

氏名	溝尻 太一
所属	システムデザイン研究科 システムデザイン専攻
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	シス博 第93号
学位授与の日付	平成29年9月22日
課程・論文の別	学位規則第4条第1項該当
学位論文題名	適応スライディングモード制御の車両システムへの適用に関する研究
論文審査委員	主査 教授 森 泰親 委員 教授 児島 晃 委員 教授 増田 士朗 委員 教授 小口 俊樹

【論文の内容の要旨】

今日、自動車は我々の日々の暮らしや社会経済活動に欠かせない存在となっている。しかし、近年、自動車の普及に伴い交通事故の増加や大気汚染などの社会問題が深刻化している。そのため、省エネルギー・環境負荷低減を目的として、電気自動車の普及が進んでいる。また、安全対策に関する課題を克服するために、交通事故原因の大半を占める人的要因に起因する事故低減の打開策として自動運転技術が注目を集めている。自動車は、多様な交通条件、気象条件、地理的 条件の下で使用されるため、天候、路面状態、路面勾配、横風外乱、積載重量など、様々な不確かさに対してロバストなシステムを構成しなくてはならないという課題がある。本研究では、現在深刻な社会問題となっている交通事故および環境負荷を低減することを目的として、電気自動車への適用を想定した「未知の不確かさに対するロバスト性を保ちつつ滑らかに素早く省エネルギーで車両を制御する手法」を構築し、自動運転技術の適用範囲拡大を図る。この際、パラメータ変動や外乱、モデル化誤差などの不確かさに対してロバスト性が高い非線形制御手法として良く知られているスライディングモード制御を適用する。スライディングモード制御には、チャタリング現象と呼ばれる高周波振動や、初期状態からスライディングモードに至るまでの期間（到達モード）においてロバスト性が保証されないという問題があるため、実システム適用の阻害要因となっていた。また、参照軌道に追従するサーボ系において、動作中に周囲環境が変化して途中で目標位置を変更する必要性が生じた場合、滑らかさを損なわずに参照軌道を変更することは困難であった。これらの問題を解決するために、本論文では次に示す3つの手法を新たに提案している。

(i) 境界層幅適応則

(ii) 非線形切換え面および滑らかな参照軌道に沿って変化する線形時変切換え面

(iii) 参照軌道のオンライン誤差修正手法

本研究を通じて得られた結果を以下にまとめる.

第1章では, 本研究の位置づけと社会的意義および研究の技術的な背景と目的を述べる.

第2章では, 本研究で扱う制御対象と制御器の構成を説明する.

第3章では, 位置決め制御中に, 滑らかさを損なうことなく参照軌道を修正する手法を提案する. 先行研究では, 参照軌道の次数が低く滑らかさが十分ではない, 速度制御における参照軌道修正のみを扱っているなど, そのままでは位置決め制御の参照軌道の修正に適用できないという問題があった. 本研究では, 張らが提案した位置決め制御のための滑らかな軌道を任意の初期条件と終端条件に拡張することで, 躍度の微分の次元まで連続性が保たれる修正軌道を導出している. さらに, 数値シミュレーションを通して, 提案手法の有効性を示している.

第4章では, 非線型切換面(楕円切換面とLemniscate 切換面)と滑らかな参照軌道に沿って時間変化する線形時変切換面を提案する. 所望の切換面を持つスライディングモード制御則を導き, 制御則と閉ループ制御系の安定性を示している. 数値シミュレーションを通して, 楕円切換面を用いた提案手法が, ロバスト性を犠牲にすることなく, 従来の線形時不変切換面を用いた手法に比べて約26%誤差収束時間が改善され, エネルギー消費量を半減できることを示している.

第5章では, スライディングモード制御の最大の欠点であるチャタリング現象を抑止するために, 境界層幅適応則を提案する. 不確かさを含む2次システムに対して, モデル追従スライディングモード制御によるサーボ問題に適用している. 数値シミュレーションを通して, 提案手法が従来手法に比べて, 誤差収束時間を50から65%程度, エネルギー消費量を50から75%程度, 躍度の絶対値積分量を38から50%程度低減できることを示している.

第6章では, 楕円切換面を持つスライディングモード制御と境界層幅適応則を組み合わせた手法を車間制御問題に適用する. 先行車と自車間に他車両が割り込むシーンを想定したシミュレーションを通して, 提案手法が線形時不変切換面と一定の境界層を適用した従来手法と同等の誤差追従特性を実現しつつ, 従来手法に比べて滑らかに省エネルギーで動作することを示している.

第7章では, 車両前後方向制御にモデル追従スライディングモード制御を, 車両横方向制御に前方注視点距離を導入した厳密線形化手法を適用する. 車両前後方向制御と横方向制御を統合することで路面外乱に対してロバストな自動駐車システムを構築する. ここで,

車両前後方向制御には線形時不変切換面を持つスライディングモード制御と境界層幅適応則を組み合わせた手法を適用している。また、駐車目標位置検出誤差を考慮して、車両位置決め制御における参照軌道を走行中に滑らかさを損なうことなく修正する手法を適用している。路面勾配や段差を含む並列駐車シーンを想定したシミュレーションを通して、提案手法が従来手法に比べて路面外乱や目標駐車位置観測誤差に対するロバスト性が高いことを示している。

第8章は、本論文のまとめであり、本研究により得られた結果を用いることで自動運転システムの普及が促進され、現在深刻な社会問題となっている交通事故および環境負荷の低減が期待できることを述べている。