

論文の内容の要旨

論文題目 Dynamic Force Distribution Control for Multi-Wheel-Driven Electric Vehicle Utilizing Actuator Redundancy (多輪独立駆動電気自動車の動的制駆動力配分制御)

氏名 賀 鵬

本学位論文は多輪独立駆動電気自動車の運動制御において、アクチュエータが有する冗長性を活用した動的制駆動力配分制御の確立を目指したものである。

本論文で研究した制駆動力配分制御は、いわゆる「Drive-By-Wire」技術の中心となるべき手法の一つといっても過言ではなく、これを基礎としてさまざまな車の運動制御法の開発を可能にする画期的な手法である。提案した制駆動力配分制御とは、車両走行中のタイヤの状態を時々刻々推定してモータの制駆動力を動的に適切に配分することによって、電気自動車の安全性と快適性を高めるという手法で、その有効性を理論、シミュレーション、および実車実験によって明らかにした。

多輪独立駆動電気自動車は、オーバーアクチュエーテッドシステム的一种である。なぜならば、基本的な機能、例えば制駆動だけを行うには必要でない余分な数のアクチュエータがあるからである。この冗長性を適切に利用することによって、オーバーアクチュエーテッドシステムとして従来にない新しい特長をもつ制御を実現することができる。

本論文では、まずこのような余分なアクチュエータの自由度を活かし、「Drive-By-Wire」の信頼性を増加させることを考える。次に、いくつかの目標、例えば、最適なタイヤ荷荷比、アクティブ・スリップ率比などを実現するために、アクチュエータの冗長な自由度を利用することを提案する。

このような、アクチュエータの冗長性を活かし、とくに制駆動力配分制御に積極的に応用する技術、さらにそれをシステムティックに考察した研究は今まで空白の状態といっても過言ではない。本論文は電気自動車の制駆動力配分制御の全容を俯瞰し、オリジナルな提案とそれに基づいた冗長性応用の理論と方法から実現までを広く扱い、具体的に多輪独立駆動電気自動車へ応用した有効性を明らかに示したものとして、新規性の高い研究である。

本論文の構成は、以下のようになっている。

第一章は序論で、様々な電気自動車における制駆動力配分と制御法について述べ、そして、それに関してオーバーアクチュエーテッドシステムの冗長性の応用法を考察して、本研究の位置付けを行っている。

第二章では、まず電気自動車の運動制御、制駆動力制御を紹介する。そして、多輪独立駆動電気自動車における制駆動力配分を例として、オーバーアクチュエーテッドシステムの冗長性応用の理論を導入する。

第三章では、オーバーアクチュエーテッドシステムを多輪独立駆動電気自動車へ応用するオリジナルな制駆動力配分制御法の提案を行う。この提案法を実現するために、まず基礎的な理論を構築し、実現アルゴリズムを開発する。また、後半(評価部分)においてその有効性を検討する。

第四章では、オーバーアクチュエーテッドシステムの制御における冗長性応用に関する理論や方法を詳しく論じる。主な三種類の方法 (Daisy Chain、Direct Optimal Inverse、Dynamic Optimum Method) をまとめている。

第五章では、最適制御理論を用いて実現できる冗長性応用に関するアルゴリズムの設計を論じる。動的逐次計画法 (DQP) を用いて冗長性制御の実現アルゴリズムを提案する。また、インホイールモータ電気自動車においてタイヤに発生する摩擦力の特徴を考え、2次非線形制約逐次計画法 (SQCQP) に基づくアルゴリズムも提案する。そして、従来の方法と比較し、提案法の優位性を示している。

第六章では、提案した冗長性を用いたコントロールシステムの安定性、ロバスト性について言及する。

第七章では、前章で提案したアルゴリズムを第三章に提案した制駆動力配分制御と組み合わせ、シミュレーションでその有効性を評価する。

第八、九章は提案法の評価に関する部分で、提案した手法を用いて実際の多輪独立駆動電気自動車へ応用した成果をまとめた。自動車メーカーが開発した電気自動車および研究室で開発した4輪独立駆動インホイール電気自動車を用いて駆動力配分制御の実験を行った。結果として、提案した方法が車の追従性と旋回特性などの運動特性を向上することを実証した。たとえば、冗長性を利用すれば、車のコーナリング性能が約30パーセント程度上回ることを示すことができた。

第十章では結論を述べると同時に、今後の研究課題についても詳述し、将来の研究指針を示している。付録として、実験装置の説明、および性能評価を行うために作成したシミュレーションツールの説明を補足している。

この論文で提案した制御例は、アクチュエータの冗長性を有する電気自動車への応用であり、そこでは大きな有効性を示すことができたが、同様の考え方を他のオーバーアクチュエーテッドシステムに拡張して応用することも可能であり、その意味で一般性、拡張性に優れた手法であるということができる。