

1.はじめに

研究背景

- ◆ 近年日本は超高齢社会に突入しており、それに伴う生産年齢人口の減少や、介護負担の増大が懸念される。
- ◆ 工場等で生産効率を上げる人協働ロボットや、介護負担を軽減するパワーアシストロボットが提案されている。
⇒ 予見制御を用いた滑らかな軌道追従が必要

研究目的とアプローチ

- ◆ 制御系の設計に H^∞ 予見制御を用いることで、目標値の未来情報を利用した制御を行い応答の改善を図る。
- ◆ 制御対象の手先に取り付けた力覚センサからの情報より目標軌道を生成し、予見制御を適用することで、操作性を改善。

2.制御対象

本研究では、以下に示す平行リンクマニピュレータを制御対象とする。

運動方程式

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

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

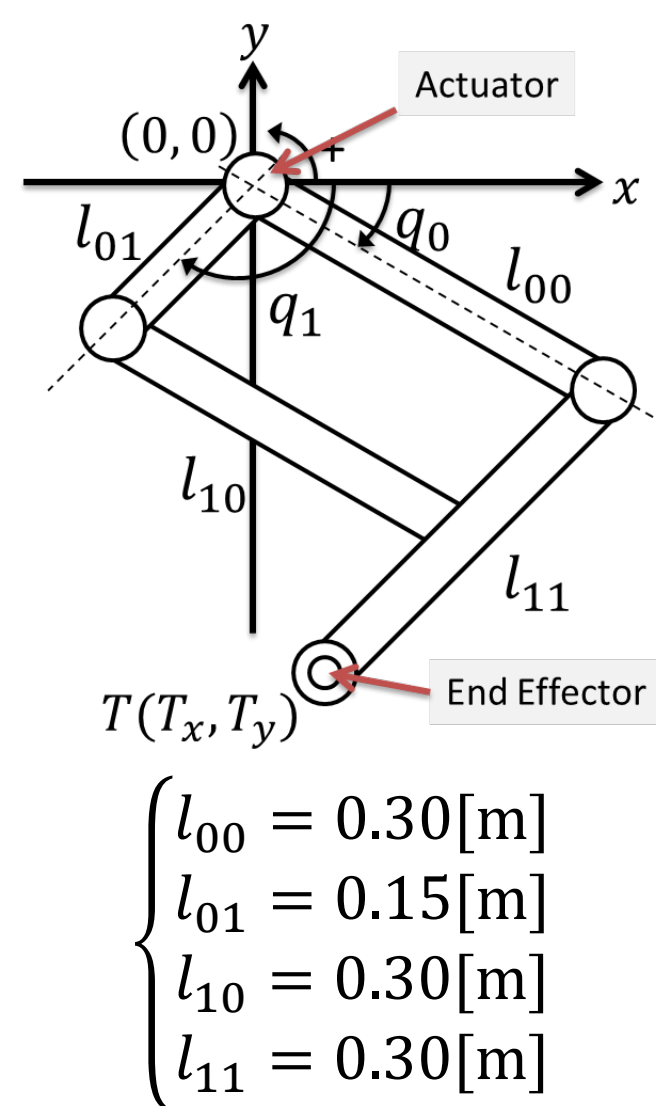
$$C(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} 0 & -C_r \dot{q}_1 \sin \theta_1 \\ C_r \dot{q}_0 \sin \theta_1 & 0 \end{bmatrix}$$

