

## 審査の結果の要旨

氏名 王亚飞

本論文は、「Vision System-based Multi-rate State Estimation and Control for Electric Vehicles (ビジョンシステムを利用した電気自動車のマルチレート状態推定と制御)」と題し、電気自動車の高性能運動制御のための車体すべり角の推定と制御、ならびに、横方向状態推定との統合制御を扱ったものである。そのために、車両に搭載されたビジョンシステムと他の搭載センサ間のサンプリング周期のミスマッチ問題を解決し、これらの情報を有機的に統合するために、サンプル点間残差推定法を盛り込んだマルチレートカルマンフィルタを提案してその有効性を実証したもので、英文で記述された7章より構成されている。

第1章「Introduction」では、理論と応用の両側面から、本論文の背景と研究の動機を述べている。電気自動車の高性能運動制御を行うために、ビジョンシステムを利用する手法について、過去の研究を分析し概説している。車両に搭載したビジョンシステムを利用することによって車両運動の安全性を改善することができるが、他の車両搭載センサの情報との統合を行うためには、複数のサンプリングレートとむだ時間の問題をきちんと解決する必要があることを示し、そこに本論文の動機があることを述べ、章の最後には本論文の構成を示している。

第2章「Vehicle Lateral Dynamics and Vision System Modeling」においては、車両運動制御で広く使われている2輪車両モデルを紹介し、単純な幾何学的な関係に基づく運動学的ビジョンシステムのモデルを示している。次に、両者を結合した統合モデルを提案し、その提案モデルの適用可能性について述べている。

第3章「State Estimation and Motion Control for Electric Vehicles」では、2自由度制御や外乱オブザーバなどの制御方法と、カルマンフィルタのような状態推定法を紹介している。次に、フロントステアリングや左右輪のトルク差のように、異なった種類のアクチュエータを制御入力に用いて車両運動制御を行う方法について議論している。最後に、オブザーバに基づく運動制御の限界、たとえば、オブザーバ情報の更新速度が遅いと制御系の性能を悪化させることなどを指摘している。

第4章「Multi-rate Kalman Filter Design Considering Time Delay」では、2種類のむだ時間をもつ系における推定問題について述べている。すなわち、固定したむだ時間とランダムなむだ時間がある場合の、マルチレート推定法である。最初に離散化法を示し、マルチレート問題とむだ時間問題について、数学的な解析を与えている。次に、拡張系を

構成し、サンプル点間の残差推定法を用いたマルチレートカルマンフィルタを提案している。最後に、拡張系を用いる手法は、ランダムなむだ時間問題に適用するにはあまりに複雑になるため、残差推定法を用いる、また別のマルチレートカルマンフィルタを提案している。

第5章「**Vision-based Multi-rate Estimation for Vehicle Body Slip Angle Control**」では、まず、従来の車体すべり角推定に用いられてきたセンサ構成の問題（たとえば、ニュートラルステアでは系が不可観測になること、また多くの不確実性があること）を紹介し、第2章で示した車体すべり角モデルに基づき、これらの問題をもたない新しい方法を提案している。次に、マルチレートカルマンフィルタでの推定値をフィードバックに用いた車体スリップ角制御系を設計し、従来のシングルレート方式と比較しながら、シミュレーションと実験で提案法の有効性を検証している。

第6章「**Vision-based Multi-rate Estimation for Integrated Vehicle Lateral Control**」では、車体に搭載したビジョンシステムにおけるランダムなむだ問題について述べ、提案のマルチレートカルマンフィルタを、車体横方向位置の推定に適用している。次に、推定された車両位置を用い、車両のヨー運動と横方向の位置を同時に安定化する統合制御系を設計し、シングルレート制御系と比較しながら、シミュレーションと実験によってマルチレート位置推定器を、また、シミュレーションによって車両統合制御系の有効性を検証している。

第7章「**Conclusions and Future Works**」は結論であり、本論文の成果をまとめるとともに、将来の課題を示している。また、付録として、**Appendix A: Experimental Electrical Vehicle Introduction**（実験に用いた電気自動車の説明）、**Appendix B: Image Processing Techniques for Lane Detection**（レーン検出のための画像処理法）を加えている。

以上これを要するに、本論文は、車両に搭載されたビジョンシステムと他のセンサ情報を有機的に統合するため、マルチレート問題とむだ時間問題を、サンプル点間残差推定法によって解決したマルチレートカルマンフィルタを提案し、その基礎理論の構築とともに、シミュレーションと実験によって、電気自動車の高性能運動制御における有効性を実証したもので、電気工学、制御工学、自動車工学への貢献が少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。