

離散時間スライディングモード制御による パワーアシストマニピュレータの設計

首都大学東京 B4 花房健多 (児島研究室)

1. はじめに

研究背景と目的

- 人間と機械が接する際、**安全な制御**が実現されることが重要
- 非線形性**, **モデル化誤差**を考慮した, 大域的な安定性が必要
- 非線形性, モデル化誤差を考慮した
パワーアシストマニピュレータの設計

課題とアプローチ

- ユーザの均一な操作感, マニピュレータの人間を模倣した柔らかな動きが重要
- 制御器として**離散時間スライディングモード制御**,
目標値生成に**アドミッタンス制御**を適用

2. 制御対象

運動方程式

$$H(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + r(\dot{q}) = \tau$$

$$H(q) = \begin{bmatrix} I_0 & C_r \cos\theta \\ C_r \cos\theta & I_1 \end{bmatrix}$$

$$C(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} 0 & C_r \dot{q}_1 \sin\theta \\ -C_r \dot{q}_0 \sin\theta & 0 \end{bmatrix}$$

$$r(\dot{q}, \tau) = \begin{bmatrix} B_0 \dot{q}_0 + f_1(\dot{q}_0, \tau_0) \\ B_1 \dot{q}_1 + f_2(\dot{q}_1, \tau_1) \end{bmatrix}$$

$$q = [q_0 \ q_1]^T \quad \tau = [\tau_0 \ \tau_1]^T \quad \theta = q_0 - q_1$$

Table 1 Identified parameters

I_0 [kgm ²]	I_1 [kgm ²]	C_r [kgm ²]	B_0 [Nms]	B_1 [Nms]
0.22	0.14	0.18	2.94	1.63

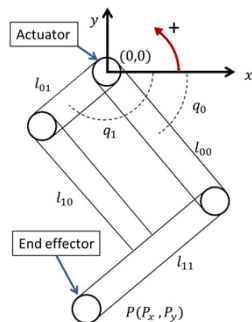


Fig. 1 Sketch of the manipulator

3. 制御手法

スライディングモード制御

- 線形系, 時変形, **非線形系**,
モデル化誤差や未知外乱を有する系に
容易に適用できる**非線形ロバスト制御**
- 離散時間**での設計も可能

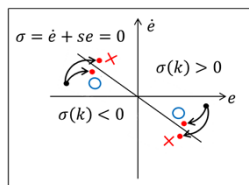


Fig. 2 Numerical constraints to satisfy reaching mode without chattering

設計手順

- 一階の微分方程式からなる切換面の設計
- 位相空間上の状態変数を切換面に拘束する制御入力*の設計

*追従性とチャタリングはトレードオフの関係
→**離散時間**ではチャタリング抑制条件が考慮可能

制御入力**

$$u(k) = (SB_d)^{-1}(Sx^m(k+1) - SA_d x(k) + SB_d r(k) + (1-\eta)\sigma(k))$$

**条件を満たす範囲で S, η を実験的に選定

チャタリング抑制・安定条件

$$\begin{aligned} 0 \leq \sigma(k+1) < \sigma(k) & : \sigma(k) > 0 \\ \sigma(k) < \sigma(k+1) \leq 0 & : \sigma(k) < 0 \end{aligned}$$

アドミッタンス制御

- 力覚センサから与えられた外力を
もとに手先の目標位置を決定
- 柔らかな動き**を容易に実現

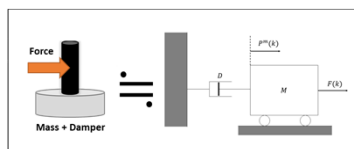


Fig. 3 Desired dynamics of the manipulator

$$\text{仮想ダイナミクス*} : M\ddot{p}^m(k) + D\dot{p}^m(k) = F(k)$$

4. 実機実験

実験条件

- 実験時間: 5[s]
- 初期位置: $(x, y) = (-0.3[m], -0.3[m])$
- 参照軌道: (a) 滑らかな軌道, (b) 急な変化を有する軌道

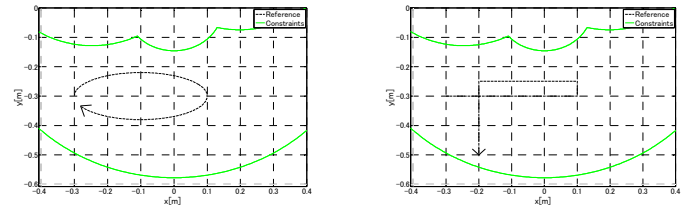


Fig. 4 Reference trajectory (case (a):ellipse, case (b):rectangle)

実験結果

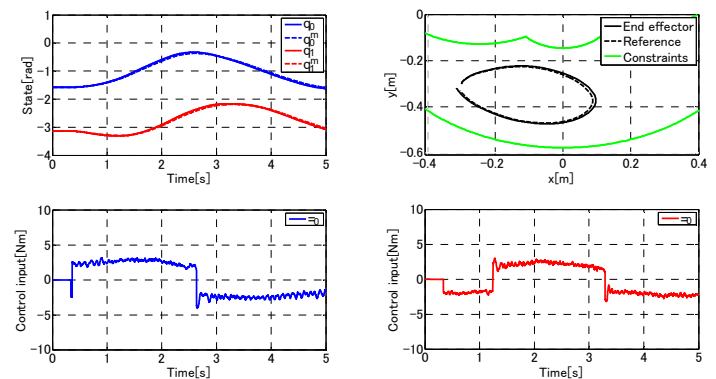


Fig. 5 Experimental results (ellipse)

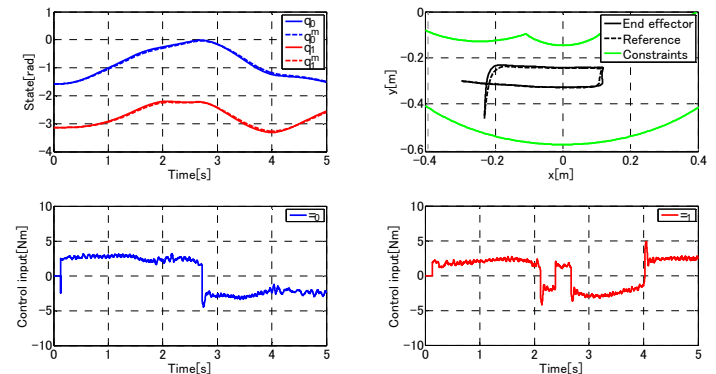


Fig. 6 Experimental results (rectangle)

- case (a), (b)共に高い追従性を確認できた。
- 制御入力ではチャタリングが抑制されている。

5. まとめと今後の予定

まとめ

- 離散時間スライディングモード制御を用いて, パワーアシストマニピュレータの設計を行った。

今後の予定

- パラメータ変動を含むディスクリプタシステムに対するスライディングモード制御法を確立する。

参考文献

- 野波, 田: スライディングモード制御-非線形ロバスト制御の設計理論, コロナ社 (1994)
- 武居直行, 野村茂広, 藤本英雄, 安定した接触を実現するアドミッタンス制御, 日本ロボット学会誌, Vol.26 No.6, 635-642 (2008)