

平成 30 年 5 月 25 日現在

機関番号：37111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K18096

研究課題名(和文)概周期運動に対する高効率なパワーアシスト制御法の確立

研究課題名(英文) Design of energy-efficient power assisting control methods for almost-periodic motions

研究代表者

畑田 和良 (Hatada, Kazuyoshi)

福岡大学・工学部・助教

研究者番号：10709356

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題は、ヒトの概ね周期的な運動に対して、高いエネルギー効率を有するパワーアシスト制御法の実現を目的としたものである。本研究では、概ね周期的なトルクの谷間を補うようにアシストトルクを加えることで、トルクの合計値の脈動を抑制することによるエネルギー損失の抑制を検討した。研究期間中は、次の手法(1)適応ノッチフィルタに基づくアシスト法(2)周期外乱オブザーに基づくアシスト法(3)短時間先のヒトの運動の予測結果に基づくアシスト法の確立を検討した。また、各手法を電動アシスト自転車に実装し、バッテリー電圧の降下抑制を検証した。

研究成果の概要(英文)：This study considers synthesis procedures of energy-efficient power assisting systems for almost-periodic motions. Previously, we showed energy-efficient improves by flattening the total value of a human torque and an assisting torque. To realize this situation, we proposed following three methods (1) assisting method using an adaptive filter (2) assisting method based on motion prediction (3) assisting method with periodic disturbance observer. The proposed methods were demonstrated through experiments with an actual bicycle.

研究分野：制御工学

キーワード：パワーアシスト 周期運動 外乱オブザーバ

1. 研究開始当初の背景

我が国社会の少子高齢化が加速する中で、労働力の維持ならびに生活の質(QOL: Quality Of Life)の向上を念頭に置いたパワーアシストの導入が進んでおり、産業分野では重量物の搬送支援、福祉分野では歩行支援などがその例に挙げられる。可搬式のパワーアシスト機器は多くの場合、バッテリー電源により駆動しており、高い効率のアシストを実現することで、一度のバッテリー充電あたりの駆動時間を延長することが望まれている。

ヒトの継続的な運動には概ね周期的なものがある(例えば、歩行や水泳など)。申請者はこれまで、自転車のペダリングを例に周期運動に対してエネルギー効率の意味で最適となるパワーアシスト制御法を検討してきた。自転車のペダリングの際には、ペダルの位置(クランクの角度)によって力の加えやすさが異なることから、ペダリング力には脈動が存在する。最も簡単なアシスト法である、ヒトの力の瞬時値に比例したアシスト力を加える方法を適用すると、ヒトの力の脈動はアシスト力によって増幅され、結果的に自転車の速度の脈動が増幅する。この状況に対して、申請者は効率が最適となるのは、図1のようにペダリング力の谷を補うようにアシスト力を加えることにより、力の合計値を一定とすることで速度の脈動を抑制した場合であることを示している。また、ペダリング

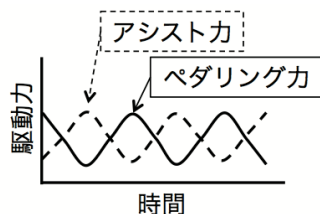


図1 高効率アシスト

周期が一定であると仮定した状況で、周期外乱の除去に有効な繰返し制御に基づくフィードバック制御によるアシスト法を構築し、図1のアシストを実現した。

しかしながら、実際のヒトのペダリングは、図2のように微妙ながら連続的に周期が変動しているため、実用上の観点から、周期が一定であるという仮定を取り除く必要があることは明らかである。

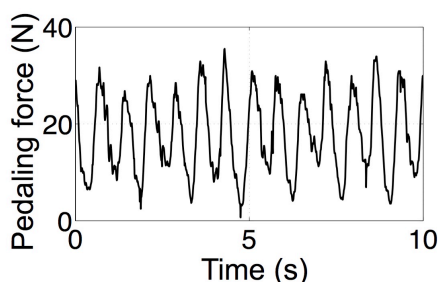


図2 ペダリング力(実測値)

2. 研究の目的

これまでの経過から、前述の仮定を取り除くには周波数特性を考慮したフィードバック制御だけでなく、周期外乱オブザーバを用いることによる周期の変動への対応や、短時間先の運動を予測し、その予測値の逆位相のアシスト力をフィードフォワードで加えることが有効であると考えに至った。そこで、本研究では、周期が変動する概ね周期的な運動に対するエネルギー効率の意味で最適となるパワーアシスト制御法の確立することを主目的とする。そして、電動アシスト自転車を用いた実験により、バッテリー電圧の低下度合いの抑制を検証する。

