

K4-77

## 2リンクフレキシブルロボットアームの姿勢変化を考慮したH ロバストサーボ制御

### Robust Control of Two link Flexible Robot Arm that Considers Change of Posture

臼杵大樹<sup>1</sup>, 渡辺亨<sup>2</sup>, 根岸明弘<sup>3</sup>, 白浜聡<sup>1</sup>

Usuki Daiki, Toru Watanabe, Akihiro Negisi, Satoshi Sirahama

This paper presents a design procedure of robust H<sub>∞</sub> controller for model of two links flexible robot arm that enable to roll 360 degree. The arm in straight posture is set as nominal model, while the arm in folded posture as fluctuated model. Two physical models are identified by utilizing Seto's modeling method. Building the difference between two models into the generalized plant, and solving H<sub>∞</sub> problem, robust vibration controller against the change of posture can be derived. In this research, the variation of posture is so enormous that two generalized plants for each links are built and two independent controllers for each links are derived consequently. Therefore, in this research, the two link arm is subjected to the control of the combined controllers of each links. Computer simulations are carried out and the performance of obtained controller is investigated. The controller showed good performance and robustness.

#### 1. 緒言

本研究では、2リンクフレキシブルロボットアームを制御対象とし、作成したモデルに対しロバストサーボ系のコントローラを作成し、アームの姿勢変化に対応した運動と振動の制御を行う。

本手法ではアーム姿勢変化の変動量が大きいので、制御効果を考慮して、肩アクチュエータ、肘アクチュエータでそれぞれ個別に二つのコントローラを導出する。そのため、それぞれに対応したモデルを作成する。そして、姿勢の変化を考慮したコントローラを導出し、シミュレーションより検証する。

#### 2. 制御対象構造物

本研究では次の Fig.1 に示す2リンクフレキシブルロボットアームを制御対象にしている。アームの全体のパラメータは、長さ  $L=1111$ [mm]、質量  $W=3.2$ [Kg] となっている。本研究では、肘関節を伸ばした状態をノミナルモデル、肘関節を180度曲げた状態を変動モデルと呼ぶ。

1st link の長さは600[mm]、2nd link の長さは400[mm]。肘関節の質量は1.87[kg]である。

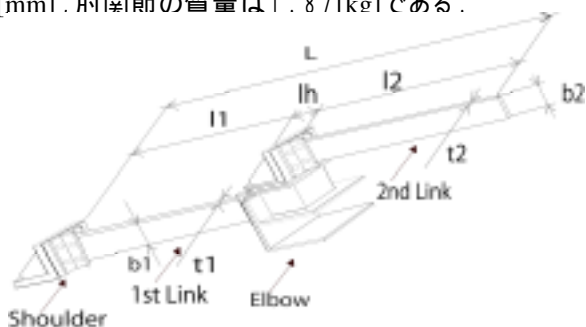


Fig.1 Control Object

#### 3. 物理モデルの作成

本研究では、制御対象である柔軟構造物に対して低次元化物理モデル作成法<sup>(3)</sup>を用いてモデルを作成する。図 2.1 にノミナルモデルの質点配置個所の

概要図、図 2.2 に変動モデルの質点配置個所の概要図を示す。

本研究では、二つのコントローラを導出するため、手先から肘関節の 2nd link では手先に質量を配置する。また、肘関節から肩関節の 1st link では肘に質量を配置し、それぞれ一自由度集中定数系物理モデルに低次元化を行う。本手法では、アームの姿勢変化を考慮するため、ノミナルモデルと、変動モデルを各リンクごとに作成し、アームの姿勢が変化したときの特性の変化をコントローラに組み込む。

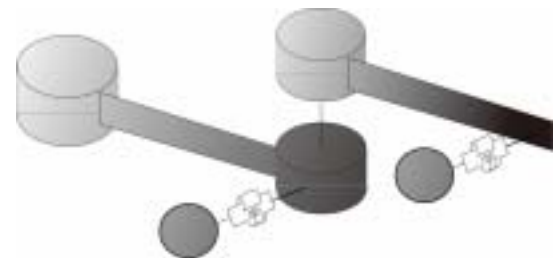


Fig.2.1 Modeling Point (Nominal)

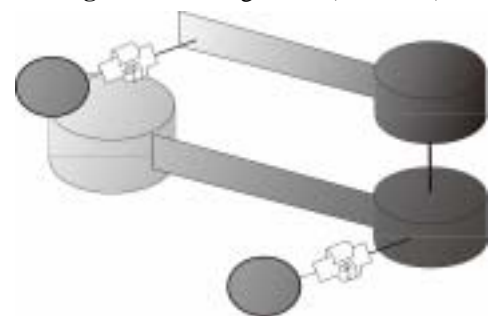


Fig.2.2 Modeling Point (Fluctuated)

