

# 機械学習で獲得した知識を用いる知的旋回クレーン制御の提案

Proposal of intelligent rotary crane control system using knowledge acquired by machine learning

○ 井上 晃誓, 澁谷 長史, 安信 誠二  
○ Kousei Inoue Takeshi Shibuya Seiji Yasunobu  
筑波大学 工学システム学類  
University of Tsukuba College of Engineering System

**Abstract:** Rotary crane working in construction sites turn the boom around and carry a load to a predetermined position. When a rotary crane turn the boom, a load is affected by the centrifugal force (and so on), and the oscillation occurs. This oscillation is controlled by skilled pilots now. But, in order to improve this situation, we have studied for crane automation. As the first step, The skilled pilot's empirical knowledge was taken in and the control system which controls remains oscillation only in turning operation was built. However, this method can suppress the only one direction of oscillation. In this study, we propose the rotary crane control system that is using machine learning to acquire knowledge and reduce the two direction of oscillation with this knowledge.

## 1 はじめに

建設現場等で活躍する旋回クレーン（クレーン車やタワークレーンなど）は、ブームの一端を中心に旋回運動を行うことにより、荷を所定の位置まで運搬する荷役機械である。旋回クレーンはブームの旋回を行うと、荷が遠心力などの影響を受け、ロープ支点を中心とした円、もしくは楕円状の荷物の振れが発生する。

現状、この振れの抑制は熟練操縦者の技術に頼っているが、このような状況を改善すべく、自動化に向けた研究が行われており、その第一歩として熟練操縦者の経験的知識を取り込み、旋回動作のみで残留振れを抑制する制御方式を構築した [1]。

しかし、この方法では旋回方向の振れの成分しか振れを抑制できない。本研究では発生した初期振れに対し、旋回方向成分と同時に半径方向成分の振れも抑える制御知識を機械学習を用いて獲得し、それを用いた旋回クレーンの制御を提案する。

## 2 旋回クレーンのダイナミクス

### 2.1 旋回クレーンのモデリング

クレーンの振り子系をブーム、ロープを剛体とし、荷物を質点としてモデリングする。ただしロープおよびロープ下端のフックの重量を無視する。このような仮定のもとでモデル化した旋回クレーンを図 1 に示す。

ここで、図中の各記号は次のとおりである。 $(x,y,z)$ : 荷の絶対座標,  $(tp,tr)$ : ロープ支点系での荷の座標,  $l$ : ロープの長さ,  $r$ : ロープ支点の旋回半径,  $\theta$ : ブーム

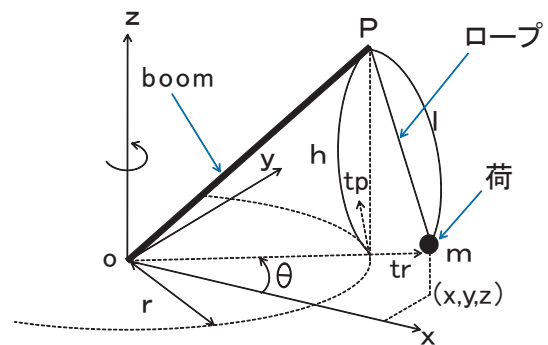


図 1: 旋回クレーンモデル図

の旋回角度,  $h$ : ロープ支点の高さ,  $m$ : 荷の質量,  $g$ : 重力加速度。

ここで、ブームは旋回動作のみ行う（起伏角一定）とすると、旋回クレーンの荷の運動方程式は次のようになる。  $K$  はブームの質量と慣性モーメントを含む定数,  $u$  は操作量である。

$$\ddot{x} = -\frac{g}{l}(x - r \cdot \cos \theta)$$

$$\ddot{y} = -\frac{g}{l}(y - r \cdot \sin \theta)$$

$$\ddot{\theta} = Ku$$

また、 $(tp, tr)$  と絶対座標系  $(x, y, z)$  の間には次のような関係がある。

$$tp = -(x - r \cdot \cos \theta) \cdot \sin \theta + (y - r \cdot \sin \theta) \cdot \cos \theta$$

$$tr = (x - r \cdot \cos \theta) \cdot \cos \theta + (y - r \cdot \sin \theta) \cdot \sin \theta$$

