

審査の結果の要旨

氏名 松野 賀宣

修士(工学)松野賀宣提出の論文は、「**Stochastic Optimal Control for Aircraft Conflict Resolution in the Presence of Uncertainty** (不確実環境下における航空機のコンフリクト回避のための確率的最適制御)」と題し、6章からなる。

近年、航空交通需要は増加の一途をたどり、現在の航空管制システムでは、航空管制官のワークロードの限界、安全性への脅威など様々な問題が世界的に顕在化しつつある。日本では航空管制システムの変革に向けた航空交通管理の長期ビジョン CARATS が策定されている。航空管制官のワークロードを軽減し、安全性を確保した上で交通容量の拡大を図るには、航空管制システムの自動化が不可欠となる。そこで本論文では、航空管制官の主な役割である、航空機間間隔が安全間隔を下回ることを意味するコンフリクトを検出し、またそれを回避する手法に関する研究を行っている。コンフリクト回避問題は主に最適制御問題として扱われ、既存の研究では、風などの飛行中の不確実環境を考慮しない決定論的手法が中心である。また、実環境を模した不確実性を確率的に考慮する確率論的手法は、運動モデルが複雑なため、モンテカルロ法などの統計的手法に限られている。本論文では、不確実環境下における最適なコンフリクト回避手法を実時間で求める手法を提案している。

第1章は序論であり、コンフリクト検出および回避に関する先行研究と課題についてまとめた上で、本研究の位置づけと目的を述べている。

第2章では、不確実性を考慮したコンフリクト検出手法を提案している。飛行中の主要な不確実性として、空間的に相関した風速誤差モデルを考慮し、カルーネン・レーベ展開により有限個の確率変数として表現することで、確率的な運動モデルを扱っている。そして、確率分布となる航空機間距離を多項式カオス展開により求めることで、コンフリクト検出を行っている。従来のモンテカルロ法に比べ、本提案手法は不確実性の定量化を効率良く行うことができる。

第3章では、確率的最適制御手法を提案している。決定論的最適制御手法として近年注目されている擬スペクトル法に、多項式カオス展開を適用することで、確率的要素の扱いを可能にしている。また、第2章で提案したコンフリク

ト検出手法を組み込み、コンフリクトを最適制御問題の制約条件として考慮することで、コンフリクト回避のための確率的最適制御手法を提案している。

第4章では、実時間でコンフリクト回避を行うための準最適制御手法を提案している。第3章で提案した確率的最適制御手法をもとに、多項式カオス展開とクリギングを組み合わせた多項式カオスクリギングを用いて、最適なコンフリクト回避軌道のサロゲートモデル（メタモデル、応答曲面）を構築している。サロゲートモデルを用いることで、実際に確率的最適制御問題を解くことなく、実時間で精度良い準最適なコンフリクト回避軌道を生成できる。また、第3章での提案手法が開ループ制御であるのに対して、本章で提案する準最適制御手法は閉ループ制御であることが特徴である。

第5章では、提案手法を航空機のコンフリクト検出および回避問題に適用し、その有効性を示している。まず、第2章で提案した手法と従来のモンテカルロ法を用いた手法を、コンフリクト検出問題に適用し比較することで、提案手法の有効性を検証している。提案する多項式カオス展開は、非常に少ないサンプル数で精度良く解を求めることができ、実時間でのコンフリクト検出が可能であることを示している。次に、第3章で提案した確率的最適制御手法を2つのコンフリクト回避問題に適用し、その有効性を明らかにしている。また、空間的に関連した風速誤差モデルと無関連のモデルを不確実要素として考慮し、それらがコンフリクト回避軌道に与える影響を定量的に評価している。より実環境に近い関連のあるモデルを用いることで、安全性を確保した上で航空機間隔を減少できることを示している。さらに、第4章で提案した実時間での準最適制御手法を、同一のコンフリクト回避問題に適用し、その有効性を評価している。オフラインで構築したサロゲートモデルから、準最適なコンフリクト回避軌道がオンラインで精度良く生成されており、提案手法を適用することで、計算コストが大幅に軽減されることが示されている。

第6章は結論であり、提案した確率的最適制御手法について得られた知見をまとめ、今後の課題を述べている。

以上要するに、本論文は、航空管制システムの変革に向け、航空機のコンフリクト回避のための確率的最適制御手法を新たに提案している。提案手法によれば、不確実環境下における最適なコンフリクト回避軌道を実時間で求めることができ、航空宇宙工学上貢献するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。