氏　　名	伊多倉　京士朗
学位の種類	博　士（工学）
学位記番号	工博甲第４０８号
学位授与の日付	平成２８年３月２５日
学位授与の条件	学位規則第４条第１項該当
学位論文題目	ランダム探索に力学フィルタを融合させたリアルタイム障害物回避飛行誘導アルゴリズム
論文審査委員	主　査　　教　授　　米本　浩一
	教　授　　赤星　保浩
	准教授　　相良　慎一
	准教授　　浅海　賢一
	宇宙航空研究開発機構　石本　真二

学　位　論　文　内　容　の　要　旨

近年，無人航空機の研究開発が世界中で行われている．開発目的は，民間向けの農薬散布や軍事用の偵察機など多岐にわたる．また，学術目的としても盛んに開発が行われ，九州工業大学においても，宇宙探査と宇宙旅行を最終目標とする無人機開発プロジェクトを推進している．前者は，宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所（JAXA/ISAS）が主導している火星探査航空機の開発プロジェクトであり，後者は九州工業大学が主体となり産官学連携で研究開発を行う有翼ロケット実験機の開発プロジェクトである．これらのプロジェクトにおいて自律誘導システムの研究は，ミッションの成立性を左右する重要な研究課題と位置づけられている．本論文では，障害物が多数存在する複雑な飛行環境下において衝突回避を可能にする新しいリアルタイム誘導アルゴリズムの研究を行った．

本研究の独自性は，解軌道探索の高速性と機体固有の飛行性能を考慮した障害物回避性を併せ持つ新しい誘導アルゴリズムを構築したことにある．従来の誘導アルゴリズムでは，飛行距離や飛行時間の最小化を行うものが多く，最適化計算をする上で軌道計算の高速性が課題となっていた．また，高速に障害物回避経路が得られる経路探索手法では，機体の運動モデルを考慮しないために障害物回避性が保障されなかった．このように従来研究では，「力学的な正確さ」と「計算の高速化」のいずれかを満足するものが多い．そこで本研究では，飛行距離や飛行時間の最小化を特に追求しないという着想により，「力学的な正確さ」と「計算の高速化」を両立する手法を提案する．

本研究では，はじめにランダム探索と呼ばれる障害物回避経路を探索するアルゴリズムの構築を行い，計算シミュレーションによりアルゴリズムの確認を行った．経路探索

手法は多数存在するため, その中でも主な 3 種類の経路探索手法について計算シミュレーションにより特徴を比較した. その結果 RRT(Rapidly-Exploring Random Tree)には, 経路探索に失敗しにくく迂回路が得やすいなどの利点があり, 最も軌道プランナに適したアルゴリズムであることが分かった. そして, 基本的な RRT に新たに衝突回避, 二点間結合, 経路簡略化機能を付与し, 軌道プランナに適したアルゴリズムに改良した. 次に, 力学フィルタと呼ばれるランダム探索で得られた経路を飛行可能な軌道に変換するためのアルゴリズムを構築した. 力学フィルタは, 機体の運動方程式を解くことで解軌道のみならず, 新たにコマンドの時系列データを同時に生成可能とした. そして, 基礎的な軌道プランナとして, ランダム探索と力学フィルタを組み合わせた障害物回避誘導アルゴリズムを構築した. この基礎的な軌道プランナは, 初めにランダム探索で障害物回避経路を探索し, その経路情報に基づき力学フィルタ処理を行うが, 計算シミュレーションにより多くの課題が明らかとなった. 主な課題は, 力学フィルタ後の軌道に障害物回避性を保障できないことや, 誤誘導により目的地まで導く軌道を生成できない場合があるなどである.

そこで, これらの課題を克服する独自のアルゴリズムとして融合型軌道プランナの提案に至った. 融合型軌道プランナでは, ランダム探索に力学フィルタを融合し, モデルのダイナミクスを考慮しながらランダムに探索を進めることが可能となるため, 障害物を確実に回避する軌道探索が行える. また, 基礎的な軌道プランナでは不可能であった, 目標方位を満たす解軌道の生成を, ベジエ曲線による疑似軌道を用いることで実現した. 融合型軌道プランナの計算シミュレーションにより, 基礎的な軌道プランナで生じた全ての課題が克服されたことを確認した. そして, 同手法によって得られたコマンドを用いた 6 自由度の飛行シミュレーションを行った. 火星探査航空機と有翼ロケット実験機による飛行シミュレーションの結果より, 融合型軌道プランナによるリアルタイム軌道更新で, ミッションを達成できる飛行が行えることを確認した. さらに, 小型無人飛行機を用いたオンボードのリアルタイム誘導計算飛行実験を行った. 同実験では, 機体に搭載する誘導コンピュータに融合型軌道プランナを実装し, 飛行中に得られるデータから軌道計算を行った. その結果, 事前に設定した 3 種類全ての障害物パターンにおいて, いずれも良好な軌道計算が行えることを確認した. また, 全障害物パターンの軌道計算時間の平均は 0.31 秒であり, 融合型軌道プランナが極めて高速に解軌道を生成できるアルゴリズムであることも実証した. 以上より融合型軌道プランナは, 「力学的な正確さ」と「計算の高速化」を両立可能とする手法であることを示すことができた.

学 位 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

審査委員並びに公聴会出席者から本研究に関して, ランダム探索におけるパラメータの設定方法, 障害物との衝突判定方法, 外乱に対するアルゴリズムのロバスト性, リア

ルタイム誘導飛行実験時の不具合事象に対する対策など多数の質問がなされた．そのいずれにおいても申請者本人により速やかに適切な回答がなされた．

以上により，論文調査および最終試験の結果に基づき，審査委員会において慎重に審査した結果，本論文が，博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した．