3. 研究の方法

上記の目的を達成するために、研究期間中は次の3つのアプローチをとる。なお、すべてのアプローチにおいて、先行研究と同様に、電動アシスト自転車を制御システム、ペダリング力を外乱、速度を出力と考え、アシスト力を制御することで速度に内在する脈動の抑制を目指す点は一致している。

(1) 適応ノッチフィルタを用いたアシスト法

ペダリング周期が変動する場合、その影響を抑制するには、適応ノッチフィルタを制御システムに挿入することが有効であると考えた。本システムの概要は次の通りである。

まず、ペダリング周期の瞬時値を推定する。そして、ペダリング力から速度までのフィードバック伝達関数のゲイン特性に、ペダリング周期の推定値を中心としたノッチが現れるように、制御器の特性を適用的に変化させる。ただし、すべてのペダリング力を抑制すると速度が0となることから、交流成分のみ抑制する必要がある。

(2) 周期外乱オブザーバに基づくアシスト法

本研究において周期外乱と捉えているペダリング力を周期外乱オブザーバによって推定し、そのペダリング力を反転させたアシスト力を加えることで、速度の脈動を抑制することを考える。ただし、(1)と同様、ペダリング力の全成分を抑制することは無意味なので、直流成分と交流成分を分けて推定し、交流成分を反転した力を加えることで速度の脈動を抑制することを考える。

(3) 短時間先のヒトの運動の予測結果に基づくアシスト法

ここでは、時変季節性 (TVS: Time Varying Seasonal) AR モデルを用いて、ある時刻における概ね周期的な信号の複数周期以前の情報に基づいて現時刻の短時間先の値を予測することを検討する (図 3)。そして、あらかじめ設定し

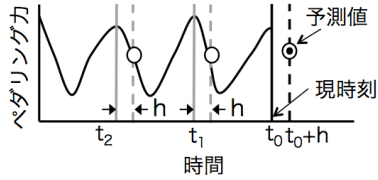


図 3 短時間先の予測

した力の合計値と予測値との差をアシスト力として加えることを考える。

4. 研究成果

3. で述べた(1)から(3)に加えて、(2)とゲインスケジューリング制御という点で共通している研究(4)で成果が得られた。

- (1) 適応ノッチフィルタをペダリング周期の推定と制御器に使用するアシスト法 (図 4) を提案し、数値シミュレーションとペダリング用の機器を用いた実験において速度の脈動性能を検証した。また、

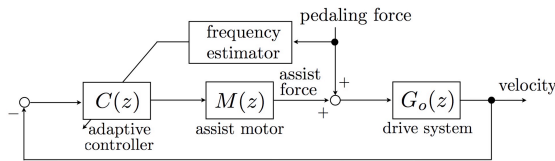


図 4 適応フィルタを用いたアシスト法

実験では、従来のヒトの力に比例したアシスト法と比べてバッテリー電圧の低下度合いが抑制できることを確認した。しかしながら、本手法では人工的に与えた変動を有する周期のペダリングには対応できるものの、不規則に周期が変動するヒトのペダリングの対応には至らなかった。

- (2) 周期外乱オブザーバを用いたアシスト法 (図 5) を構築した。(1)と同様に、数値

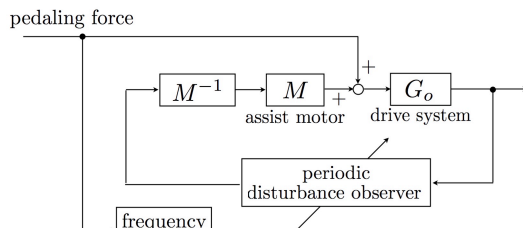


図 5 周期外乱オブザーバを用いたアシスト法

シミュレーションと実験で速度の脈動抑制を確認している。さらに、本手法では

(1)で問題となった、ヒトのペダリング周期の不規則な変動に対応できており、ヒトのペダリングによる実験が可能となった。実験で得た自転車の速度を図 6 に示す。なお、比較のために市販の車両と同様の比例制御 (PPC と表記) を適用した場合の速度を重ねて表示する。また、

