

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19560300

研究課題名（和文） 外乱切り分け推定に基づいた電動自転車の安定化支援制御

研究課題名（英文） A Stabilization Control Based on Analytical Disturbance Estimation for Electric Bicycle

研究代表者

村上 俊之 (MURAKAMI TOSHIYUKI)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：00255598

研究成果の概要：

本研究課題では、機械システムによる人の動作支援制御の体系化を1つの目的とし、電動自転車のパワーアシスト制御を外乱の切り分けアルゴリズムにより実現した。ここでは、自転車のステアリングアクチュエータによる姿勢安定化アシスト制御、走行駆動アクチュエータによる走行負荷低減アシスト制御に関して提案を行い実験的検証を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2008年度	1,700,000	510,000	2,210,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学，電力工学・電気機器工学

キーワード：電気機器，モーションコントロール

1. 研究開始当初の背景

電動自転車の安定化制御において、人の操作入力が反映でき、かつ人の搭乗を前提とした安定化支援制御器の構成に関する過去の研究例は無く、殆どが自律型移動ロボット（自転車）としての安定化制御に留まっている。人の動作支援として、後輪駆動制御に基づいたパワーアシスト制御等は研究成果として多く見られ、アルゴリズムとしても非常に優れたものが多い。しかしながら、環境変動を積極的に考慮したものは少なく、環境変動や人の操作に対して必ずしも適した制御構成とはなっていない。本研究課題では、従来の概念には無い外乱の成分解析と切り分

けに基づいた電動自転車のマン・マシンシンセシス制御の確立を目的としており、同点から世界的にも類の無い独創的な研究課題となっている。本研究課題申請前に、電動車椅子の制御において、環境外乱の解析アルゴリズム、電動自転車においては環境変動に応じた姿勢安定化制御に成功しており、本研究課題では環境変動および人の操作力に基づいたマン・マシンシンセシス制御の開発にあたって、これらの基礎的な研究成果を発展させてものとして研究を遂行した。

2. 研究の目的

本研究課題では移動機器システムの安定化制御の実現に着目し、環境や人の不安定動

作をアクティブに補償する環境親和型制御器のハードウェア構成および制御アルゴリズムの確立、さらに同アルゴリズムの人の操作支援制御アルゴリズムへの拡張を試みた。移動機器としては電動自転車を取り上げ、自転車の不安定動作の補償を行う安定化制御と、人の意思を反映した操作入力 of 適切な融合制御を実現するための外乱の成分解析と切り分けに基づいたマン・マシンシンセシス制御の基本概念的な確立を目的とした。

3. 研究の方法

上述した目的を達成するため、ステアリング操作および走行駆動を可能とする電動機を自転車へ設置したシステムを構築した。図1および図2にその概要を示す。



図1 改良構築した電動自転車の外観

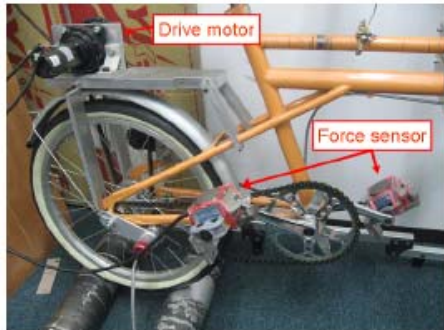


図2 改良構築した電動自転車の外観

また、電動自転車の動作解析を行うためのシミュレータも構築した。本研究課題では、姿勢安定化に寄与するトレール効果を明確に導入したモデルを新たに考察している(図3および表1)。構築した実験システムを用いて、特に零速度近傍での安定化制御に着目し、スライディングモード制御とフラットネス理論を活用した非線形制御に基づいた制御器の検証を行った。さらに、走行時のペダル負荷に対するパワーアシストを環境に依存しない制御とするため、外乱切り分けアルゴリズムによる入力トルク検出アルゴリズムを構築し、実機実験により検証を行った。構築したアルゴリズムでは、速度制御器に基づいたパワーアシスト制御を構成することで、

