

最適レギュレータを用いたクレーンジブシステムの制御 —低感度特性の調査—

2007MI008 安藤俊輔

指導教員：高見勲

1 はじめに

本研究では制御対象であるクレーンのジブシステムにおいてトロリーに取り付けられたモータに電流を流すことによりトロリーを移動させ、トロリーに取り付けられている負荷を目標値に到達させる。このとき、操作量はモータに流す電流である。制御手法としてはトラッキングレギュレータを用いる。その際極と重みの関係性を考慮しながらシステムを設計し、負荷の揺れを最小限に抑えながら効率的かつ迅速な負荷の移動を図る。また、低感度特性の有効性を調べるため、逐一パラメータを変動させながら実験を行う。

2 制御対象

図1は本研究で用いるクレーンである。このクレーンはタワーの角度、トロリーの位置、スチールケーブルの長さの3つを制御し、負荷の揺れを最小限にしつつトロリーに取り付けられたモータに電流を流すことによりトロリーを移動させ、負荷を目標値に到達させる。今回はジブシステムの制御を行うため、タワーの角度、スチールケーブルの長さを固定し、トロリーの位置だけを制御する。



図1 使用するクレーン

3 状態空間表現

状態量 $x(t)$ は以下のように定義する。ここで、トロリーの位置を $x_j(t)$ 、振り子の角度を $\gamma(t)$ 、操作量を $u(t)$ で表す。

$$x(t) = \begin{bmatrix} x_j(t) & \gamma(t) & \dot{x}(t) & \dot{\gamma}(t) \end{bmatrix}^t \quad (1)$$

パラメータを代入すると、状態空間表現は以下の式ようになる [1].

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -7.803 & 0 & 0 \\ 0 & -22.01 & 0 & 0 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 33.68 \\ 42.10 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 1 & -0.8 & 0 & 0 \end{bmatrix} x(t)$$

4 トラッキング制御

以下の拡大系を考える。

$$\dot{w}(t) = A_1 w(t) + B_1 u_1(t) \quad (3)$$

ここで、

$$w(t) = \begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ e(t) \end{bmatrix}, u_1(t) = \dot{u}(t) \quad (4)$$

$$A_1 = \begin{bmatrix} A & 0 \\ C & 0 \end{bmatrix}, B_1 = \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$e(t) = y(t) - r \quad (r \text{ は目標値}) \quad (6)$$

また、最適レギュレータ理論においては、与えられた重み

$$Q = Q^T, R > 0 \quad (7)$$

に対して、評価関数

$$J = \int_0^{\infty} (w(t)^T Q w(t) + R u_1(t)^2) dt$$

$$(Q = \text{diag}[q_1, q_2, q_3, q_4, q_5], R = 1)$$

を最小化するようなフィードバックゲイン K は、

$$K = -R^{-1} B_1^T P \quad (8)$$

のように定まる。ただし、 P は、リカッチ代数方程式の解

$$P A_1 + A_1^T P - P B_1 R^{-1} B_1^T P = -Q \quad (9)$$

をみたす唯一の正定対称行列である [2].

5 重み行列の決定

よりよいコントローラの実現のために重み Q, R を決定する。 R は1, Q は以下の行列のようにする。

$$Q = \begin{bmatrix} 0.1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 16 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 23 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

この時のゲイン K は、

$$K = [-2.41 \quad -14.16 \quad -2.85 \quad -2.66 \quad -1.00] \quad (11)$$

である。

6 シミュレーション

6.1 通常のシミュレーション

まず状態空間表現と重み Q を用いてシミュレーションを行うと図2のような結果になり、オーバーシュートが発生した。

これを改善するために q_1 を 0.1 から 1 に変えてシミュレーションを行うと図3のような結果になり、オーバーシュートがなくなった。

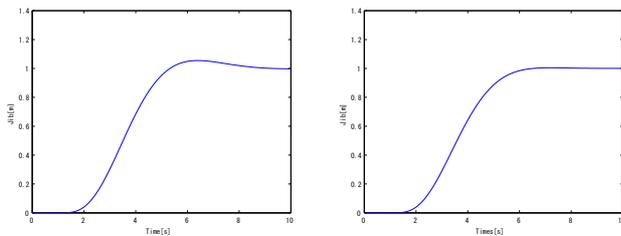


図2 $q_1 = 0.1$ のときのシミュレーション結果

図3 $q_1 = 1$ のときのシミュレーション結果

6.2 ケーブルの長さの変化

ケーブルの長さ l_p を 0.8, 0.5, 0.3 にそれぞれ設定すると、A行列の(4, 2)成分、B行列の(1, 4)成分、C行列の(1, 2)成分が変化する。表1は、そのパラメータ変化をまとめたものである。図4は、それぞれのシミュレーション

表1 成分の変化

	$l_p = 0.8$	$l_p = 0.5$	$l_p = 0.3$
A行列(4, 2)成分	-22.01	-35.23	-58.71
B行列(1, 4)成分	42.10	67.36	112.26
C行列(1, 2)成分	-0.8	-0.5	-0.3

結果を重ね合わせたものである。 $l_p = 0.5$ と $l_p = 0.3$ の結果はほぼ重なっており、シミュレーション結果がほぼ変わっていないことがわかる。

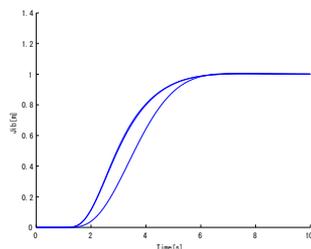


図4 シミュレーション結果

図5は、この時の極の移動を示したものである。極が変動しているにもかかわらずシミュレーション結果がほぼ変わらないことから、低感度特性があるといえる。

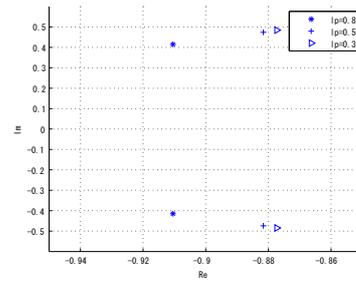


図5 極の移動

7 実験結果

$l_p = 0.8$ の時のデータを用いて実験を行った。

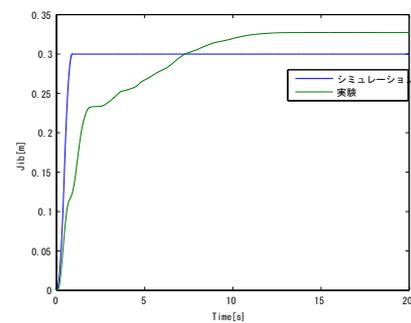


図6 実験結果

シミュレーションでは1秒程度で目標値に収束したのに対し、実験では7秒で目標値に到達したがそれを上回り、12秒後に収束した。このようになった原因として、シミュレーション時に摩擦を考慮しなかったことが考えられる。

8 研究の成果

本研究で得られた成果を以下に示す。

- ・クレーンのジブシステムのモデリングができた。
- ・トラッキング制御の制御系が設計できた。
- ・パラメータを変動させ、それぞれの結果を組み合わせることで、最適レギュレータの低感度特性の実用性を示すことができた。

参考文献

- [1] 安江弘嗣 『摩擦と特性変動を補償したクレーンの制御』 外乱オブザーバとゲインスケジューリング 南山大学大学院数理情報研究科修士論文
- [2] 井上和夫 監修 川田昌克, 西岡勝博 共著 MATLAB/Simulink によるわかりやすい制御工学 森北出版 (2001)