

複数の障害物を考慮した2リンクマニピュレータの軌道生成と追従法の提案

M2 楊曉旭 (首都大学東京)

キーワード: 積分型最適サーボ制御, ポテンシャル関数, 軌道生成と軌道追従

1. はじめに

研究背景

◆人間とロボットが共存空間内で協調して作業する際、ロボットが人間や障害物が接触しないように設計する必要がある。そして、人とロボットとの空間共有を前提とした回避システムの構築が望まれる。

https://www.govonline.go.jp/eng/publicity/book/hl/html/201602/201602_02.jp.htm 探しまめていたヒト型ロボット

研究目的

複数の障害物がある環境を想定し、障害物回避の制御アルゴリズムの有効性を検討する。また、ポテンシャル法による軌道生成と積分型最適サーボ制御の構成すること研究目的とする。

2. 制御対象

運動方程式

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

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

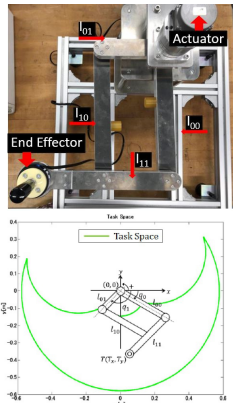
$$C(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} 0 & -C_r \dot{q}_1 \sin \theta_1 \\ C_r \dot{q}_0 \sin \theta_1 & 0 \end{bmatrix}$$

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

$H(q)$: 慣性行列

$C(q, \dot{q})$: 遠心, コリオリカを表す歪対称行列

$r(\dot{q})$: 粘性摩擦及びクーロン摩擦を表す項



$$\begin{cases} l_{00} = 0.30[m] \\ l_{01} = 0.15[m] \\ l_{10} = 0.30[m] \\ l_{11} = 0.30[m] \end{cases}$$

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

3. ポテンシャル関数を用いた軌道計算

複数の障害物があったとき、安全的な回避軌道を生成ようにその中央を仮想目標点にするポテンシャル関数を提案する。

計算の手順

1) 目標位置の評価関数をつぎのような2次形式で定める。

$$U_g = (x - x_g)^2 + (y - y_g)^2$$

2) 障害物を回避させるために、障害物の位置と仮想中央点の位置の評価関数をつぎの式で定める。(nは障害物の数)

$$U_s = \sum_{i=0}^n \frac{1}{(x - x_{si})^2 + (y - y_{si})^2}$$

$$U_m = (x - x_{mi})^2 + (y - y_{mi})^2$$

3) 全体のポテンシャル関数を以下のように与える。

$$(n > 1, \beta_1 = 0, \beta_2 = 1, n \leq 1, \beta_1 = 1, \beta_2 = 0)$$

$$U = h_1 U_g \beta_1 + h_2 U_s + h_3 U_m \beta_2$$

手先位置の座標を(-0.3, -0.3)から(0.3, -0.2)赤線沿いに移動させる。

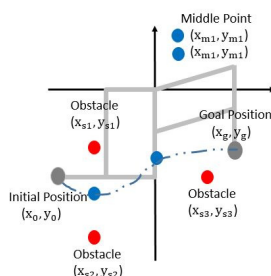
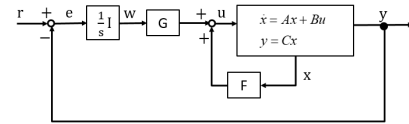


Image Path of End-effector

4. 制御系設計

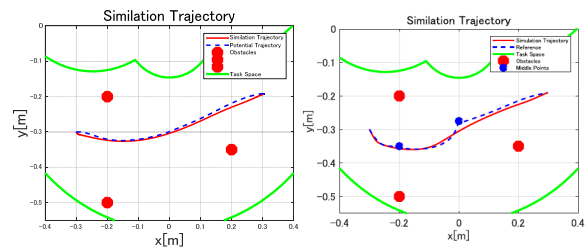
積分型最適サーボ制御手法を用いて2リンクマニピュレータの軌道追従を行う。最急等間隔降下法で生成した手先移動軌道をアームの関節座標系に変換し、軌道追従させる。



Servo mechanism

5. シミュレーションと実機実験

シミュレーション結果



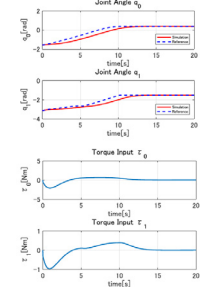
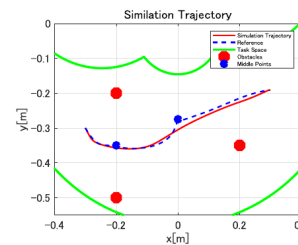
Case 1 Graph of Past Trajectory

Case 2 Graph of Proposed Trajectory

赤線: 軌道追従シミュレーション
青点線: 等間隔降下法を用いて生成した軌道

- Case 1とCase 2の場合実現される軌道が目標軌道とほぼかき合っている。
- Case 2の場合生成した軌道は障害物間の中央点に通過することが確認できる。よりCase.1の場合障害物にぶつかる危険性が減少することが明らか。

実験結果



- 結果を見ると、積分型最適サーボ制御を用いて障害物の回避が可能となっていることがわかる。

6. まとめと今後の予定

まとめ

- 提案手法の特徴と効果の確認ができ、障害物の配置に応じて、うまく障害物回避が可能である。
- 提案手法障害物の配置に応じて、柔軟に回避軌道を生成することが可能であり、積分型最適サーボ制御と併せて適用することができる。

今後の予定

- 画像情報を用いて障害物回避軌道を生成するシステムを構築する予定である。

参考文献

- 藤崎泰正, 池田雅夫 "2自由度積分型最適サーボ系の構成", 計測自動制御学会論文集, Vol. 27, No. 8, pp. 907-914 (1991)
- 佐藤奎裕 "極小点のないポテンシャル場を用いたロボットの動作計画", 日本ロボット学会誌, Vol. 11, No. 5, pp. 702-709, (1993)
- 伊藤大智, 大石泰章 "クレーンの障害物回避のための軌道生成と軌道追従", システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集60, pp. 5 (2016)
- 白石祐斗, 瑞倉弘太郎, 児島晃 "軌道計画変更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", 電気学会電子・情報・システム部門大会 (2016)