安定したパワーアシスト制御を実現可能とした。

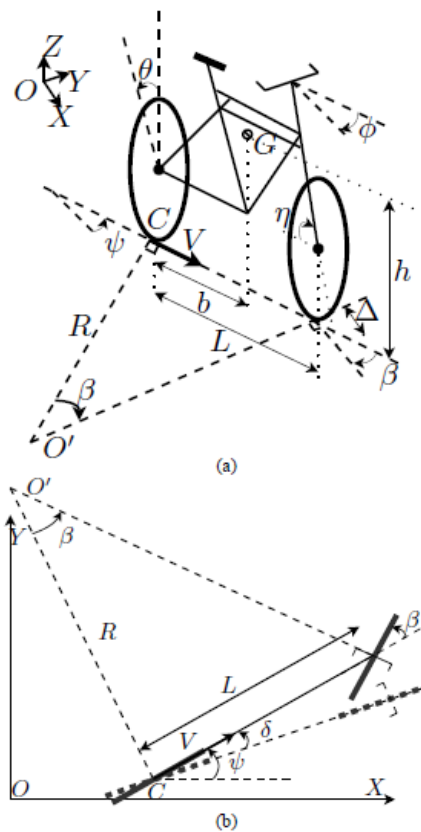


図3 自転車の幾何学的モデル
(a) 側面図, (b) 上面図

表1 図3におけるパラメータの意味

m	Bicycle mass
g	Gravity constant
L	Bicycle wheelbase
b	Horizontal distance between C and G
h	Height of mass center
Δ	Bicycle trail
η	Caster angle
R	Bicycle turning radius
I_h	Moment of inertia of front wheel part
I_z	Bicycle moment of inertia about z axis

4. 研究成果

上述した研究方法に基づいて、実機実験による評価を行った。姿勢安定化のためのパワーアシスト制御では、1.4km/hの低速度での安定化制御が実現可能であることを確認した(雑誌論文3で発表予定)。図4にその実験結果を示す。零速度での実験も行ったが、姿勢安定化は成功しなかった。これには、タイヤ等に含まれる非線形現象が大きく関係しており、自転車の姿勢安定化制御の課題として今後検討していく予定である。また、図5に示すように姿勢安定化制御に軌跡制御も融合した実験も行った。これからわかるように、姿勢安定化制御が所望軌道には大きく依存せず達成されていることが示されてお

