

# 可変ノッチフィルタを用いた天井クレーンの制振搬送

## Sway Control of Overhead Crane with Variable Notch Filter

○ 南雲 勇輝 (長岡高専)      佐藤 馨 (長岡高専)      正 佐藤 拓史 (長岡高専)  
Yuki NAGUMO, Nagaoka National College of Technology, 888 Nishikataikai, Nagaoka, Niigata  
Kaoru SATOH, Nagaoka National College of Technology, 888 Nishikataikai, Nagaoka, Niigata  
Hiroshi SATOH, Nagaoka National College of Technology, 888 Nishikataikai, Nagaoka, Niigata

Key Words: Overhead Crane, Sway Control, Variable Notch Filter

### 1. はじめに

クレーンとは動力によって荷を吊り上げ、これを水平に運搬することを目的とする機械装置で、定置されているものや限られた範囲を移動する形式のものを言う。このうち、天井クレーンは一般に巻上、横行、走行の3動作が可能で、広範囲の作業領域を確保できるため、機械工場での重量物や部品の運搬などに使用されている<sup>(1)</sup>。

クレーンの操作では操作の正確性、作業効率、安全性の面から残留振動は可能な限り小さくすることが望ましいとされている。しかし、こうした熟練者は減少しつつあるのが現状である<sup>(2)</sup>。よって天井クレーンに対し、熟練度が低い作業員においても熟練者と同様な制振搬送が行えるような制御系への期待が高い。

先行研究<sup>(3)</sup>ではフィードバック制御を用いることで外乱に対応し、初心者の搬送操作においても熟練者同様の制振搬送が行えるような制御器の設計の検討を行ってきた。しかし、先行研究では固定ロープ長の場合の検討であったため、ロープ長が変化してしまうとパラメータの変化が生じ、十分な制振搬送が行えないという問題がある。そこでロープ長変動を考慮した制御器を設計することが必要となる。

天井クレーンの制振搬送に対して様々な方法での研究が行われているが、その1つの方法としてノッチフィルタを用いた制振搬送があり、ロープの揺れ周期に合わせてノッチフィルタを設計することで制振搬送が可能であることが知られている<sup>(4)</sup>。しかし、ロープ長が変化するとその揺れ周期も変化してしまうためその揺れ周期に合わせた可変ノッチフィルタを構成することが必要となる。

そこで、本研究では吊り荷の揺れ周期に合わせた可変ノッチフィルタを構成することで、ロープ長変動が生じた場合においても制振搬送が可能となるような制御系を構成することを目的とする。

### 2. システム構成

本研究で扱う天井クレーンモデルの構成を Fig. 1 に示す。実験に使用する天井クレーンモデルは、走行機能無し、横行範囲 2.0 [m]、巻上範囲 0.8 [m] であり、実際の大型天井クレーンを 10 分の 1 に縮小したものとして製作した。横行部はリニアシャフトとリニアブッシュで構成し、シャフト 2 本によるダブルレール仕様となっている。巻上、横行動作はワイヤとプーリを用いた回転—直動変換機構を用い、吊り荷の巻上とトロリの横行には DC サーボモータを用いる。DC モータは内部に速度制御系が構成されたサーボアンプにより駆動する。吊り荷の巻き上げ量とトロリの変位量の測定にはロータリエンコーダを用い、吊り荷の揺れ角の測定には非接触型ポテンシオメータを用いる。

制御器の実装には dSPACE 社の DS1104 を用いる。トロリの変位量とロープ長測定用エンコーダの出力は DS1104 の

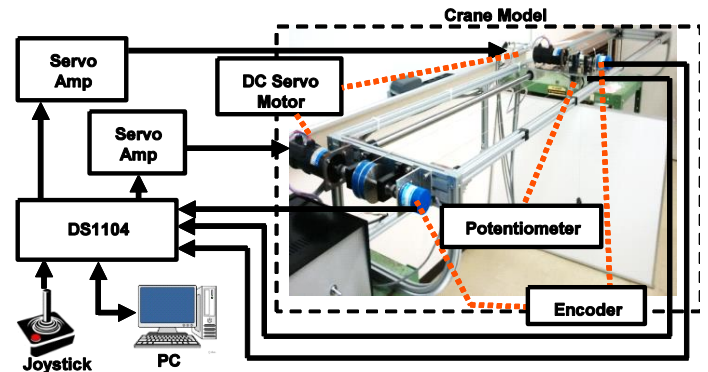


Fig. 1: Composition of overhead crane model

カウンタポート、吊り荷の揺れ角測定用ポテンシオメータの出力は A/D ポートにそれぞれ接続し、制御器はこれらの情報に基づく制御量を算出する。算出された制御量は D/A ポートを介して出力され、サーボアンプへ速度指令値として入力される。制御器の設計には MATLAB, Simulink を用いる。

