

# 軌道計画変更を考慮した 平行リンクマニピュレータの予測制御

首都大学東京大学院 知能機械システム学域 M2 白石祐斗 (児島研究室)

## 1. はじめに

近年、ロボットアームは様々な用途で用いられている。中でも、人とロボットが共同で作業を行うような**人間機械協調システム**が注目されている

例. 介護ロボット, パワーアシストロボット, 協働生産ロボット

さらなる発展には**安全性の確保**が課題

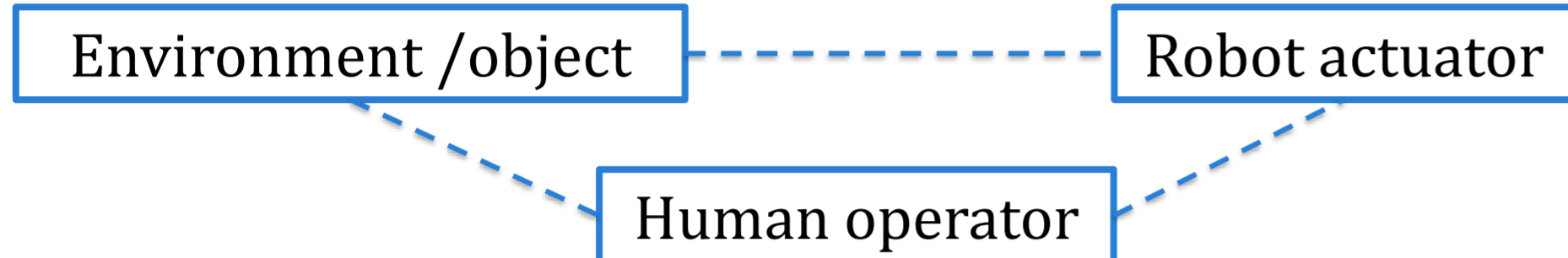


Fig.1 人間機械協調システム

上記システムにおいて必要となる、障害物の回避やアームの急峻な動きを抑制する動作を、**モデル予測制御法**の適用により検討する。そして実機適用の際に課題となっていた計算量の負担を低減させるために、マルチレートシステムの構築を行う。これは、モデル予測制御でオンラインで目標値を計算し、PD制御でそれに追従するシステムである。

