

Contribuições à modelagem e controle de manipuladores paralelos

André Garnier Coutinho

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Novembro de 2019

Revisão da Literatura

Modelagem Dinâmica

Influência da topologia do robô

Influência da topologia do robô

- Seriais

Influência da topologia do robô

- Seriais
 - Cadeia aberta
 - Juntas ativas de 1 gl
 - N° de coord. gen. = N° atuadores = mobilidade
 - Conjunto mínimo de coord. generalizadas
 - Cinemática direta simples
 - Cinemática inversa complexa
 - Dinâmica direta - Sistema de EDOs
 - Dinâmica inversa - Sistema linear
 - Algoritmos recursivos para mod. dinâmica

Influência da topologia do robô

- Paralelos

Influência da topologia do robô

- Paralelos
 - Cadeia fechada
 - Juntas de 1, 2 ou 3 gl, ativas ou passivas
 - Grande número de elos
 - Grande quantidade de variáveis cinemáticas
 - Variáveis independentes e dependentes
 - Cinemática direta complexa
 - Cinemática inversa "simples"
 - Dinâmica direta - Sistema de EDAs ou EDOs
 - Dinâmica inversa - Sistema não linear
 - Coord. gen. ind.: coord. dos atuadores ou do efetuador

Dinâmica direta - EDAs

$$M\ddot{q} + A^T \lambda = \tau \quad (2.1)$$

$$\bar{q}(q, t) = 0 \quad (2.2)$$

Sendo

$$A(q, t) = \frac{\partial \bar{q}}{\partial q} \quad (2.3)$$

Dinâmica direta - EDOs

$$\underbrace{\begin{bmatrix} M & A^T \\ A & 0 \end{bmatrix}}_Y \begin{bmatrix} \ddot{q} \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \eta \\ -b \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Sendo

$$b = \frac{\partial(A\dot{q})}{\partial q} \dot{q} + 2 \frac{\partial A}{\partial t} \dot{q} + \frac{\partial^2 \bar{q}}{\partial t^2} \quad (2.5)$$

Dinâmica direta - EDOs

$$\underbrace{\begin{bmatrix} M & A^T \\ A & 0 \end{bmatrix}}_Y \begin{bmatrix} \ddot{q} \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \eta \\ -b \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Sendo

$$b = \frac{\partial(A\dot{q})}{\partial q} \dot{q} + 2 \frac{\partial A}{\partial t} \dot{q} + \frac{\partial^2 \bar{q}}{\partial t^2} \quad (2.5)$$

Método estabilização de Baumgarte

$$b' = b + 2\hat{\alpha}\dot{\bar{q}} + \hat{\beta}^2\bar{q} \quad (2.6)$$

Propósito

Propósito

- Simulação

Propósito

- Simulação
 - Projeto/Dimensionamento do mecanismo/manipulador
 - Grau de detalhamento do modelo depende da aplicação
 - Não necessita rodar em tempo real

Propósito

- Simulação
 - Projeto/Dimensionamento do mecanismo/manipulador
 - Grau de detalhamento do modelo depende da aplicação
 - Não necessita rodar em tempo real
- Controle

Propósito

- Simulação
 - Projeto/Dimensionamento do mecanismo/manipulador
 - Grau de detalhamento do modelo depende da aplicação
 - Não necessita rodar em tempo real
- Controle
 - Projeto do controlador
 - Compensação de não linearidades
 - Modelos demasiadamente complexos dificultam o projeto e podem aumentar o custo computacional
 - Modelos muito simplistas podem comprometer o desempenho
 - Muitas vezes precisa rodar em tempo real

Principais formulações

- Formalismo de Newton-Euler (Arian *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2014)
- Formalismo de Lagrange (Singh e Santhakumar, 2015; Yao *et al.*, 2017)
- Princípio dos Trabalhos/Potências Virtuais (Gallardo-Alvarado *et al.*, 2018; Li e Staicu, 2012)
- Formulação Lagrange-D'Alembert (Cheng *et al.*, 2001; Yen e Lai, 2009)
- Método de Kane (Ben-Horina *et al.*, 1998; Shukla e Karki, 2014)
- Formalismo de Boltzmann-Hammel (Abdellatif e Heimann, 2009; Altuzarra *et al.*, 2015)
- Formulação do Complemento Ortogonal Natural (Akbarzadeh *et al.*, 2013; Khan *et al.*, 2005)

Revisão da Literatura

Controle

Principais técnicas

- Controle Proporcional-Integral-Derivativo
- Controle por Torque Computado (Shang e Cong, 2009; Yen e Lai, 2009)
- Controle por Torque Computado com pré-alimentação (Siciliano *et al.*, 2010; Spong *et al.*, 2006)
- Controle por Torque Computado Estendido (Zubizarreta *et al.*, 2013; Zubizarreta *et al.*, 2012)
- Controle Preditivo Baseado em Modelo (Duchaine *et al.*, 2007; Vivas e Poignet, 2005)
- Controle Adaptativo (Chemori *et al.*, 2013; Honegger *et al.*, 2000;)
- Controle por Modos Deslizantes (Hu e Woo, 2006; Sadati e Ghadami, 2008)