

【学位論文審査の要旨】

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反面、それらの普及に伴い大気汚染や交通事故増加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、運転者の操作ミスに起因する事故の低減策として自動運転技術の開発が注目を集めている。自動車は、多様な気象条件、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自動運転システムを構成しなくてはならない。

本論文では、電気自動車への適用を想定した「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、かつ、省エネルギーで車両を制御する手法」を構築することで、自動運転技術の適用範囲拡大を目指している。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している。

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り、これらが実システム適用への阻害となっていた。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到達目標位置を変更する必要がある場合、新しい到達目標位置に至る参照軌道となるように滑らかさを損なわずに修正することはこれまで困難であった。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た。

- (i) 境界層幅適応則
- (ii) 非線形切換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面
- (iii) 参照軌道の誤差修正手法

続いて、これらの手法を適用して自動運転システムを構築し、その有用性を評価した。

本研究で得られた成果を以下にまとめる。

(i) 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した。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た。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、誤差収束時間とエネルギー消費量を50%程度、躍度の絶対値積分量を40%程度低減できることを示した。

(ii) 到達モードが不要となる楕円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た。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常にロバスト性を保持した上で、従来の線形時不変切換面を用いた手法に比べて誤差収束時間を約26%改善するとともに、エネルギー消費量を半減できることを示した。

(iii) 参照軌道を動作中に修正する従来手法では、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の点から、このままでは本論文で扱っている車両位置決め制御の参照軌道修正に適用することができない。そこで、この手法を任意の初期条件と任意の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た。これにより、本論文で扱っている車両位置決め制御に適用可能とした。

上記の提案手法を車間制御システムおよび自動駐車システムに適用した。

まず、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した。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、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、かつ、省エネルギーで動作することを示した。

つぎに、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した。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た。また、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した。さらに、観測誤差を考慮して、車両停止目標位置に至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た。路面勾配や段差を有する駐車場での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観測誤差に対してロバスト性が高いことを示した。

以上のように本論文では、自動運転技術の適用範囲拡大を目指し、乗り心地や制御性能を犠牲にすることなく様々な不確かさに対してロバストな自動運転システムを構築した。本論文により得られた成果は、自動運転技術の発展に貢献するものであり、工学的に重要な意義を有する。よって博士（工学）の学位を授与するに十分な価値があるものと認められる。

（最終試験又は試験の結果）

本学の学位規定に従い、最終試験を行った。公開の席上で論文発表を行い、学内外の教員による質疑応答を行った。また、論文審査委員により本論文及び関連分野に関する試問を行った。これらの結果を総合的に審査した結果、専門科目についても十分な学力があるものと認め、合格と判断した。