

論文の内容の要旨

論文題目 電気自動車の人間親和型モーションコントロール

氏名 皆木 亮

本論文は、電気モータの優れた制御性を利用して、運転者と電気自動車の親和性を向上させる新しいモーション制御に関して論ずる。特に人間の感覚特性に基づくパワーアシスト手法と高精度な車両状態及び、路面状態推定法を取り入れ、一体感のあるマンーマシンインタフェースを実現する。

電気モータは、従来の内燃機関エンジン車と比較して、以下の理由により制御性に優れている。(1) トルク応答が2桁以上速い、(2) モータの電流を測定することにより、精確なトルクが検出できる。この2つの特徴を用いたオブザーバを設計することにより、電気モータを高性能なセンサとして利用し、高速かつ高精度な制御が可能となる。また、(3) 小型化が可能なため、インホイールモータとして各輪に分散配置し、駆動力差によって車両運動を制御することができる。これらの利点を有する電気モータをアクチュエータとして、電動パワーステアリングと電気自動車に搭載し、運転者の操作ミスを経減する操舵支援や高性能な路面状態推定に基づく車両運動安定化制御を実現する。

第1章は、研究背景と目的、自動車安全技術に関する先行研究に関して述べる。近年の自動車交通事故に関して調査したところ、交通事故による死亡者数や重傷者数は年々減少しているが、交通事故発生件数は減少傾向にない。また、交通事故の大半は、安全不確認や運転操作ミス等のヒューマンエラーに起因している。つまり、今後の自動車安全技術は人間のミスを的確に検出し、能動的に危険回避をアシストする手法が必要とされている。この課題に対し、本論文は、運転者と電気自動車の親和性を向上させることにより、運転者は操作ミスを認識し易くなり、かつ操作性の向上により、危険回避をアシストする制御手法を提案する。

第2章は、タイヤ力学と車両運動力学に関する基礎的な理論を展開し、能動的な操舵を支援するアクティブ前輪操舵(AFS)を適用した場合の車両運動制御について、シミュレーションを用いて、運動力学上の有効性を示す。しかしながら、AFSは運動力学上においては簡単に効果を説明できるが、運転操作と干渉するため、親和性が低下する。この操舵干渉を解決する非干渉化制御については第4章にて述べる。

第3章は、タイヤと路面間のグリップマージンを定量的に推定し、さらにタイヤグリップマージン(TGM)に基づきインホイールモータの制駆動力を制御することにより、車両運動を安定化する手法を提案する。これまでの研究は、タイヤと路面の摩擦係数 μ を推定する手法等が提案されてきたが、摩擦係数 μ は物理量ではないことから、タイヤのグリップマージンを定量的に推定することは困難であった。本論文は、タイヤの力学モデルを拡張し、電気モータによるタイヤと路面間の反力推定により、TGMの推定を可能とする。また、路面反力推定はステアリング機構のモデルを精度よく同定する必要があり、ハンドルを操作しながら最尤推定法に基づくモデル同定により実現している。

第4章は、ステアリング機構の運動方程式を導出し、運転者と電気自動車の親和性を向上させる人間親和型モーション制御を3つ提案する。(1) 操舵感度線形化制御、(2) ヨーレート線形化制御、(3) 操舵干渉の非干渉化制御。人間が与えた刺激強度に対して、感じた刺激の大きさの比を感度と定義し、一般的に人間の感度は非線形特性となる。操舵感度線形化制御は運転者の入力トルクに対して、感じる操舵反力を線形化するようにフィードフォワード(F_F)制御する。操舵感度の線形化により、重ね合わせの理が成り立ち、車両運動と一体感のある操作が可能となる。また、人間の前庭器(三半規管、耳石)は平衡感覚(回転加速度)を司る器官であり、自動車を運転する場合はハンドルを操作しながら、車両のヨーレート運動を制御している。そこで、操舵角からヨーレートの応答を線形化させる二自由度制御を提案する。フィードバック(F_B)制御は外乱に対するロバスト性を考慮し、F_F制御はヨーレート応答を線形化させる。ヨーレートの線形化により、運転者にとって操作し易い車両運動を提供する。

3つめは、運転操作とアクティブ前輪操舵(AFS)に生じる操舵干渉の低減化について提案する。運転操作ミスを検知し、AFSによる修正操舵支援が介入する際に、前輪が受ける路面反力が変化し、運転者へ予期できない反力が伝達され、運転操作を妨げる操舵干渉が生じる。本論文は前輪舵角に応じて、パワーアシストモータのアシスト量を制御する可変アシスト制御や路面反力推定に基づく操舵反力制御により、操舵干渉の非干渉化を提案する。

第5章は、これまで提案してきた制御手法を1組の遊星歯車と2つの電気モータを備えたステアリング機構により、実現する。遊星歯車の角度式とトルク式の関係から、1つの電気モータで制御できるのはトルクか角度のどちらか一方となる。そのため、2つの電気モータにより、前輪舵角と運転者の反力を同時に制御している。また、各モータの制御則を導き、ドライビングシミュレータ(DS)を製作する。DSはステアリング機構や電気モータはハードウェアとし、車両運動のみソフトウェアにより模擬し、パソコンモニタへ出力する。車両や路面状態に応じた路面反力は電気モータを介して、運転者へ伝達される。

第6章は、これまで提案してきた制御手法をシミュレーションやDSによる実験機で検証し、有効性を議論する。

第7章は、結論と今後の展望について述べる。

本論文は、電気モータの優れた制御性を利用することにより、精確な路面状態推定と人間の感覚特性に基づく親和型制御により、自動車安全の向上を目指した。電気モータとオブザーバにより、タイヤが路面から受ける反力を推定し、タイヤのグリップマージンが推定可能となる。また、タイヤグリップマージンに基づきインホイールモータの駆動力差を制御することにより、車両運動の安定化が可能となる。運転者の操舵感度を線形化することにより、車両運動と一体感のある操作が可能となり、操舵反力を介して、車両の横滑りを検知し易くなる。また、横滑り検知後に、ハンドルから少し手を離すと、路面反力の外乱感度が上がり、ハンドルを戻すように反力がフィードバックされ、横滑りを抑制する。操舵角からヨーレート応答を線形化することにより、運転者の車両操作性が向上し、修正操舵が軽減される。結果として、運転操作ミスが抑制されることが示唆された。アクティブ前輪操舵支援による操舵干渉においては、前輪舵角に基づきアシスト量を制御する可変アシスト比制御や路面反力推定に基づく操舵反力制御により、非干渉化が可能であることが実験により示された。