

論文の概要

1 申請者

防衛大学校 渡辺 宗一郎

2 論文題目

実時間最適制御による移動物体の運動制御に関する研究

3 論文の概要 (博士: 400 字~2,000 字程度)

小型無人車両 (Micro Ground Vehicle: MGV) やドローンのような小型無人航空機 (Micro Aerial Vehicle: MAV) による物資輸送や危険地域の偵察, 自動運転車両による運転手のアシスト, 自動運転のタクシーやバスなど, 様々な分野において移動物体の無人化に関する取り組みが行われている. これらのシステムの実用化に向けては未だ発展段階の技術的課題も多く, 移動目的に応じて適切に運動を制御することは重要な機能の一つとして挙げられる.

移動物体を効率的に制御する方法として, 最適制御理論の活用が期待されている. この場合, 運用目的を最適制御問題の評価関数として設定し, 運動特性や様々な制約等を考慮して評価関数が最小となる最適な制御入力を決定的に決定することになる. 最適制御を移動物体の運動制御に応用した研究は多く, 古くには超音速機の上昇時間の最小化に関する研究が報告され, 以後は航空機, 宇宙機, 自動車, 二輪車, MGV, MAV など様々な移動物体に適用した研究が報告されている. 一方で制御系設計用のモデルと実制御対象との誤差が存在する場合の問題点も指摘されている. また移動開始前には予期できない障害物の発生など, 状況が変化する場合における対処も必要となる. そのような問題に対応しつつ, より効率的な移動を実現する方法として, 移動中にも最適制御問題を繰り返し解いて制御入力を逐次更新する実時間最適制御が考えられている.

従来の最適化の計算時間は移動物体の制御時間に対して長いため, 計算時間の高速化が望まれていた. モデル予測制御 (Model Predictive Control: MPC) は, サンプル間での制御入力を一定値とし, また最適制御問題の評価区間を有限として高速な最適化計算を実現している. 本手法はサンプル間での入力を時間に対して不変もしくは一定変化として考えるため, Sample and Hold 型の実時間最適制御と呼ばれる.

一方, 近年のコンピュータの演算能力や最適化アルゴリズムの向上に伴い, 最適化計算に要する時間は短くなってきている. 終端時間を自由とし, さらにサンプル間での入力値も時刻参照として考える最適制御問題を移動中に繰り返し解く実時間最適制御が現実的に可能となりつつある. Ross らはこの方法について Carathéodory- π 解を用いた理論解析を示した (以後は C- π 手法と呼称する.). Sample and Hold 型に対して, C- π 手法はサンプル間での制御入力を時刻参照にして適用するため Clock-Based 実時間最適制御と呼ばれている. さらにサンプルした状態から次のサンプル時刻における状態を予測し, それを初期条件として最適化計算を行う手法も提案されている (以後は PC- π 手法と呼称する.).

C- π 手法やPC- π 手法に関する研究の多くは数値シミュレーションのみであり、実験による有用性の検証は、地上において模型人工衛星の最短時間制御にC- π 手法を適用した研究のみである。いずれも、システムの特性に依存する安定性が保証されたサンプリング間隔内に最適化計算が終了する条件を設定している。そのため、実システムによる検証、もしくは厳密なシミュレーション環境による検証は行われていない現状があり、実システムへの適用の可能性や、適用した場合に発生する問題点については未知であった。そこで本研究では、上記の移動物体の中でも特にMGV及び一般車両を対象として、以下の課題について取り組みそれぞれにおいて成果を得た。

(1) Clock-Based 実時間最適制御をMGVに適用した研究は、C- π 手法についての数値シミュレーションによる検証のみである。しかし実機で運用する場合には、最適化計算において使用するモデルの誤差や、また小型であるという点から路面の起伏等の影響を受けやすいため、数値シミュレーションでは模擬できない不確定要素などが存在する。そこで、本研究ではC- π 手法及びPC- π 手法のそれぞれをMGVに適用した制御システムの設計及び実験環境の構築を行い、実機を用いた直線走行、S字走行、繰り返し走行、障害物回避走行における検証により適用可能性を示した。

(2) Clock-Based 実時間最適制御を一般車両に適用して検証を行った研究は報告されていない。そこで、本研究ではC- π 手法及びPC- π 手法のそれぞれを一般車両に適用した制御システムを設計し、さらにフルビークルモデルのシミュレーションソフトウェアを用いた数値シミュレーション環境を構築して、厳密なシミュレーション走行による検証を行った。本研究では、最適化計算には簡易なモデルを、運動計算にはフルビークルモデルのシミュレーションソフトウェアを用いたレーンチェンジ及び停止車両の回避走行の数値シミュレーションを行うことで適用可能性を示した。

(3) 実際の最適化計算の負荷を考慮してサンプリングタイムが長くなる場合を想定する必要がある。本研究では、C- π 手法やPC- π 手法の制御系において逐次生成される最適状態軌道に対する追従機構を組み込むことで、より安定性を保持できる制御アルゴリズムを提案し、それぞれの検証環境において有用性を確認した。MGV及び一般車両のそれぞれにおいて複数の走行パターンを想定し、サンプリングタイムが長くなる場合におけるC- π 手法及びPC- π 手法の問題点を示し、それに対して提案手法を用いる事で安定して制御できることを示した。

4 キーワード

「実時間最適制御」, 「MGV」, 「自動運転」, 「Clock-Based」, 「MPC」