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

$H(q)$: 慣性行列

$C(q, \dot{q})$: 遠心・コリオリ力を表す歪対称行列

$r(\dot{q})$: 粘性摩擦およびクーロン摩擦を表す項

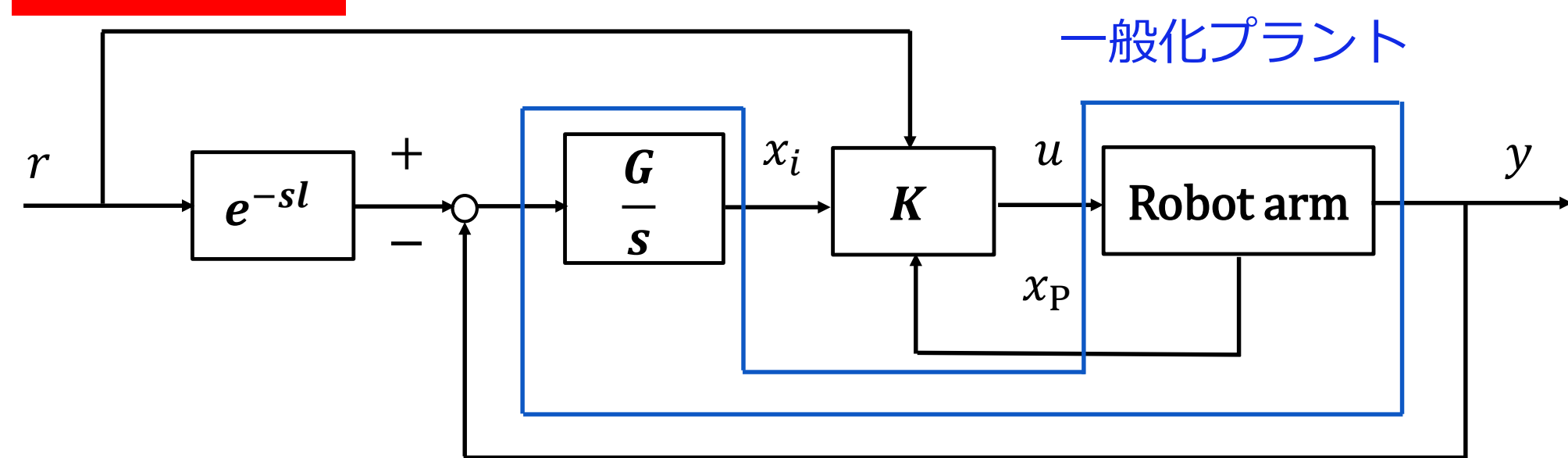


I_0 [kgm ²]	I_1 [kgm ²]	C_r [kgm ²]	B_0 [Nms]	B_1 [Nms]	E_0 [Nm]	E_1 [Nm]
0.22	0.14	-0.18	2.94	1.63	1.68	1.46

3.制御系の設計

目標値の予見フィードフォワード補償を有する積分型サーボ系を構成する。

制御系の構成



一般化プラント

$$\Sigma: \begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Dw(t-h) + Bu(t) \\ z(t) = Fx(t) + F_0u(t) \\ y(t) = \begin{bmatrix} Cx(t) \\ w(t) \end{bmatrix} \end{cases} \quad \begin{cases} x_p = [q_0 \ \dot{q}_0 \ q_1 \ \dot{q}_1]^T \\ x(t) = \begin{bmatrix} x_p \\ x_i \end{bmatrix} \end{cases}$$

- z に加わる目標値信号 $Dw(t-h)$ は、 $y(t)$ から得られる $w(t)$ に比べてプラントへの印加が h [s]遅れるよう定めている。
- 本研究では $C = I$ とし、Full-information問題を考える。

H^∞ 予見コントローラの設計

- H^∞ 制御は、一般化プラントに対して、安定化する制御則を求め、外乱 w から出力 z までの H^∞ ノルムを抑制する問題である。
- H^∞ 予見制御は、 w の先見情報を h 分利用する H^∞ 制御を扱う手法。
- 出力 y と目標値 r の偏差の積分値 x_i と、入力 u を評価量とする。
- 目標値 r は関節角度 q と基準姿勢の関節角度 \bar{q} の差分とする。

4.パワーアシスト制御

力覚センサを用いた目標軌道の生成

1. 制御対象の手先に掛かる操作力 $F_p(k)$ をセンシングする。
2. 手先を慣性 M のマスと仮定し、操作力 $F_p(k)$ の負荷により加速度が発生したと仮定する。
3. 発生したと仮定した加速度を積分することで、速度・位置を求め、目標軌道とする。
4. 逆運動学を用いて目標軌道 $T(k)$ を関節角度系の目標状態 $r(k)$ に変換する。