り，提案する姿勢制御アルゴリズムは人が搭乗した場合の姿勢安定化のためのパワーアシスト制御としても有用であるといえる。

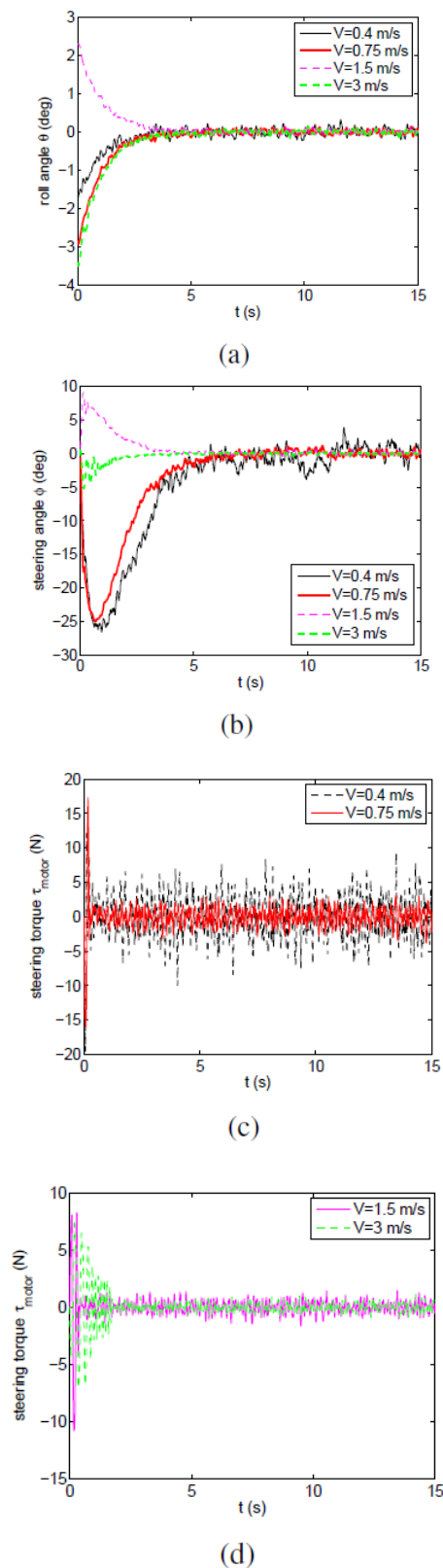


図4 姿勢安定化制御実験結果
(a)キャンバ角(ロール角)応答, (b)ステアリング角応答, (c),(d)ステアリング入力トルク

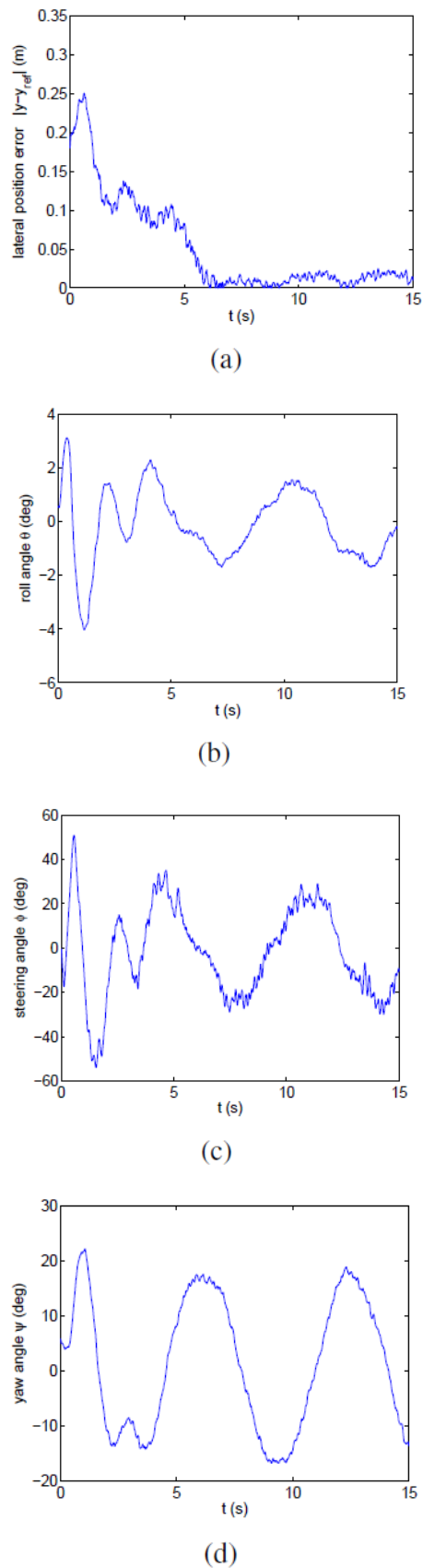
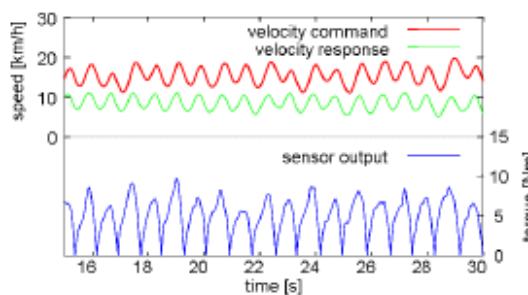


