

反力の抑制を考慮した 平行リンクマニピュレータのモデル予測制御

首都大学東京 ヒューマンメカトロニクスシステムコース B4 山地涼太 (児島研究室)

キーワード：反力抑制, トルク, モデル予測制御

1. はじめに

©2011年に東日本大震災が発生した。この災害及び事故のような極限環境において移動ロボットを前提としたロボット技術の活用が求められている¹⁾。

課題

ロボットアームでの作業を行う際、ベース部が固定されておらず、重心が不安定なため精度の高い作業が困難となる。

<http://www.robonable.jp/news/2013/09/mes-0927.html>

Fig. 1 災害救助用ロボット

○研究目的

- アームがベース部に与える**反力**を抑制し、運動軌道を生成するような制御を**モデル予測制御**によって実現する。
- 運動軌道に沿った安定な動作を実現する。

2. 制御則

○制御対象

制御対象としてFig. 3 に示す平行リンク2自由度マニピュレータを用いる。



Fig. 2 実験装置

・手先位置

$$\begin{cases} T_x = a \cos q_0 + b \cos q_1 \\ T_y = a \sin q_0 + b \sin q_1 \end{cases}$$

・ヤコビ行列

$$\begin{bmatrix} T_x \\ T_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a \sin q_0 & -b \sin q_1 \\ a \cos q_0 & b \cos q_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_0 \\ \dot{q}_1 \end{bmatrix}$$

運動方程式

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

$$H(q) = \begin{bmatrix} I_0 & -C_r \cos_{01} \\ -C_r \cos_{01} & I_1 \end{bmatrix}$$

$$C(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} 0 & -C_r \dot{q}_1 \sin_{01} \\ C_r \dot{q}_0 \sin_{01} & 0 \end{bmatrix}$$

$$r(\dot{q}) = \begin{bmatrix} B_0 \dot{q}_0 + E_0 \operatorname{sgn}(\dot{q}_0) \\ B_0 \dot{q}_1 + E_1 \operatorname{sgn}(\dot{q}_1) \end{bmatrix}$$

$$(\cos_{01} = \cos(q_0 - q_1), \sin_{01} = \sin(q_0 - q_1))$$

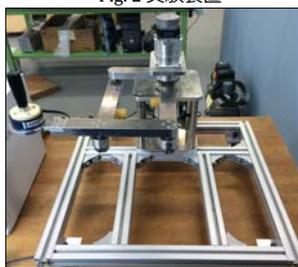


Fig. 3 制御対象

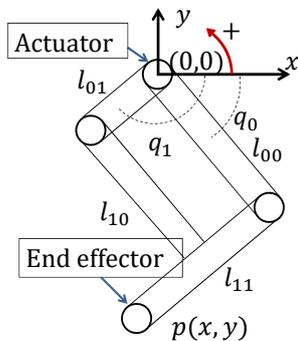


Fig. 4 モデル

○制御則 モデル予測制御²⁾

モデル予測制御とは、制御料の将来の動きを予測し、その予測する動きが希望している動きになるように操作量をサンプル時刻ごとに決め直していく方法。

- ・入力・出力への制約条件を扱いやすい。

3. シミュレーション

○シミュレーション条件

以下のような条件でシミュレーションを行った。

- ・運動時間：12.0[s]
- ・初期状態 (手先位置)
 $(x, y) = (-0.30[\text{m}], -0.30[\text{m}])$
- ・運動終了時の目標手先位置
 $(x, y) = (0.30[\text{m}], -0.30[\text{m}])$

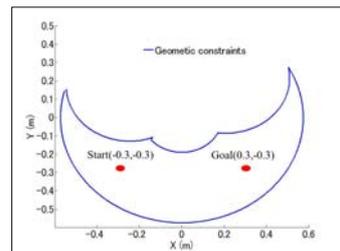


Fig. 5 シミュレーション条件

トルクの和を考慮した評価関数を J_A 、考慮しないものを J_B として与え、その違いを比較検討した。

$$J_A(k) = \|X(k) - T(k)\|_Q^2 + \|\Delta U(k)\|_R^2 + \|\tau_0(k+i) + \tau_1(k+i)\|_S^2$$

$$J_B(k) = \|X(k) - T(k)\|_Q^2 + \|\Delta U(k)\|_R^2$$

重み行列 $Q_j = \operatorname{diag}(1000, 100, 1000, 100)$, $R_i = \operatorname{diag}(0.01, 0.01)$
 $S_j = \operatorname{diag}(10, 10, 10, 10)$

○シミュレーション結果

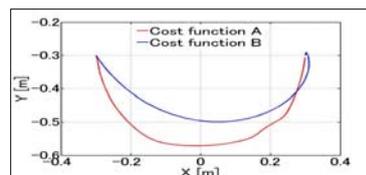


Fig. 6 アーム手先位置 x-y

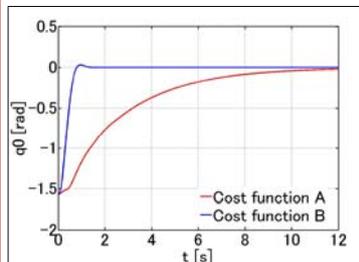


Fig. 7 関節角度 q_0

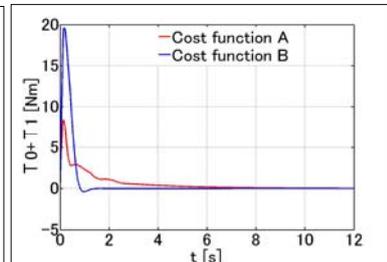


Fig. 8 トルクの和 $\tau_0 + \tau_1$

図中の赤線は評価関数 J_A 、青線は評価関数 J_B の場合の軌道を示す。Fig.8 より、評価関数 J_A を用いると J_B の場合よりも大幅にトルクの和が抑えられていることがわかる。また、Fig.7より、角度においては、評価関数 J_A を用いたほうが J_B の場合より、急激な角度変化を抑制することが確認できた。このことから、マニピュレータ運動開始時の急な回転を抑制できていることがわかる。

4. 今後の展開

本研究では、平行リンクマニピュレータをモデルとし、反力抑制のためにトルクの和を抑える項を導入した評価関数の検討を行い、シミュレーションによって有用性を示した。今後は実機に適用し、提案手法の有用性を示すことを目標とする。

参考文献

- 1) 浅間, 東日本大震災および福島第一原子力発電所事故におけるロボット技術の導入とその課題, 日本ロボット学会誌, Vol. 29, No. 7, 2011
- 2) 児島, 大塚: モデル予測制御の考え方, 計測と制御, Vol. 42, No. 4, 2003