$$a_{x,y}(k) = \frac{F_p(k)}{M}$$

$$r(k) = [q_0 - \bar{q}_0 \quad q_1 - \bar{q}_1]^T$$

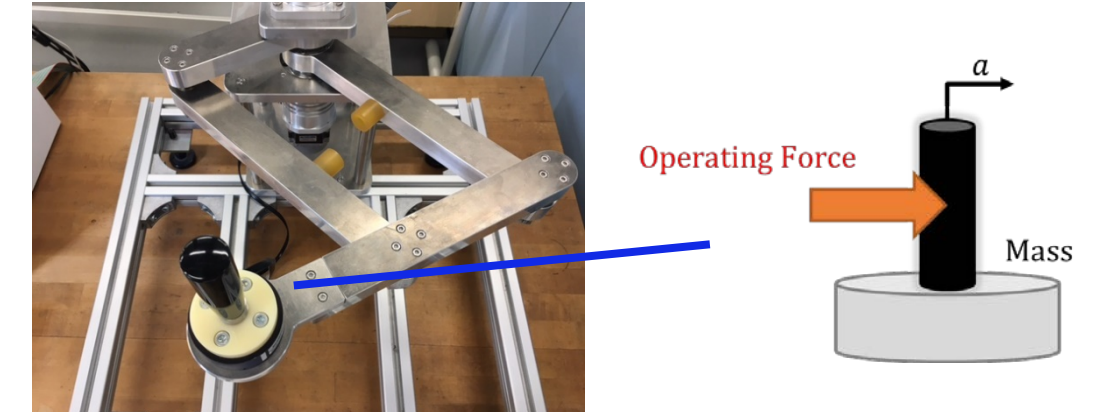


Fig.1 力覚センサ

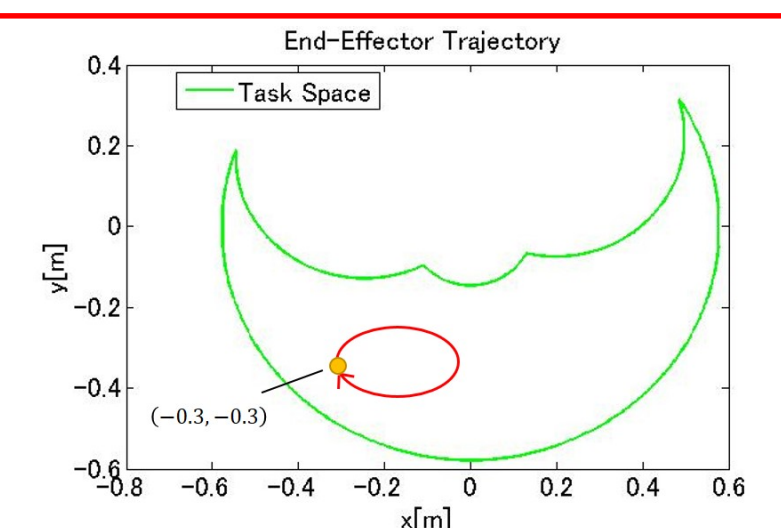
実験条件

- 操作者が次の図のような軌道を描くように操作力を加えるとき、追従性能、操作性を評価

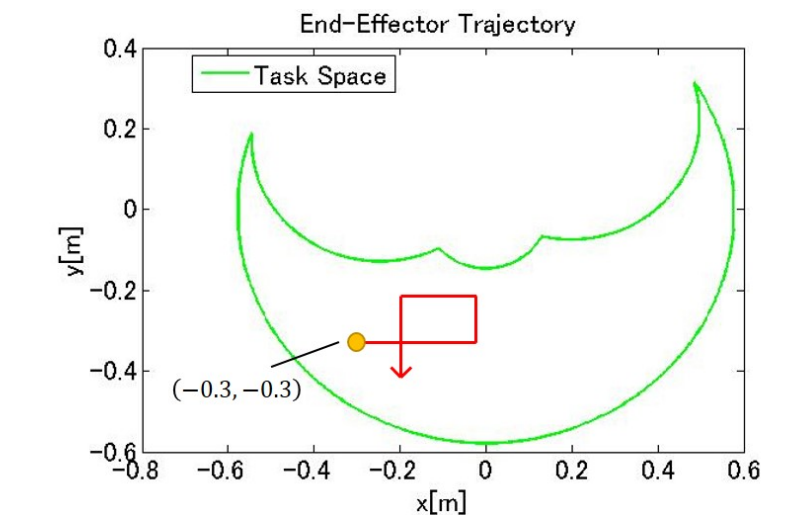
- Case 1: 楕円を描くような動作
- Case 2: 四角形を描くような動作

Simulation Parameters

Parameter	Case 1	Case 2
T_s	0.005 [s]	0.005 [s]
h	0.5 [s]	0.5 [s]
M	20 [kg]	20 [kg]
W	50	50
γ	9.204207	9.204207

