

3 自由度における天井クレーンの荷揺れ抑制

2020SC009 原 直輝

指導教員：陳 幹

1 はじめに

今日、クレーンは建設の現場や輸送の現場など大型のものを運ぶ際に多く利用されている。本研究では、天井クレーンにおけるクレーンが移動した際に起こる荷揺れの制御を目指している。天井クレーンの中でもフックが吊荷に対して微小質量とみなされ1自由度近似されて扱われているが実挙動を見るとフックを節とした動きを見られている [1]。本研究では一般的な天井クレーンのモデルではなくフックを質点とした天井クレーンのモデルのシミュレーションを行っている。

2 制御対象とモデリング

本研究で取り扱うモデルを図1に示す。天井の台車からフックまでの長さを l_1 、フックから吊荷までの長さを l_2 、座標系を台車に固定して台車の進行方向を x 方向、鉛直下向きを y 方向としている。そして、 y 軸と l_1 となす角を α 、 y 軸と l_2 とのなす角を β として、台車の質量を m_0 、フックの質量を m_1 、吊荷の質量を m_2 としている [2]。表1に使用する記号を示す。

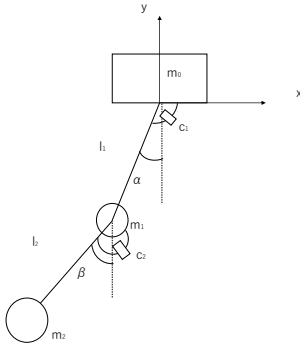


図1 天井クレーンのモデル

表1 使用する記号

台車の質量	m_0
フックの質量	m_1
吊り荷の質量	m_2
台車-フック間の長さ	l_1
フック-吊り荷間の長さ	l_2
制御入力	u
m_0 - l_1 間の減衰係数	c_1
m_1 - l_2 間の減衰係数	c_2

本研究で取り扱うモデルの運動方程式を次のように示す。重力加速度 g として m_1 の座標系を $(x_1, y_1) = (x +$

$l_1 \sin \alpha, l_1 \cos \alpha)$ とし、また m_2 の座標系を $(x_2, y_2) = (x + l_1 \sin \alpha + l_2 \sin \beta, l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta)$ とする。以上のことより、オイラー・ラグランジュの運動方程式を用いて運動方程式を導出すると次のようになる。

$$(m_0 + m_1 + m_2)\ddot{x} + m_2 l_2 \ddot{\beta} \cos \beta + (m_1 + m_2)\ddot{\alpha} \cos \alpha = (m_1 + m_2)l_1 \dot{\alpha}^2 \sin \alpha + m_2 l_2 \dot{\beta}^2 \cos \beta - 2c_2 \dot{x} + u$$

$$(m_1 + m_2)l_1^2 \ddot{\alpha} + m_2 l_1 l_2 \ddot{\beta} \cos(\alpha - \beta) + m_1 l_1 \ddot{x} \cos \alpha = -m_2 l_1 \dot{x} \dot{\alpha} \sin \alpha - m_2 l_1 l_2 \dot{\alpha} \dot{\beta} \sin(\alpha - \beta) - c_2 \dot{\alpha} + m_2 l_1 l_2 \dot{\beta}(\dot{\alpha} - \dot{\beta}) \sin(\alpha - \beta) + c_2 \dot{\beta} - (m_1 + m_2)g l_1 \sin \alpha$$

$$m_2 l_2^2 \ddot{\beta} + m_2 l_1 l_2 \ddot{\alpha} \cos(\alpha - \beta) + m_2 l_2 \ddot{x} \cos \beta = m_2 l_1 l_2 \dot{\alpha}(\dot{\alpha} - \dot{\beta}) \sin(\alpha - \beta) + c_2 \dot{\alpha} + m_2 l_1 l_2 \dot{\alpha} \dot{\beta} \sin(\alpha - \beta) - c_2 \dot{\beta} - m_2 g l_2 \sin \beta$$

また、状態変数を次のようにしている。

$$x(t) = [x \quad \dot{x} \quad \alpha \quad \dot{\alpha} \quad \beta \quad \dot{\beta}]^T$$

また、上記にて求めたラグランジュの運動方程式を線形化して運動方程式を求めた。その線形化した後の運動方程式を次に示す。

$$(m_0 + m_1 + m_2)\ddot{x} + m_2 l_1 \ddot{\alpha} + m_1 l_1 \ddot{\alpha} + m_2 l_2 \ddot{\beta} = m_2 l_2 \dot{\beta} - 2c_2 \dot{x} + u$$

$$(m_1 + m_2)l_1^2 \ddot{\alpha} + m_2 l_1 l_2 \ddot{\beta} + m_1 l_1 \ddot{x} = -(m_1 + m_2)g l_1 \alpha - c_2 \dot{\alpha} + c_2 \dot{\beta}$$

$$m_2 l_2^2 \ddot{\beta} + m_2 l_1 l_2 \ddot{\alpha} + m_2 l_2 \ddot{x} = c_2 \dot{\alpha} - c_2 \dot{\beta} - m_2 g l_2 \beta$$

