3H-03

操縦者に適合したLPF選択手法による全方向移動パワーアシスト台車の操作性向上

Operatability Improvement of An Omni-directional Power Assisted Handcart by Selecting User Adapted LPF

熊木　広一†　　大村　廉‡

豊橋技術科学大学†　　豊橋技術科学大学‡

1. はじめに

現在，生産工場内で重量のある部品の運搬作業は未だ人力で行われる場合も多く，このような作業は作業者の身体に多大な負担をかける．運搬作業による疲労は，集中力の低下を起こし，事故の原因や作業効率低下の原因となる．そのため，労働者の負担を軽減するために運搬作業に使用する台車をパワーアシスト化することが研究されている[1]．

しかし，パワーアシスト化により操縦者の意図しない動作が発生することがあり，操作性の低下や安全性に問題が生じる．また，組み立て工程においては，重量のある部品を台車に乗せたまま運び，そのまま別の部品に接続される，といったことが行われる．このような作業ではパワーアシスト化された台車を精度よく移動させることが求められる．

パワーアシスト化した際に操縦者が意図しない動作が発生する原因として，操縦の入力となるセンサに対して，台車の振動や操縦者の手ぶれなど，意図しない入力（以下，ノイズと呼ぶ）が混入することがある．岩井らは入力センサからの波形にノッチフィルタを適用して操縦者の意図しない入力や，モータ振動の固有周波数を除去すること，操作性の向上を試みている[2]．この方法では，一定のノイズを除去することができる．しかし，操作方法や手ぶれなどは操縦者により異なると考えられ，既存手法ではこのような操作者個人に依存すると考えられるノイズは考慮されていなかった．

本研究では，パワーアシスト台車の操作性を向上させるために，操縦者に適合したローパスフィルタを選択して適用する方法を提案する．カットオフ周波数が異なるローパスフィルタを予め複数用意し，操作の様子から操作者に適切と考えられるものを選択する．

以下，本稿では，まず適切なフィルタの人依存性を確認する実験の結果について述べる．次に，提案手法について述べ，フィルタを全く用いない場合，フィルタを固定した場合，適切なフィルタを選択した場合（提案手法）を比較評価した結果を述べる．

2. 適切なフィルタの人依存性評価

操作入力の人依存性を評価する．人の操作入力は 1Hz 以下の周波数に含まれていることが解っている．このため，実験ではセンサ入力に 1Hz 以下のカットオフ周波数をもつローパスフィルタ 8 種類(カットオフ周波数：0.3，0.4，0.5，0.6，0.7，0.8，0.9，1.0Hz)を適用したパワーアシスト台車を用意し，被験者に指定した直線経路上を動かすように操作してもらった．そして，指定した直線と実際の経路の差を確認した．なお，台車の入力センサとして 6 軸力覚センサを用い，前後左右の制御は X，Y 軸の力方向，回転制御には Z 軸の回転方向を使用した．

図 1 に各被験者のカットオフ周波数別に指定直線と実際の経路の差の平均を示す．図-1 より被験者ごとに差が小さいカットオフ周波数が異なり，人により適切なフィルタが異なることが分かる．

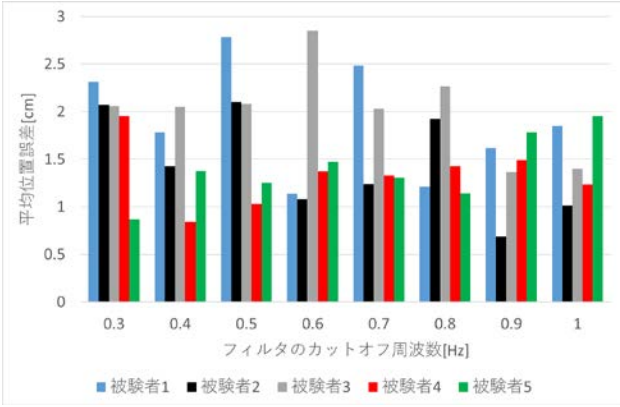

図 1 各被験者に最適なカットオフ周波数

3. 提案手法

操縦者に適合したフィルタのパラメータをリアルタイムに計算で求めるのは困難である．そのため，事前に複数フィルタを作成しておき，操作中に適合したフィルタを選択する．フィルタの周波数特性を参考に減衰域に操作入力が入らないよう余裕を持たせ，カットオフ周波数が 0.3，0.6，0.9，1.0Hz の 4 つのフィルタの中から選択するようにした．フィルタの選択では，まず，キャリブレーション期間として約 3 秒間

Copyright ©2018 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

を設定し，この間に入力された Y 軸方向の力を使用した．操縦者の意図した入力は，この間のデータをフーリエ変換した時のピーク周波数帯に含まれると考えられるため，ピーク周波数より大きく，かつ，最小のカットオフ周波数をもつフィルタを選択するようにした．