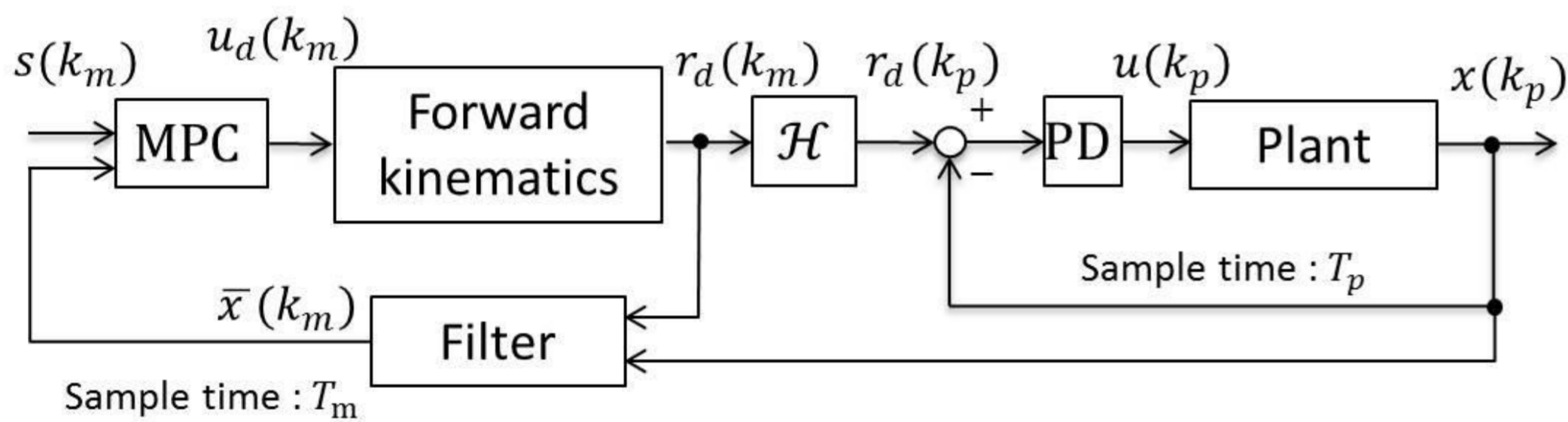


Fig.2 マルチレートシステム

## 2. 平行リンクマニピュレータ

Fig.3, 4に示すモデルを考える。

手先位置

$$p(t) = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{00} \cos q_0 + l_{11} \cos q_1 \\ l_{00} \sin q_0 + l_{11} \sin q_1 \end{bmatrix}$$

手先-関節間のヤコビ行列

$$J_s(q) = \begin{bmatrix} -l_{00} \sin q_0 & -l_{11} \sin q_1 \\ l_{00} \cos q_0 & l_{11} \cos q_1 \end{bmatrix}$$

運動方程式

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

$$H(q) = \begin{bmatrix} I_0 & -C_r \cos \theta_1 \\ -C_r \cos \theta_1 & I_1 \end{bmatrix}$$

: 慣性行列を表す対称行列

$$C(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} 0 & -C_r \dot{q}_1 \sin \theta_1 \\ -C_r \dot{q}_0 \sin \theta_1 & 0 \end{bmatrix}$$

: 遠心・コリオリ力を表す歪対称行列

$$r(\dot{q}) = \begin{bmatrix} B_0 \dot{q}_0 + E_0 \operatorname{sgn}(\dot{q}_0) \\ B_1 \dot{q}_1 + E_1 \operatorname{sgn}(\dot{q}_1) \end{bmatrix}$$