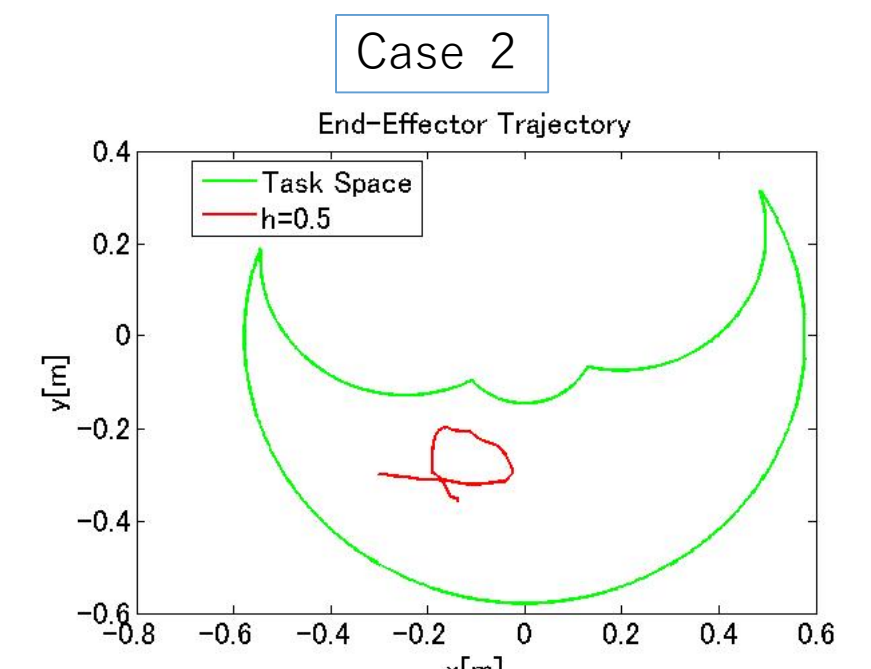
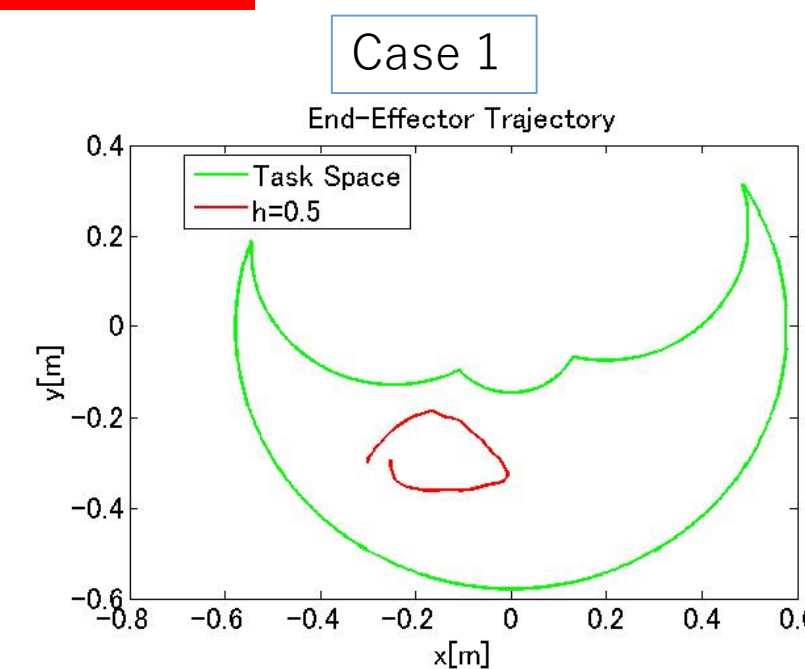


Case 1



Case 2

実験結果



- Case 1では、操作者が楕円を意識して操作力を加えるため、生成した予測軌道と大きく異なる操作力が付加され、予見補償の効果が十分に発揮された結果であると考えられる。
- Case 2では、進行方向に対して急に向きが変わる操作力が加わったとき、それまでに生成していた予測軌道と異なる操作力が印加されるため、トルクは小刻みに変化し、追従が困難である。

5.成果・今後の予定

- ▶ 本研究では、力覚センサに加わった操作力より予測軌道を生成し、生成した軌道に対し予測軌道を用いるパワーアシスト制御法を提案した
- ▶ 今後は操作性のをさらに改善するために、予測軌道の生成における慣性のモード切替や、粘性を考慮したマスを想定し軌道の生成を行う方法を検討する。

本研究は、科学研究費補助金(基盤研究(C) 26420423)により行われた。記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 堀田博司, 白石裕斗, 児島晃: 動作モードを考慮した予測型アシストによる上肢支援法の構築, 第3回計測自動制御学会制御部門マルチシンポジウム, 名古屋(2016年3月)
- [2] Akira Kojima: H-infinity controller design for preview and delayed systems, IEEE Transactions on Automatic Control, Vol.60, No.2, pp.404-419(2015年)