### 3. 可変ノッチフィルタの設計

ノッチフィルタとは、バンドストップフィルタの一種でありほとんどの周波数はそのまま通すが、特定の帯域だけを非常に低いレベルに減衰させるフィルタである。

減衰させたい帯域の中心周波数を  $\omega_n$  ノッチの深さを  $\zeta_n$  とすると、ノッチフィルタの伝達関数は式 (1) のようになる<sup>(5)</sup>。

$$H(s) = \frac{s^2 + 2\zeta_n\omega_n s + \omega_n^2}{s^2 + \omega_n s + \omega_n^2} \quad (1)$$

ここで  $\zeta_n$  を吊り荷の揺れ周期を低減するように、 $\omega_n$  を吊り荷の揺れ周期に設定すれば、制振搬送が可能となる。しかし、ロープ長の変動が生じると、この吊り荷の揺れ周期も変動してしまう。揺れ周期は  $\omega_n = \sqrt{g/l}$  でありロープ長  $l$  に依存している。したがって式 (1) をロープ長  $l$  に依存した可変ノッチフィルタに拡張する。

$$H(s, l) = \frac{s^2 + 2\zeta_n\omega_n(l)s + \omega_n^2(l)}{s^2 + \omega_n(l)s + \omega_n^2(l)} \quad (2)$$

ここで、 $\zeta_n$  の値はシミュレーションモデルを基に十分な制振効果が得られる値を試行錯誤的に求め、今回は、 $\zeta_n = 3.0 \times 10^{-3}$  とした。

搬送時のロープ長によりノッチフィルタのパラメータを可変するシステム構成とすればロープ長変動に対応できる

と考えられる. Fig.2 にそのシステム構成を示す. パラメータの更新はサンプリングタイム 1[ms] 毎に行う.

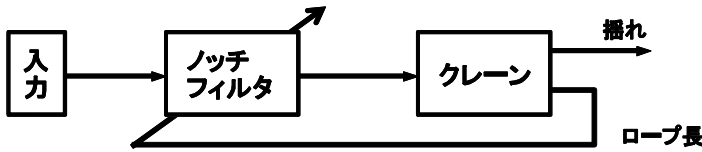


Fig.2: Configuration of control system with variable notch filter

#### 4. 搬送実験

##### 4.1 搬送条件

搬送条件として, 最初に初期ロープ長 0.5[m] で初期位置から 1[m] 先の目標位置へ搬送を行い, 目標位置到達後ロープ長を 0.3[m] まで巻上げ, 再び 1[m] 先の初期位置まで搬送を行った. 被験者には残留振動を残さないように搬送を行ってほしいという旨のみを伝えて搬送を行ってもらった.

##### 4.1 搬送実験結果

人操作による搬送実験結果の一例を Fig.2 に示す.

Fig.2(a) はロープ長 0.5[m] の中心周波数に合わせて設計した固定ノッチフィルタでの搬送結果, Fig.2(b) は設計した可変ノッチフィルタを用いた搬送結果である. グラフは上からトロリの位置, 吊り荷の揺れ幅, トロリの速度, トロリから吊り荷までのロープ長を表している.

固定ノッチフィルタでの搬送の場合は最初の 1[m] の搬送はノッチフィルタが適切に設定されているため, 残留振動は発生していない. しかし, ロープ巻上げ後の搬送ではノッチフィルタの中心周波数が吊り荷の揺れ周期と異なっているため, 搬送開始時に生じた振動が搬送終了後に残留振動として生じている.