: 粘性摩擦およびクーロン摩擦を表す摩擦項

$$q = [q_0, q_1]^T, \tau = [\tau_0, \tau_1]^T$$

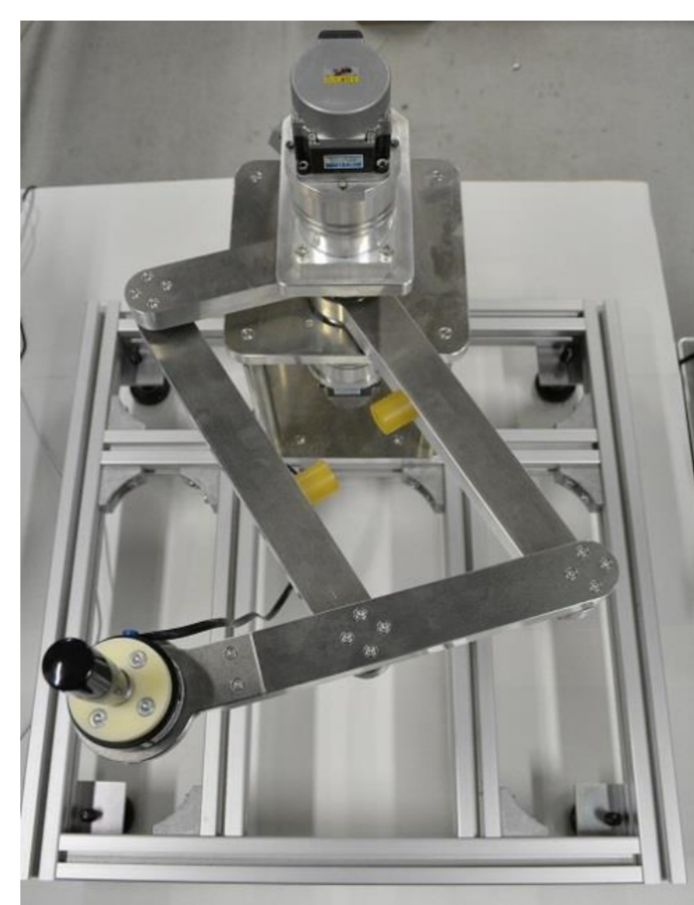


Fig.3 平行リンクマニピュレータ

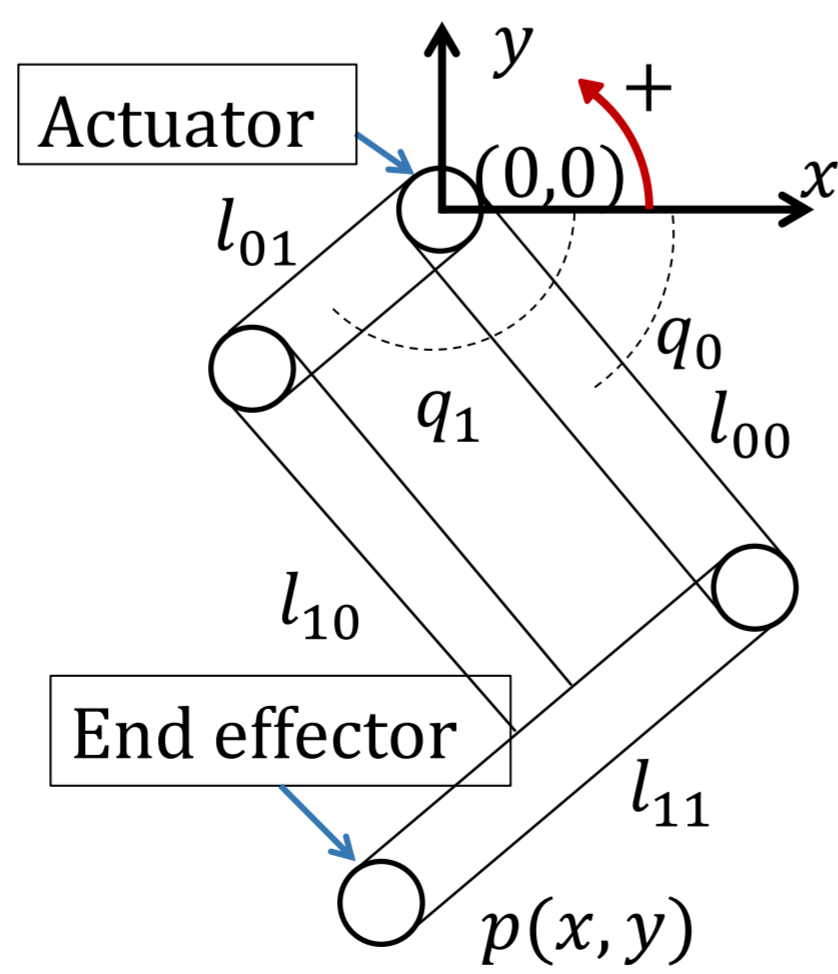


Fig.4 モデル

運動方程式から以下の線形離散状態方程式を得る。

$$x(k+1) = A_d x(k) + B_d u(k)$$

## 3. オンライン修正型モデル予測制御

以下の評価関数を最小にするような入力を決める。

$$J(k) = \sum_{j=1}^{H_p} \underbrace{\|x(k+j|k) - r(k+j)\|_{Q_j}^2}_{\text{目標軌道との偏差}} + \sum_{i=0}^{H_u-1} \underbrace{\|u(k+i|k)\|_{R_i}^2}_{\text{入力の变化量}}$$

実験条件

Case(a) マルチレートシステムを用いた場合  
Case(b) モデル予測制御のみを用いた場合

- ・ 運動時間 : 6.0[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  
 $(x, y) = (0.30[\text{m}], -0.30[\text{m}])$
- ・ 障害物を想定した禁止領域  
 $q_0 - q_1 \leq 2.0[\text{rad}]$