Fig.2 Modeling Point

#### 4. 制御系設計

作成する H<sub>∞</sub> 制御器は以下の目標を達成するように設計する。

1. 目標値への即応性及び定常偏差の改善
2. 制御対象に姿勢の変化生じた場合でも安

1:日大理工・学部・機械 2:日大理工・教員・機械 3:日大理工・院・機械

定性を保つロバスト性

3. ロボットアームに衝撃が加わったことを想定した静止状態での外乱
4. 無視した高次モードに対するロバスト安定性

#### 4.1 誤差パラメータの決定

ここでは、誤差関数の選定方法について説明する。本研究では、ノミナルモデルと変動モデルの2つをモデリング対象とし、低次元化物理モデル作成法を用いてそれぞれ物理モデルを作成した。変化が生じるのは、システム行列 **A**、入力行列 **B**、出力行列 **C**、直達行列 **D** である。それらをシステム誤差行列 **A**、入力誤差行列 **B**、出力誤差行列 **C**、直達誤差行列 **D** と呼ぶ。これらの誤差行列はノミナルモデルと変動モデルの差である。

そのモデルのパラメータの差を構造的誤差として一般化プラントに組み込むことで、パラメータが変動したときでも、制御器の安定性を保つことができる<sup>(1)</sup>、<sup>(2)</sup>。

#### 4.2 重み関数の選定

重み関数は、モデリングの際無視した非構造的誤差を考慮したハイパスフィルタをかけ、肘アクチュエータではモデリングの際無視した、肩関節から肘関節を考慮するためローパスフィルタをかけている。また、定常偏差を考慮した積分特性を持ったローパスフィルタを用いた。

一般化プラントの式を式(1)に示す。

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

### 5. シミュレーション結果

作成した制御器を用いて行ったシミュレーションの結果を示す。シミュレーションは関節を一定にし、肘関節制御時では手先を加振し、ノミナルモデルと変動モデルの場合での、手先の加速度応答で振動の制御性能を評価する。図 3.1, 図 3.2 に肘関節制御時の結果を示す。

また、肩関節制御時では肘を加振し、ノミナルモデルと変動モデルの場合での、肘の加速度応答で振動の制御性能を評価する。図 3.3, 図 3.4 に肩関節制御時の結果を示す。

結果より、本研究で作成したコントローラが、制御対象に変動が生じる場合でも、1st link, 2nd link で良好に振動の制御ができることがシミュレーションより確認できた。

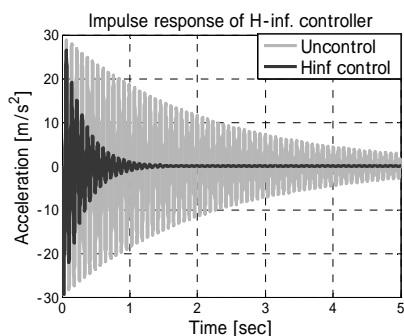


Fig.3.1 Nominal Model (Tip)

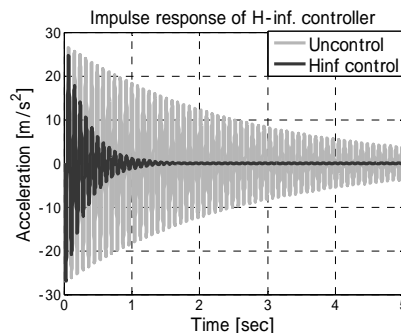


Fig.3.2 Fluctuated Model (Tip)

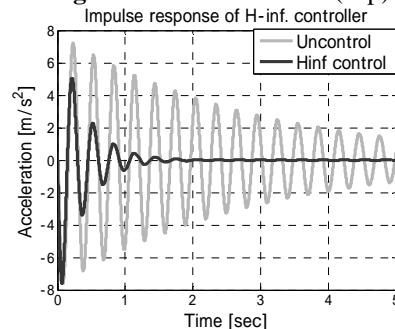


Fig.3.3 Nominal Model (Elbow)

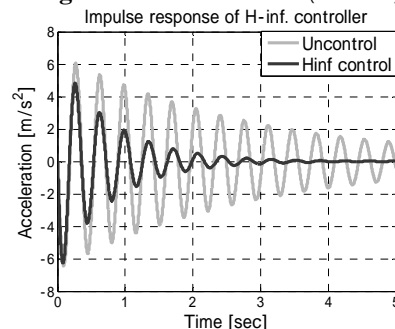


Fig.3.4 Fluctuated Model (Elbow)

Fig.3 Simulation Results of Using Controller Taking Account of Structured Uncertainty

### 6. 結論

シミュレーションより、アームの姿勢が変化しても振動の制御が良好に行われていることが確認された。

しかし、肘関節の関節角が変化していく場合等、形状が変化していく過程は、現在のモデルでは表現されておらず、シミュレーションでは検証できていない。

### 7. 今後の展望

低次元化物理モデル作成法により、アームの姿勢、アームの形状が変化していく場合においても、その変化していく過程を関数を用いて表現できるモデルを作成し、シミュレーションでその有用性を検証する。

### 8. 参考文献

- [1]野波健蔵: MATLAB による制御系設計, 東京電気大学出版局(1998)
- [2]美多勉: H 制御, 昭晃堂(1994)
- [3]背戸一登, 丸山晃市: 振動工学(解析から設計まで), 森北出版(2002)