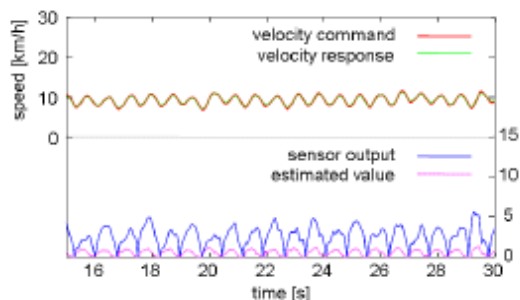
図5 軌跡制御実験結果
(a)横方向位置応答, (b)キャンバ角(ロール角)応答, (c)ステアリング角応答, (d)ヨー方向角応答

図 5 の軌跡追従制御では、直進方向に 0.75m/s の一定速度制御、横方向に振幅 20cm、周期 1Hz の正弦波状旋回位置指令を与えている。図 5(a)より、定常状態では横方向の位置誤差が十分に小さく抑えられている。

次に、走行時のペダル操作のパワーアシスト制御の検証実験を行った。構築したアルゴリズムにおいては、自転車搭乗者のペダルへの周期的なトルク入力特性に着目し、外乱切り分けアルゴリズムによる周期的なトルク入力の検出を行った。周期的なトルク入力検出可能であることは実機実験により実証した。また、この周期的なトルク推定値に基づいた速度制御型パワーアシストにより、環境外乱の変動に依存しないパワーアシストが実現できることを確認した。その実験結果を図 6 に示す。(a)の制御なしに比べ、(b)の提案手法の方が図の下方に示されるペダルトルク入力小さくなっており、適切な走行負荷に対するパワーアシスト制御が実現できていることがわかる。さらに、パワーアシスト比率の官能検査(3人の被検者)を実施し、提案手法により自転車走行負荷の低減が行えることを確認した。



(a) 制御なし



(b) 提案手法

図 6 パワーアシスト制御の実験結果

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 3 件)

- 山口高志, 柴田剛慶, 村上俊之, バックステッピングを用いた電動自転車の姿勢安定化制御, 74 巻 5 号, pp509-513, 2008, 査読有
- Y. Tanaka and T. Murakami, "A Study on

Straight Line Tracking and Posture Control in Electric Bicycle", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 56, No.1, pp159-168, 2009, 査読有

- Michael Defoort and Toshiyuki Murakami, "Sliding Mode Control scheme for an intelligent bicycle", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 掲載決定, 査読有
[学会発表] (計 4 件)

- Takashi Yamaguchi, Tuyoshi Shibata, Toshiyuki Murakami, "Self-Sustaining Approach of Electric Bicycle by Acceleration Control Based Backstepping", The 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON), Taipei, Taiwan, November 6, 2007
- 宮下雅樹, 村上俊之, "加速度制御に基づく一輪車の姿勢安定化制御", 平成 19 年電気学会産業応用部門大会, 大阪工業大学, 平成 19 年 8 月 21 日, 2007
- Michael Defoort and Toshiyuki Murakami, "Second order Sliding Mode Control with Disturbance Observer for bicycle stabilization", 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Acropolis Convention Center Nice, France, September 25, 2008
- Cihan Acar and Toshiyuki Murakami, "Underactuated Two-Wheeled Mobile Manipulator Control Using Nonlinear Backstepping Method", 34th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2008), Orlando, Florida, U.S.A, November 12, 2008

[その他] (計 3 件)

- 精密工学会掲載論文は研究奨励賞(2009 年 3 月)
- <http://www.physorg.com/news145018303.html> : 米国の科学ニュースサイト (2008 年 11 月 4 日掲載)
- <http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,588873,00.html> : Spiegel Online(ドイツの Web ニュース : 008 年 11 月 6 日掲載)
- 研究組織
 - 研究代表者
村上俊之 (MURAKAMI TOSHIYUKI)
慶應義塾大学・理工学部・教授
研究者番号 : 00255598
 - 研究分担者
該当なし
 - 連携研究者
該当なし