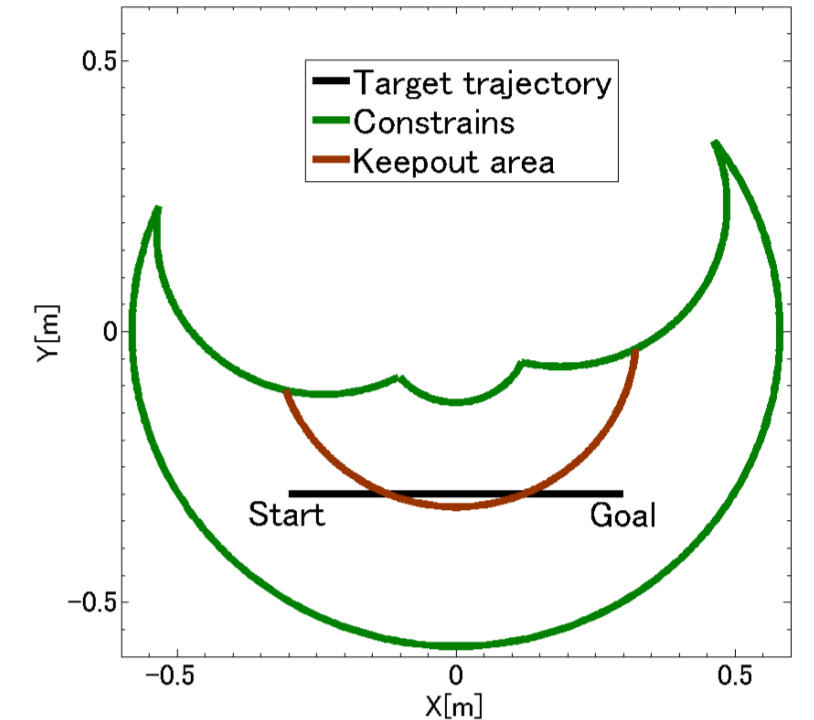


Fig.5 実験条件

モデル予測制御

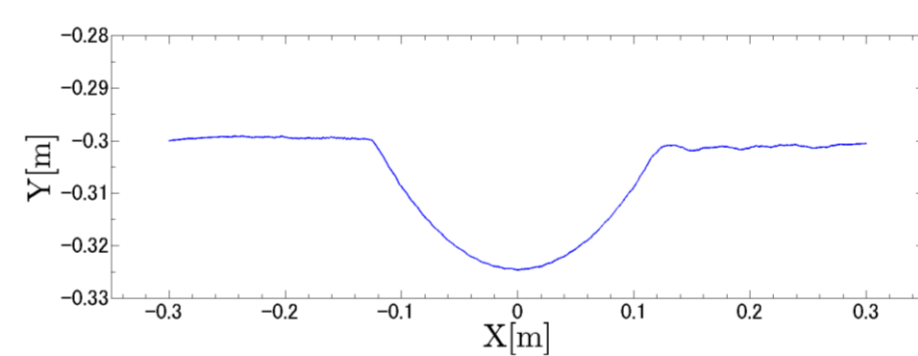
- ・ サンプル時間  $T_p = 20[\text{ms}]$
- ・ 予測区間  $H_p = 20$       ・ 制御区間  $H_u = 20$
- ・ 重み行列  $Q_j = \operatorname{diag}(500, 10, 500, 10)$ ,  $R_i = \operatorname{diag}(0.15, 0.15)$

PD制御

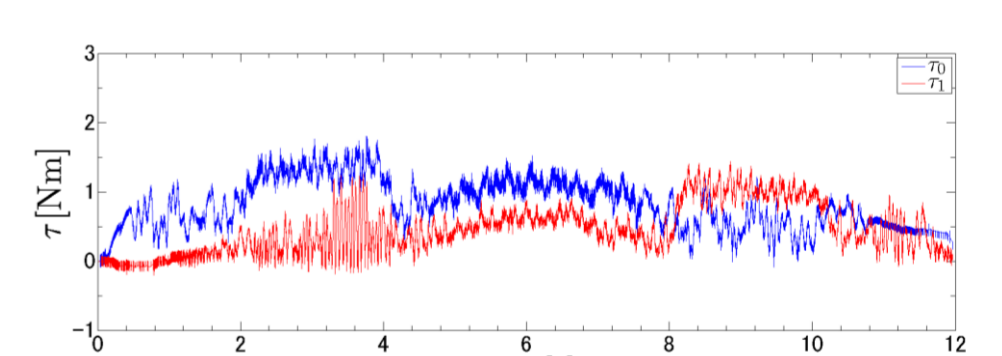
- ・ サンプル時間  $T_p = 1[\text{ms}]$
- ・ ゲイン  $K_p = \operatorname{diag}(800, 0, 800, 0)$ ,  $K_D = \operatorname{diag}(5.2, 0, 4.3, 0)$

