

K4-65

H ∞ 制御を用いた 2 リンク剛体ロボットアームの手先空間制御

End Point Position Control of Two Links Rigid Robot Arm by using an H infinity Controller

渡辺研究室

○池上 成彦¹根岸 明弘²白杵 大樹³白濱 聡⁴

Watanabe lab

Naruhiko Ikegami

Negisi akihiro

Taiki usuki

Akira sirahama

This paper presents a design procedure of an H infinity controller for motion of two dimensional two links rigid robot arm that is linearized by applying dissolve motion acceleration control (DMAC). In this research, the variation of the payload for the robot arm is modeled as variation of inertia of driving motor and taken into consideration to design H ∞ compensator for the motor. Then the DMAC is applied to with the arm to realize end point position control. Control simulations are performed. The superiority of the presented controller design method is certificated.

1. 緒言

近年、宇宙用軽量ロボットアームの研究が盛んに行われている。ロボットアームには衛星などのペイロードの把持、運搬が求められ、これらにより宇宙でのロボットアームの制御には、重量による誤差軽減という高いロバスト性が必要となる。

ロボットアームの制御ではアームの関節の角関節制御で制御されている。よって制御器は角変位を基準とするフィードバックを利用したモデルにより設計される。

加えて、ロボットアームの目的は目標点まで制御することであるが角関節制御では操作が複雑である。そこでロボットアームの操作は、アームの手先の座標を目標とした手先空間でなされている。

よってアームの移動を考慮したロボットアームの制御器は手先空間制御器として設計されるべきである。さらに質量把持によるアームの動特性変化を考慮しなければならない。

しかし、手先空間制御と重量変化による制御を合わせた制御器はほとんど設計されていない。^[1]

ここでは様々な質量把持時ロボットアームの手先空間制御器という制御器を提案する。初めに、手先空間制御器は加速度分解制御で設計する。加速度分解制御により手先空間制御器のアームは基本座標系における線形化が可能となる。また H ∞ 制御はアームの質量変化によるアクチュエータの動特性の不確かさ(誤差)を考慮している。つまり把持質量の変化をモータの慣性モーメントの変化と捉えることができ、これにより質量把持の手先空間制御を得る。

以上より試験的に 2 リンク剛体ロボットアームを制御対象構造物とした制御器設計手法を提案する。またシミュレーションから制御器の特性を調べる。

2. 制御対象構造物

図 1 に 2 リンクロボットアームを制御対象構造物として示す。アームは 2 つのリンク, 1st link, 2nd link と肩関節部, 肘関節部で構成されている。全長は 1111[mm], 質量 2.7[kg]。1st Link, 2nd Link は図 2 に示すようにアルミニウム合金材 (A6064) の C 型鋼である。肘関節は長さ 111[mm], 重さ 1.87[kg], 慣性モーメント 5.184×10^{-3} [kgm²]である。各パラメータは、実測値であり慣性モーメントの値は 2 点つり法

より算出している。質量の重さは 500[g]である。

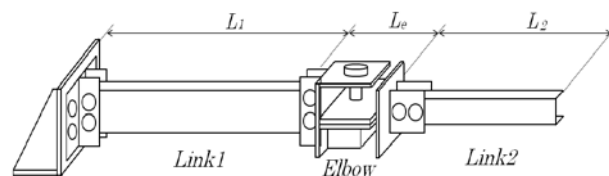


Fig.1 Control object

3. 制御系設計

3.1 加速度分解制御

前節で紹介したように加速度分解制御の補償器を設計する。加速度分解制御はヤコビ行列を用いた座標変換でロボットアームの運動方程式の非線形性を線形補償したものである。^[2]

3.2 H ∞ 制御系設計

次は質量変化を考慮した H ∞ 制御系設計である。この方法では、アームの質量把持の際の全重量によるモータの慣性パラメータの変化の誤差を考慮している。^[3]

その誤差は、モデルでは状態行列 **A**, 制御入力行列 **B**, 観測行列 **C**, 直達行列 **D** の誤差であり、この誤差を以下のように最大誤差行列として定義する。