3 制御器設計

本研究では、目標値に制御するための線形制御に LQ 制御を用いている。まず、LQ 制御を行うための状態フィードバックゲインを求める際にリカッチ方程式を解く。

$$PA + A^T P - PBR^{-1}B^T P + Q = 0$$

そして、次のようにそして上の式で P の値を求めることができたので次のようにゲイン K の値を求めることができる。

$$K = R^{-1}B^T P$$

4 シミュレーション

そして、第3章で設計した制御器を用いて今回のモデルの制御を行った。そのときのシミュレーションの結果を次に示す。上の台車の操作によって台車の位置を目標値に到達させることを目指した。また、それぞれの角度である α と β も目標値に安定させることを目標にした。ただし、初期値はそれぞれ $x = 10, \alpha = 0.4, \beta = 0.0$ としている。

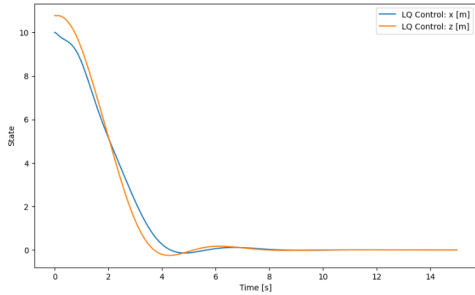


図2 x, z の移動距離

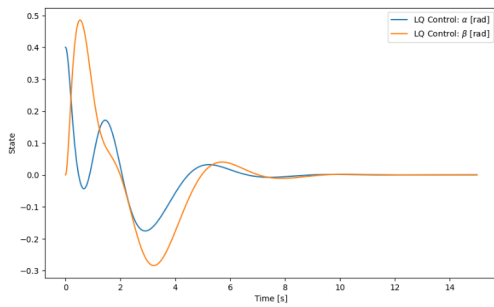


図3 α, β の変位

また、ここで z として m_2 の x 方向の位置を表すグラフのシミュレーションも行っている。そのときの x と z の変位の結果をを図2, α と β の変位の結果を図3に示す。

そして、重み行列の値を変化させることによってその結果の比較をした。その時の結果を次に図4, 図5, 図6に示す。

その結果より、図4では x の収束は遅くなりその代わりに α, β の収束は速くなっていることが確認できる。また、図5では、 α, β ともにすごく振動をしており m_0 自体が収束をしても α, β が大きく振動をしていることによって z の値は収束するまでに時間がかかっている。そして図6においては、 x の挙動に変化は見られなかったが、 α, β に関しては少しではあるものの一回目に起きる振動が大きくなり収束にかかる時間も長くなっている。振動の周期的には変化はないが1つ1つの振動が大きくなることによって全体の振動が大きくなっている。この結果より、LQ制御だけの荷揺れ制御は難しいのではないかと感じた。台車の制御はできているものの吊り荷とフックの部分の揺れをより完璧に制御することは難しいと感じた。どうしても振動が起きてしまうことが確認できた。

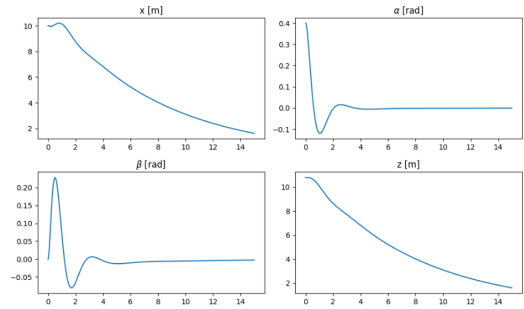


図4 $diag[1, 50, 100, 1000, 100, 1000]$ のとき

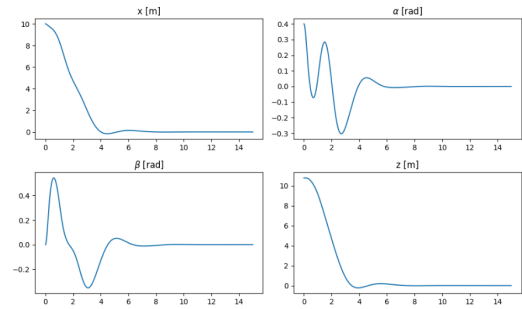


図5 $diag[50, 50, 100, 1, 100, 1000]$ のとき

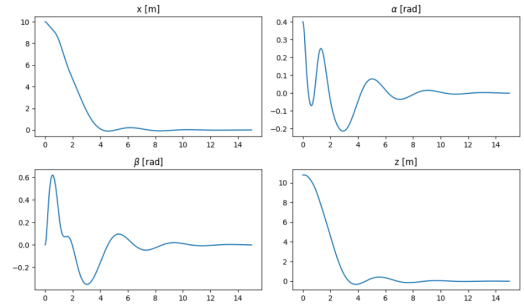


図6 $diag[50, 50, 100, 1000, 100, 1]$ のとき

5 おわりに

本研究では、LQ制御によって上の台車の部分に制御入力を加えることによってフックの部分をも1つの節として考えるようなクレーンのモデルを制御を行うことができた。しかし、完璧に荷揺れ制御ができているわけではないと感じた。特に角度の部分においては収束するまで少し時間を必要としている。

参考文献

- [1] 伊藤洋, 鈴木浩平, 近内健一郎「2自由度モデルによる天井クレーンの荷揺れ抑制手法の研究」日本機械学会 (No. 04 - 5) Dynamics and Design Cenerenee 2004CD - ROM 論文集 (2004, 9. 27 - 30 東京)
- [2] 伊藤洋, 鈴木浩平「天井クレーンの荷揺れ抑制手法に関する研究 (連成振動を考慮し荷揺れを抑制した搬送手法)」日本機械学会 72 巻 720 号 (2006-8)