実験結果

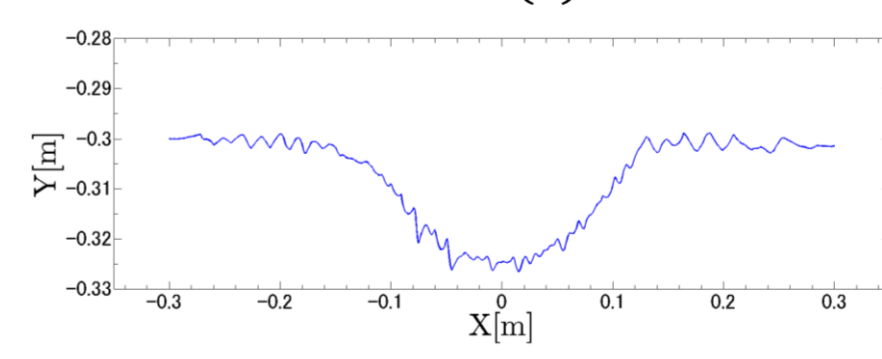
Fig. 6を見ると、モデル予測制御のみを用いた場合では全体を通し軌道の乱れが生じているのに対し、提案手法であるマルチレートシステムでは、乱れが抑えられていることが確認できる。また、Fig. 7を見ると、提案手法では細かい周期でトルクが与えられ、振動も抑えられている。



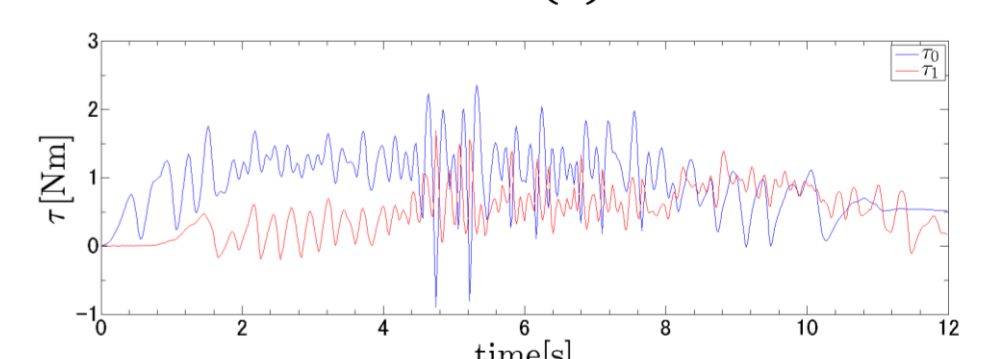
Case (a)



Case (a)



Case (b)



Case (b)

Fig.6 アームの手先位置

Fig.7 トルクの時間変化

## 4. まとめ

- ・ 平行リンクマニピュレータにモデル予測制御を適用し、マルチレートシステムの構築を行った。
- ・ 実験結果から、提案手法を用いると、追従精度が向上することを確認した。

今後の展開

提案手法の追従精度の向上について検討する。演算遅れの考慮についての考察を進める。

参考文献

- [1] 児島晃, 大塚敏之, モデル予測制御の考え方, 計測と制御, 第42巻 第4号 (2003年4月)
- [2] 吉川恒夫, ロボット制御基礎論, コロナ社 (1988)
- [3] J. M. Maciejowski, 足立修一, 菅野政明: 「モデル予測制御: 制約のもとでの最適制御」, 東京電機大学出版局 (2005)