic analysis of a class of analytic planar 3-RPR parallel manipulators – Computational Kinematics: 5th. Intl. Workshop on Computational Kinematics, Springer, 2009
- [16] Y. Zhao, J.F. Liu, Z. Huang – A force analysis of a 3-RPS parallel mechanism by using screw theory – Robotica, vol.29, n.4, 2011
- [17] G. Zeng, A. Hemani – An overview of robot force control- Robotica, v. 15, p. 473–482, 1997