4. 評価実験

まず，提案手法により選択されたフィルタと，操作者に適切と考えられるフィルタの適合性を確認した．結果を表 1 に示す．表 1 に示した「適合するフィルタ」は予備実験により経路の差が最小だった時のフィルタを示している．表 1 より，被験者 3 については大きく異なったフィルタが選択されているものの，5 人中 4 人は適切なフィルタが選択されており，精度よく適切なフィルタが選択されていると考えられる．

表 1 適合するフィルタと選択されたフィルタのカットオフ周波数

被験者	適合するフィルタ[Hz]	選択されたフィルタ[Hz]
1	0.6	0.6
2	0.9	1.0
3	1.0	0.3
4	0.4	0.6
5	0.3	0.3

次に，提案手法の有効性を評価するため，被験者に台車を操作してもらい，ローパスフィルタを用いない場合（従来手法），カットオフ周波数を 1.0Hz に固定した場合（固定フィルタ），提案手法によりフィルタを選択した場合とで比較を行った．実験では，被験者に指定経路を台車で沿うように操作してもらい，その軌跡を光学式モーションキャプによって測定した．実験で使用した指定経路は，横移動，縦移動，斜め移動の 3 方向，それぞれ 1m である．図 2 に，ある被験者について，実験時のそれぞれの手法における台車の軌跡を示している．図 2 の二重線は設定経路を表し，点線は従来手法で操作した場合の軌跡，破線は固定フィルタで操作した場合の軌跡，実線は提案手法で操作した場合の軌跡を表している．図 3 に，経路の原点に台車を停止させた場合の位置誤差をそれぞれの手法別に示している．

5 結果と考察

図 2 より，前後移動の経路の軌跡について，提案手法は従来手法より設定経路により近い経路をたどっていることを確認した．斜め移動の経路の軌跡では，提案手法は他の手法と比べ設定経路に対してブレが少なく直線移動ができていることを確認した．横移動については，固定

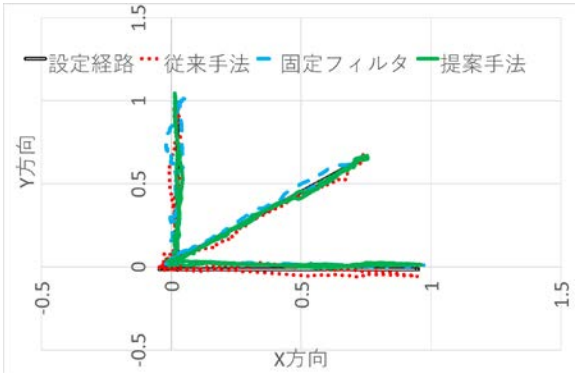

図 2 3 経路の提案手法と従来手法と固定フィルタで移動した場合の軌跡の比較

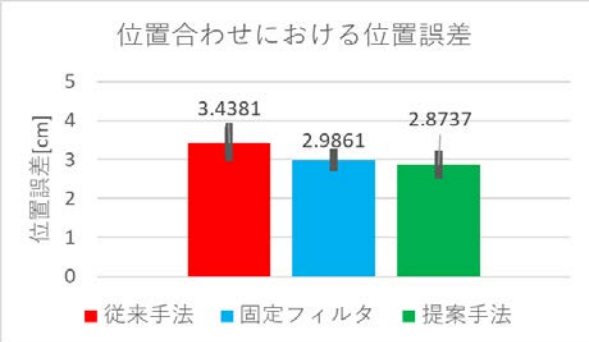

図 3 停止時の目標位置との位置誤差

フィルタと従来手法の軌跡にあまり差は得られなかったが，総じて提案手法により操作性を向上できている事を確認した．また，図 3 より，位置決めについても，固定フィルタとの差はわずかであったが，提案手法が最も精度よく位置決めができていることを確認した．

6. まとめ

本研究では，パワーアシスト台車の操作性向上を目指し，台車の操縦者に合わせて適切なローパスフィルタを選択して適用する手法を提案した．提案手法において，選択されたフィルタが 5 人中 4 人は適切なフィルタが選択できていることを確認した．また，フィルタを使用しない従来手法，カットオフ周波数を固定したフィルタを用いた手法，提案手法で比較を行い，提案手法が最も精度よく指定した軌跡にそって台車を移動させられることを確認した．また，停車時の位置誤差も最も小さかった．これらのことから，提案手法が，台車の操作性を向上させることを確認した．

参考文献

[1] 藤原茂喜，北野斉，山下秀樹ほか：全方向移動型パワーアシストカート，日本ロボット学会誌，Vol.20，No.1，p53-54，2002

[2] 岩井翔吾，野田善之：振動要素を含む操作型輸送システムのフィルタ設計による操作支援システム　第 57 回自動車制御連合講演会 2014/11/10

Copyright ©2018 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.