

電気自動車における最大負荷率を抑制する タイヤ力配分とその応用制御手法に関する研究

学生証番号 47156073 氏名 下屋 直人
(指導教員 藤本 博志 准教授)

Key Words : electric vehicle, tire force distribution, maximum tire workload ,vehicle stability control

近年,地球温暖化や化石燃料枯渇などの環境問題への対策の一つとして,環境負荷の少ない電気自動車(Electric Vehicle : EV) が大きな注目を集めている。EV はモータを駆動力源に利用するため,内燃機関自動車と比較すると環境性能だけでなく運動性能に関しても様々な優位性を有する。そのため,モータによる広帯域な制御性能を利用して,フィードバック制御を用いたトラクション制御や安定化制御,姿勢制御などを行うことにより,安全性や乗り心地の向上といった付加価値を与えることができる。

EV はさらに,4つの車輪にインホイールモータを搭載し左右独立駆動や四輪独立駆動とすることで,制御入力自由度を増加させることができる。この利点に着目した研究は多くの研究機関において行われており,差動トルクを用いた横滑り角とヨーレート制御による車両安定化や,アンチダイブ力を利用した制振制御などの実車応用が期待されている。

しかし,車両の安定性は車両の状態量だけではなく,タイヤのグリップ力にも大きく依存する。これは,車両はどれか1輪でもタイヤの発生する力が限界グリップ力を超えてスリップすると,所望の駆動力と横力を出力できなくなり,これが横滑りを引き起こすためである。この現象を防止する手段の一つとして,タイヤの安定度に応じて駆動力と横力を各輪に適切に配分することが考えられる。これは,各輪の安定度のMinimax 問題を満たす駆動力・横力配分として扱うことができる。この駆動力・横力配分に着目した研究に関してもいくつかの手法が提案されており,代表的なものとして評価関数の二乗和最小化法による近似解法と反復計算による厳密解法が挙げられる。しかし,前者は評価関数の最大値ではなく平均値を最小化しているため,条件によっては厳密解から乖離し安定度が低下するという問題を有する。後者についても,この手法はMinimax 問題を満たす厳密解が得られる一方で,モータの数ミリ秒という応答速度の中で反復計算を用いることは解が実時間内で収束しない可能性がある。

そこで,本研究の前半では高速でMinimax 問題を満たす駆動力・横力を計算する手法としてEqualMagnitude Property (EMP) を用いた解法についての検討を行う。これは冗長な線形システムにおける無限大ノルム最小化の定理であり,これを利用することにより高速でMinimax 問題を解くことができる。この定理をEV の駆動力・横力配分問題に適用することにより,タイヤの負荷率やスリップ率の最大値を抑制し,車両安定性を向上できることを示す。

本研究の後半では,駆動力配分による安定性向上だけでなく,それに付随した様々な制御応用について検討する。まず始めに,左右輪の駆動力差によって車両重心点周りだけでなく操舵軸周りにもモーメントを発生させ,それだけで操舵可能であることを示す。これによって,インホイールモータを用いることでElectric Power Steering (EPS) がフェイルした場合でも,インホイールモータをEPS のバックアップシステムとして利用することができる。この事を実証するために,Model Predictive Control (MPC) を用いて走行軌道追従制御を行い,EPS がフェイルしてもインホイールモータを用いたヨーレート制御により旋回軌道に追従できることを示す。また,もう一つの手法として,適切に駆動力配分を行うことで,大負荷率に関与しない車輪には余剰に利用できる負荷率が生まれるため,これを使用することで車両の状態量を一つ多く制御することが可能であることを示す。このことを利用して,EPSと四輪独立駆動を用いたヨーレート・車両横滑り角の独立制御時においては,最大タイヤ負荷率を最小化する駆動力配分をするとともに余剰負荷率を用いてロール制御ができることを示す。これによって,車両の平面の運動と上下方向の運動,さらにタイヤの限界グリップ力を考慮した駆動力配分問題を統合し,同時に制御することができる。