

審査の結果の要旨

氏名 廣川 類

修士(工学) 廣川類提出の論文は、「無人ビークルの GPS/INS 複合航法に関する研究」と題し、7章からなる。

無人車 (UGV, Unmanned Ground Vehicle) および無人航空機 (UAV, Unmanned Aerial Vehicle) に代表される無人ビークルにおいては、自律的な誘導やカメラ等のペイロードセンサによる有効的なデータの取得のために、位置、速度、姿勢角を高い精度で得ることが必要とされる。このため、慣性航法装置 (INS, Inertial Navigation System) で発生する誤差を GPS (Global Positioning System) で補完する GPS/INS 複合航法に関する研究が広く行われている。しかし、都市部等で GPS 電波が遮蔽される環境では搬送波位相 GPS における位相バイアス値 (アンビギュイティ) の高速決定が困難であり、また、搭載物の容積が限られている小型 UAV に小型の MEMS (Micro-Electro Mechanical Systems) 慣性センサを適用する場合、精度や可用性が悪いという問題点があった。さらに、可用性の悪化に対して、ローカルランドマークセンサを組み合わせる対策が考えられる。しかしこの場合、非線形性が大きく、非線形推定フィルタにおける線形化誤差により精度が低下する問題があった。加えて、高次の非線形推定フィルタに基づく従来の GPS/INS 複合航法は、搭載計算機能力が低い小型 UAV への実装が困難であった。本論文ではこれらの問題を踏まえ、GPS 電波の遮蔽に対するロバスト性を有し、高い位置・速度・姿勢角精度と可用性・信頼性を両立する GPS/INS 複合航法に関する研究を行っている。

第 1 章は序論であり、過去の研究事例と課題についてまとめた上で、本研究の位置づけを行っている。

第 2 章では、以降の各章に共通する事項として、無人ビークルのダイナミクスモデルの定義、GPS 観測モデル及び慣性センサ誤差の定義、そしてカルマンフィルタのモデル化を行っている。

第 3 章では、UGV において、可視 GPS 衛星が極端に少ない環境においても性能を改善するため、UGV のダイナミクスモデルと搬送波位相 GPS の観測モデルを密に結合し、さらにレーザスキャナを用いたローカルランドマークセン

サによる補完を行うタイトカップリング型搬送波位相 GPS/INS 複合航法に関する研究を行っている。提案手法の有効性は数値シミュレーションおよび実フィールド試験データの解析で確認され、従来手法に比べて性能が大幅に改善されたことが示されている。

第4章では、第3章で提案したローカルランドマークセンサによる補完を含む GPS/INS 複合航法内の拡張カルマンフィルタの線形化誤差を低減するために、UKF (Unscented Kalman Filter) の適用を提案している。線形性が高い GPS 観測量を用いる場合は UKF に性能上の優位性はないものの、非線形性が大きいローカルランドマーク観測量を用いる手法においては、UKF により計算精度が改善されることを、解析的検討、数値シミュレーションおよび実フィールド試験の解析で示している。

第5章では、小型 UAV に搭載可能な MEMS 慣性センサに基づく廉価な GPS/INS 複合航法に関し、高い姿勢角精度と可用性を両立することを目的として、複数のアンテナ間の干渉測位に基づくタイトカップリング型マルチアンテナ GPS/INS 複合航法を提案している。提案手法では、GPS/INS による推定値に基づき GPS 搬送波位相のアンビギュイティ探索空間を設定することで、アンビギュイティ探索を効率化し、信頼性を改善している。本章では、実際の GPS 受信モジュールを含むシミュレーションや地上試験、飛行試験を行い、精度、可用性および信頼性が大幅に改善されることを示している。

第6章では、小型 UAV に搭載する航法システムで課題となるカルマンフィルタの計算負荷低減を目的とし、低次元化手法について提案を行っている。姿勢系と速度系についてデカップリングを行い、GPS 速度のみを観測量とする二つの低次推定フィルタから GPS/INS 複合航法システムを構成することで、大幅な計算負荷軽減を実現している。また、シミュレーションや飛行試験による評価を行い、従来手法とほぼ同等な姿勢角精度が得られることを示している。

第7章は結論であり、提案した各種航法技術と得られた知見を可用性、精度および計算負荷の観点からまとめ、今後の課題を述べている。

以上、要するに、本論文は、GPS 電波の遮蔽等の可能性がある厳しい環境において高い可用性と精度を両立させることを目的とする複数のタイトカップリング型搬送波位相 GPS/INS 複合航法と、低い計算負荷で従来と同等の計算精度が得られる低次 GPS/INS 複合航法を提案している。また、解析、数値シミュレーションおよびフィールド試験を通じてそれらの有効性と適用範囲を検証しており、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。