

移動障害物の定量的回避を考慮した マニピュレータの軌道追従制御

首都大学東京大学院 知能機械システム学域 M2 浜口 智哉 (児島研究室)

1. はじめに

背景

- ロボットの使用環境は、ネットワーク化、人・ロボットとの協調、使用状況の複雑化、作業の多様化が進みつつあり、様々な環境に適応的に対応可能であることが求められている。
- このニーズに応えるためには、ロボットの広い領域における制御性、移動障害物回避等の機能が必要となる。

研究の目的

- マニピュレータにおいて、**機構制約の考慮**及び**移動障害物の定量的回避**、**大域制御性**を可能とする軌道追従制御を実現することを目的とする。
- 上記目的を達するため、入力状態線形化による状態方程式とポテンシャル法に基づく評価関数を適用したモデル予測制御により、軌道追従制御系を構築する。

2. 制御対象

平行リンクマニピュレータ

- 状態方程式

$$\dot{\bar{q}} = \begin{bmatrix} 0 & I \\ 0 & -H^{-1}(\bar{q})C(\bar{q}) \end{bmatrix} \bar{q} + \begin{bmatrix} 0 \\ -H^{-1}(\bar{q})r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ H^{-1}(\bar{q})\tau \end{bmatrix}$$

$$H(\bar{q}) = \begin{bmatrix} I_0 & -C_r \cos(q_0 - q_1) \\ -C_r \cos(q_0 - q_1) & I_1 \end{bmatrix}$$

$$C(\bar{q}) = \begin{bmatrix} 0 & -C_r \dot{q}_1 \sin(q_0 - q_1) \\ C_r \dot{q}_0 \sin(q_0 - q_1) & 0 \end{bmatrix}$$

$$r(\bar{q}) = [B_0 \dot{q}_0 + F_0(\tau, \dot{q}_0) \quad B_1 \dot{q}_1 + F_1(\tau, \dot{q}_1)]^T$$

$$\bar{q} = [q_0 \quad q_1 \quad \dot{q}_0 \quad \dot{q}_1]^T, \quad \tau = [\tau_0 \quad \tau_1]^T$$

- 制約条件 (機構制約)

$$q_{0,\min} \leq q_0 \leq q_{0,\max}$$

$$q_{1,\min} \leq q_1 \leq q_{1,\max}$$

$$q_{01\min} \leq q_0 - q_1 \leq q_{01\max}$$

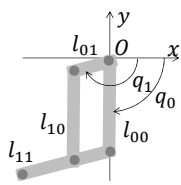


図1 マニピュレータ

3. 軌道追従制御系の設計

軌道追従制御系設計の流れ

入力状態線形化した状態方程式と人工ポテンシャル法に基づく評価関数を適用したモデル予測制御による障害物回避・追従制御則

- 入力状態線形化 : 大域制御性
- モデル予測制御 : 移動障害物回避, 機構制約



図2 軌道追従制御系設計の考え方

3. 軌道追従制御系の設計

移動障害物回避

- モデル予測制御の評価関数 J に、移動する障害物とマニピュレータの干渉にペナルティを与える項を付与

$$J = (\bar{q} - \bar{q}_r)^T Q (\bar{q} - \bar{q}_r) + u^T R u + K_{AV} \sum_{i=A,B,C} f_{LJ}(l r_i - r_{ob})$$

$$f_{LJ}(r) = \left(\frac{\sigma_{LJ}}{r}\right)^p - \left(\frac{\sigma_{LJ}}{r}\right)^q$$

干渉へのペナルティ

ただし、 $r_i (i = A, B, C)$ はマニピュレータの先端/本体上の点の位置、 r_{ob} は障害物位置、 p, q, σ_{LJ} は設定パラメータ。

- モデル予測制御を用いることで**移動障害物に対応**できる。
- 手先だけでなく、**本体を含めた障害物回避**を実現できる。
- $f_{LJ}(r)$ は極小位置以内で斥力を発生するため、この極小位置を回避距離に設定することで**定量的回避**を実現できる。

4. 実験

ケース

- マニピュレータが移動障害物を回避しつつ、手先位置を初期状態から終端状態に推移する。
- 障害物位置は計算機上で付与する。

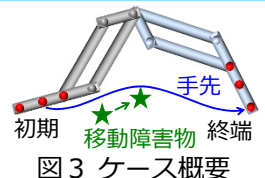


図3 ケース概要

結果

マニピュレータが移動する障害物を回避しつつ、手先位置を終端状態に推移できることを確認した。

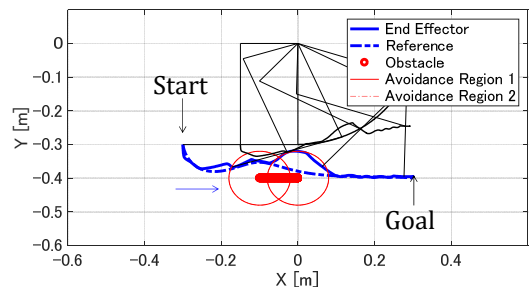


図4 実験結果

5. まとめと今後の予定

まとめ

マニピュレータの軌道追従制御において、入力状態線形化及び人工ポテンシャル法を適用したモデル予測制御により、機構制約内の大域的動作を確保するとともに、移動障害物を定量的に回避しつつ、目標軌道に追従することを可能とした。

今後の予定

$f_{LJ}(r)$ は極小値内の領域で大きな値を有する性質をもつため、制御系の安定性に影響を与える場合がある。今後、これらの特性を踏まえた設計・実装方法を検討する予定である。

参考文献

- [1] 白石：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, 平成28年度修士論文
- [2] 浜口, 児島：モデル予測制御を用いた平行リンクマニピュレータの障害物回避・追従制御, 第62回システム制御情報学会研究発表講演会 (2018)