今回の研究では無負荷状態と、おもりを手先部に取り付けた場合を考慮する。

これら 2 つの状態それぞれにおいてモータの特性をとる。モータの特性変動を $\Delta A \sim \Delta C$ の誤差パラメータとしモデルの変動を考慮した H ∞ 制御器を設計した。

$$\begin{aligned} \Delta A &= \mathbf{A}_{\text{no min al}} - \mathbf{A}_{\text{fluctuated}}, & \Delta B &= \mathbf{B}_{\text{no min al}} - \mathbf{B}_{\text{fluctuated}} \\ \Delta C &= \mathbf{C}_{\text{no min al}} - \mathbf{C}_{\text{fluctuated}}, & \Delta D &= \mathbf{D}_{\text{no min al}} - \mathbf{D}_{\text{fluctuated}} \end{aligned} \quad (1)$$

これを誤差マトリクスとして一般化プラント作成時に状態量に作用する重み行列とすることで、アームに変動が生じた場合でも制御器の安定性を保つことが出来る。このようにモータに補償器を加えることで、アームのパラメータ変動に対しロバストな運動制御を行うことをめざす。^[4]

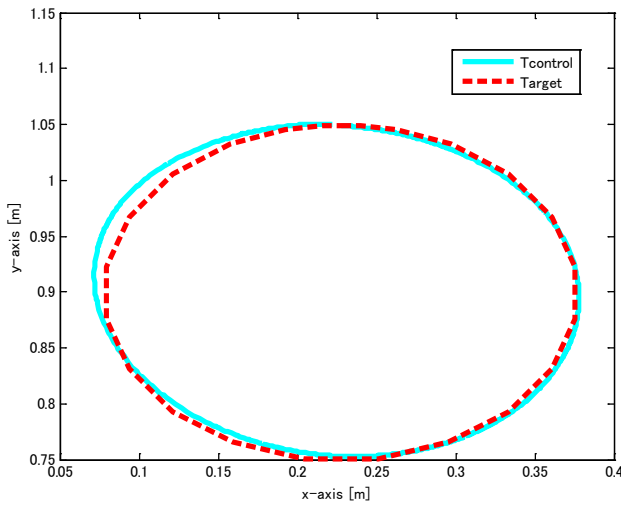
本研究で作成した一般化プラントは以下のようになる。

1: 日大理工・学部・機械 2: 日大理工・院・機械 3: 日大理工・院・機械 4: 日大理工・院・機械

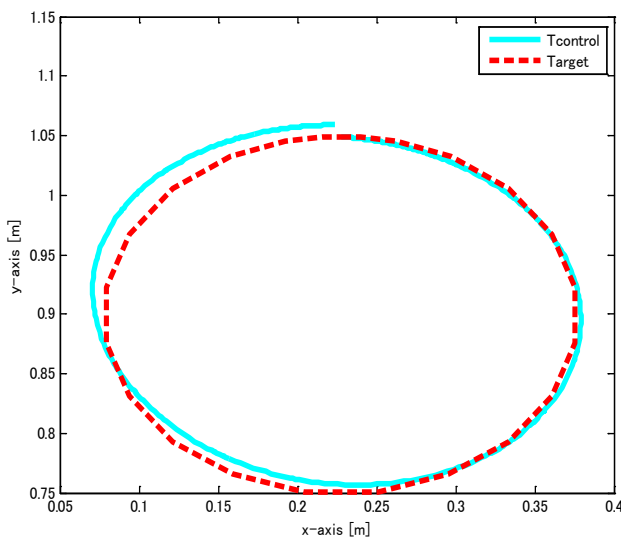
$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{X}} &= \mathbf{A}_{1z} \mathbf{X} + \mathbf{B}_{1z} \mathbf{W} + \mathbf{B}_{2z} u \\ \mathbf{Z} &= \mathbf{C}_{1z} \mathbf{X} + \mathbf{D}_{11z} \mathbf{W} + \mathbf{D}_{12z} u \\ \mathbf{Y} &= \mathbf{C}_{2z} \mathbf{X} + \mathbf{D}_{21z} \mathbf{W} + \mathbf{D}_{22z} u \end{aligned} \quad (2)$$