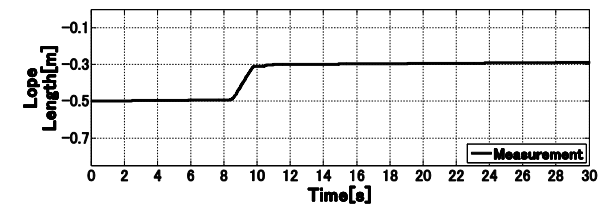
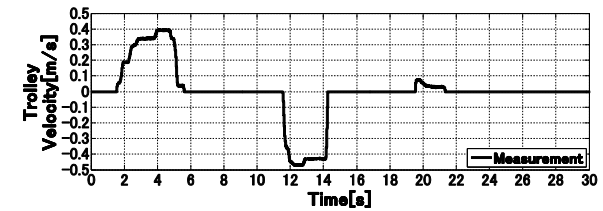
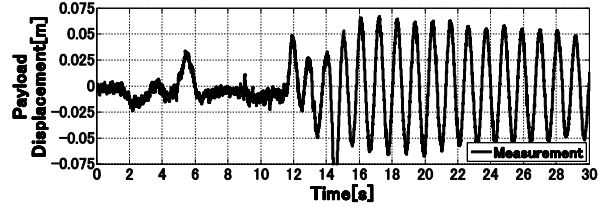
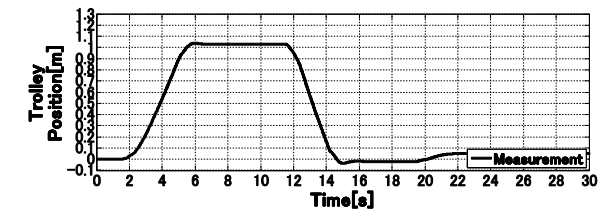
しかし, 構成した可変ノッチフィルタでの搬送の場合は, ロープ長 0.5[m] での搬送およびロープ長 0.3[m] での搬送のどちらにおいても残留振動を生じさせていないことが確認できる. この結果, 可変ノッチフィルタを構成することによりロープ長変動に対しても制振搬送を行うことができた.

#### 5. まとめと今後の課題

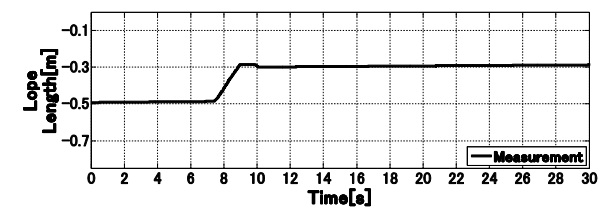
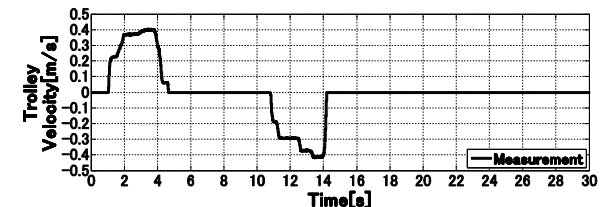
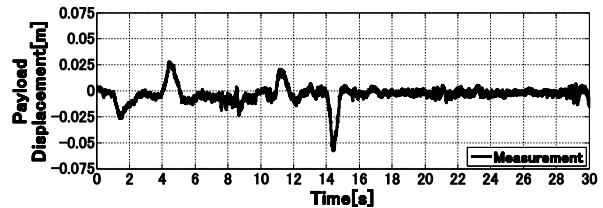
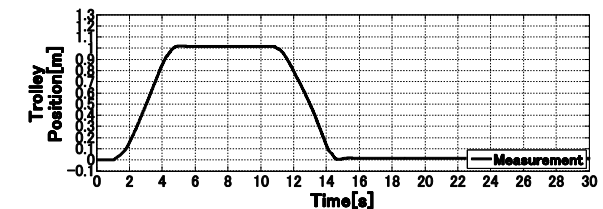
可変ノッチフィルタを構成することによりロープ長変動が生じる搬送においても制振搬送が可能となる制御系を実現できた. しかし, 可変ノッチフィルタを用いた搬送では, 風などの外乱が加わると制振を行うことができない点や搬送中のロープ長変動に対応できないといった問題点が残る. 今後は, 外乱等にも対応できる制御系の構成について検討が必要である.

#### 参考文献

- (1) 山本誠一, “まるごと覚えるクレーン・デリック運転士ポイントレッスン”, 新星出版, (2007)
- (2) “平成 22 年国勢調査, 職業等基本集計結果”, 総務省統計局, (2012)
- (3) 佐藤馨, “天井クレーンの製作と制振搬送”, 平成 24 年度電子制御工学科卒業論文, (2012)
- (4) 森貴彦, “ノッチフィルタ切替法による天井クレーンの遠隔操縦システムに関する研究”, 計測自動制御学会論文集 vol. 48, No. 1, 20/26(2012)
- (5) 矢野賢一・小黒直樹・寺嶋一彦, “時間, 周波数仕様を考慮したハイブリッド整形法による制振起動制御”, 計測自動制御学会論文集 vol.37, No. 5, (2001)



(a) Using fix notch filter



(b) Using variable notch filter

Fig.2: Transport experiment results by human operation