## 2.2 旋回クレーンの特性

天井走行クレーンなどは荷の進行方向と振れの方が常に一致している．一方で，旋回クレーンの場合はブームが旋回動作を行うため，荷の進行方向と振れの方が旋回角度に応じてずれていく．また，ブームの旋回時，荷に働く遠心力によって，荷の振れの中心が旋回半径より外側にきてしまう．このような特性を持つ振れにどう対応するか，特に半径方向  $tr$  の振れをどう抑えるかが旋回クレーン特有の問題である．

## 3 振れを抑えるための制御知識

本研究では，熟練操縦者がブームの旋回のみで旋回方向，半径方向の両方向の振れをうまく抑えていることに着目して，熟練者の知識を機械学習によって獲得し，その知識を元に両方向の振れを止める適切な速度パターンを生成することで初期振れの抑制を行う．

熟練者が持っている振れ止めのための制御知識というのは，ブームの旋回の加減速のタイミングと旋回の速さをどうするか，というものである．目標ブーム旋回角度を  $\theta = 0$  とすると，図2のような速度パターンを生成する為必要な加減速のタイミングと旋回の速さのパラメータは  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, T_{01}, T_{02}, T_{04}$  の6つである．これら6つのパラメータから生成された速度パターンを用いて制御を行う．

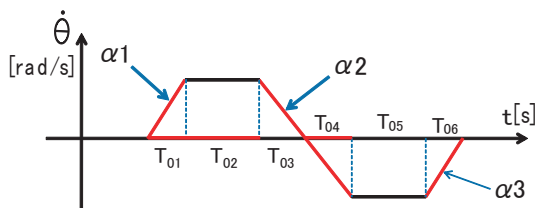


図 2: 速度パターン

## 4 シミュレーション

生成した初期振れに対し， $\alpha_1 = 1, \alpha_2 = -1, \alpha_3 = 1, T_{01} = 1, T_{02} = 1, T_{04} = 1$  のパラメータから図3のような速度パターンを生成し，この速度パターンに追従するよう速度フィードバック制御のシミュレーションを行った．その結果を図4に示す．

## 5 おわりに

機械学習部についてはまだ構築していないが，制御結果の残留振れを振動のエネルギーで以下のように定

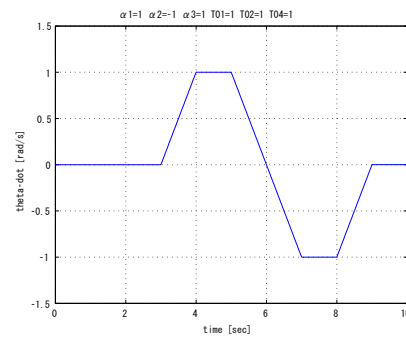


図 3: 生成速度パターン

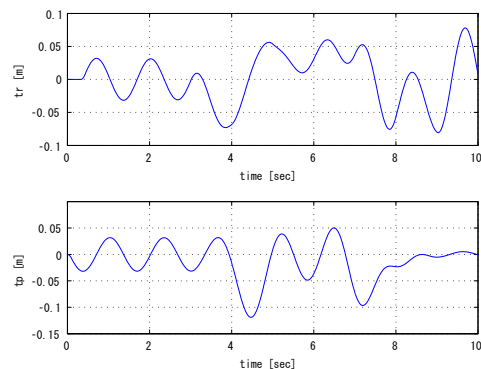


図 4: 速度パターン制御結果

量化し，制御に要した時間とともに評価値として設定する．これらの評価値をもちいて機械学習を行うことを想定している．

$$E_{tp} = \frac{1}{2} m \omega^2 (tp)^2$$

$$E_{tr} = \frac{1}{2} m \omega^2 (tr)^2$$

## 参考文献

- [1] 大音，安信: 熟練操縦者の制御戦略を考慮した旋回クレーンの制御，計測自動制御学会論文集, Vol. 33, No. 9, 1/7, (1997)
- [2] 村上，安信: 初期振れを考慮した旋回クレーンの知的制御，知能システムシンポジウム資料 24, 89-94, 1997-03-18

## 連絡先

安信 誠二

E-mail: yasunobu@iit.tsukuba.ac.jp