4. シミュレーション

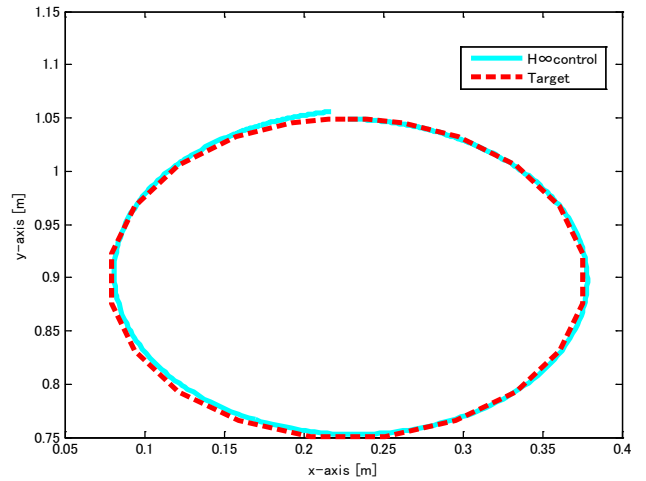
3章で作成した H_∞ 制御器、加速度分解制御器を使用して数値計算ソフト MATLAB を用いてシミュレーションを行った。比較としてトルク制御でシミュレーションを行ったものと H_∞ 制御で行ったものを以下の図に示す。質量を把持したものを fluctuate、無把持のものを nominal とする。シミュレーションにより本研究で作成した制御器により、質量把持によるパラメータ変動の際も点線の目標軌道に対して追従していることがわかる。



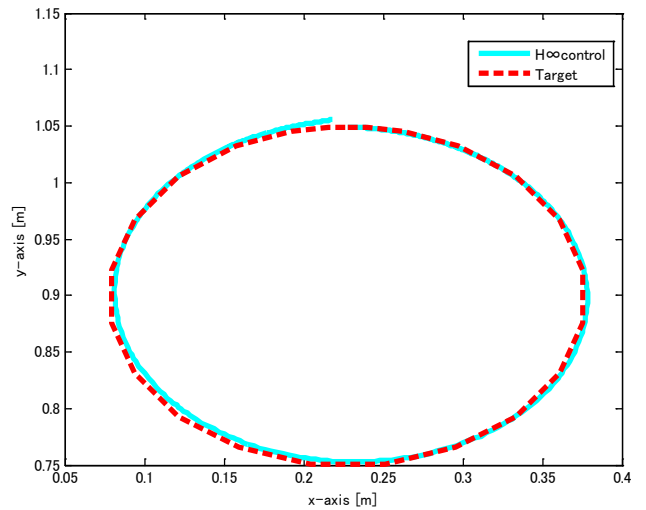
(a) nominal (Torque control)



(b) fluctuate (Torque control)



(c) nominal (H_∞ control)



(d) fluctuate (H_∞ control)

Fig2. Simulation results of end point position control.

5. 結論

本研究では 2 リンク剛体ロボットアームを手先空間制御による目標軌道追従制御および、アームの質量変動による不確かさをモータの特性の変化としてとらえ H_∞ 制御理論を適用し、ペイロード把持に対するロバストな制御を目的とした制御器設計手法を提案した。シミュレーションにより、ロバスト手先空間制御を行い良好な制御が行うことができた。

6. 今後の展望

今回はシミュレーション結果であるのでこの制御器を実機に用いることが今後の展望である。

7. 参考文献

- 1) 相川, 渡辺: 「2 リンクフレキシブルロボットアームの手先空間制御に関する基礎研究」, 平成 20 年度日本大学院修士論文 (2009)
- 2) D. N. Nenchev, *Introduction to Robotics in English*, コロナ社 (2008)
- 3) 渡辺・吉田: 「パラメータ変動と非制御モードのモデル化誤差を考慮する柔軟構造物のロバスト振動制御」 計測自動制御学会論文 Vol. 32-7 (1996)
- 4) 木村, 藤井, 森, 「ロバスト制御」, コロナ社 (1994)