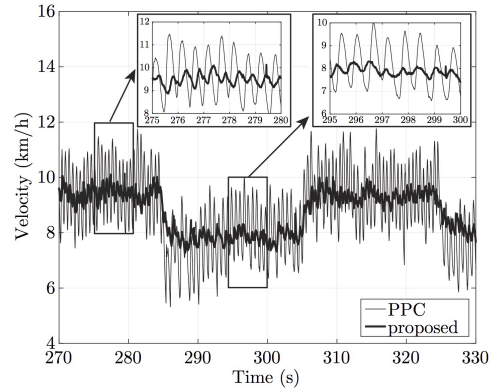


図 6 自転車速度

実験中のバッテリー電圧の計測値を図 7 に示す。この結果から、提案法は従来法

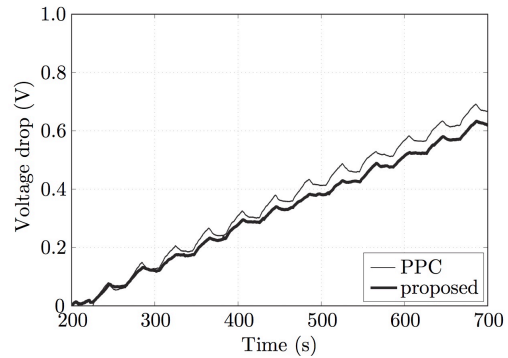


図 7 バッテリー電圧

に比べて電圧の低下が抑制できていることが確認出来る。なお、被験者は両手方の実験中にガイドとなる動画を見ながらペダリングをしており、おおよその周期や車両の平均速度の条件を揃えている。

- (3) TVSAR モデルに基づいて予測をおこなう際に必要となる概周期信号の位相情報は、クランク角を計測することで得ることとしてアシスト法を確立した。本手法を図 8 に示す。本手法については、数

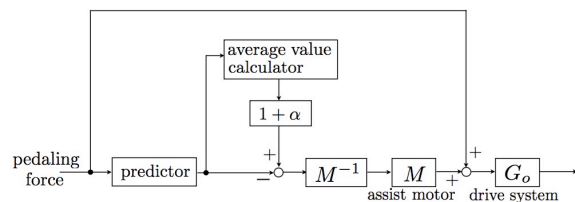


図 8 運動の予測に基づくアシスト法

値シミュレーション上では有効性が確認できたが、研究期間中には実験での検証

に至らなかった。また、本手法と(2)の周期外乱オブザーバとを併合したアシスト法についても数値シミュレーション上で検証した。

- (4) 本研究課題の派生として、(2)で用いたゲインスケジューリング制御の応用について検討をおこなった。今回は、慣性モーメントが変動する Pendubot に対して、カメラに設置誤差が存在する状況下の視覚フィードバック制御への適用に取り組んだ。こちらも実験には至っていないが、数値シミュレーション上では安定化できることが実証できた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① Kazuyoshi Hatada, Kentaro Hirata and Takuma Sato, Energy-Efficient Power Assist Control with Periodic Disturbance Observer and Its Experimental Verification Using an Electric Bicycle, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, 査読有, Vol. 10, No. 5, 2017, pp. 410-417
DOI: 10.9746/jcmsi.10.410
- ② 畑田 和良, 平田 健太郎, 佐藤 拓磨, 適応フィルタを用いた概周期的な運動に対するパワーアシスト制御法 (電動アシスト自転車によるエネルギー効率の検証), 日本機械学会論文集, 査読有, Vol. 82, No. 833, 2016, 15-00233
DOI: 10.1299/transjsme.15-00233

[学会発表] (計4件)

- ① Kazuyoshi Hatada and Kentaro Hirata, Visual Feedback Control of a Pendubot with Varying Moment of Inertia, The 2017 Asian Control Conference, 2017/12/20, 査読有, pp. 2316-2321, Gold Coast (Australia)
- ② 清広 直輝, 平田 健太郎, 畑田 和良, 中村 幸紀, 岡野 訓尚, 適応的 TVSAR による自転車のペダリングトルク推定, 第26回計測自動制御学会中国支部学術講演会, 2017/11/25, 査読無, pp. 41-42, 鳥取大学(鳥取市)
- ③ Kazuyoshi Hatada, Kentaro Hirata and Takuma Sato, Energy-Efficient Power Assist Control with Disturbance Observer and Frequency Estimator, 2016 IEEE 14th International Workshop on Advanced Motion Control,

2016/4/23, 査読有, pp. 384-389, Auckland (New Zealand)

- ④ 畑田 和良, 平田 健太郎, 変動周期信号の予測と推定に基づく電動自転車のアシスト法の検討, 平成28年電気学会全国大会, 2016/3/17, 査読無, No. 3-052, pp. 76-77, 東北大学(仙台市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

畑田 和良 (HATADA, Kazuyoshi)
福岡大学・工学部・電気工学科・助教
研究者番号: 10709356