

審査の結果の要旨

氏名 成岡 優

修士（工学） 成岡優提出の論文は、「システム同定による小型無人航空機の飛行特性の取得」と題し、7章からなる。

近年発展が著しい翼幅 1m、重量 1~2kg 程度の固定翼型の小型無人航空機（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）は高度な自律飛行性能が求められており、そのためには飛行中に飛行特性を定量的に推定されることが望ましい。一般の航空機においては、このような要求を満たす方法として、飛行ログを取得、解析するシステム同定という手法が確立されている。しかしながら小型 UAV は、一般の航空機に比べ次の2点でシステム同定を実施することが困難な状況にあった。第一に、飛行ログを取得するために必要な搭載機器の重量制限が厳しく、精度良く飛行ログを取得する手段が確立されていない。すなわち一般の航空機で用いられるような、高精度な観測機器を利用することができない。第二に、飛行ログの解析手法が確立されていない。これは小型 UAV が一般の航空機に比べはるかに小さく飛行速度が遅いことから、姿勢に代表される飛行状態が素早く変化し、また突風などといった外乱に乱されやすいことによる。本論文ではこれらの問題を踏まえ、小型 UAV のシステム同定による飛行特性取得法を確立すべく、精度の良い飛行ログ取得方法、および良い精度で飛行特性を得るための小型 UAV に適合した飛行ログ解析手法の2点を中心に研究を行っている。

第1章は序論であり、対象とした小型 UAV を示すとともに、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、一般の航空機におけるシステム同定の手順を3段階、すなわち数学的モデルの仮定、飛行ログの取得、および飛行ログの解析に大別してその概略を示し、以降の各章がこの手順に倣っていることを述べている。

第3章では、小型 UAV の数学的モデルとして、縦と横の運動に分かれた有次元安定微係数による微小擾乱方程式を導出し、飛行特性として推定されるべきパラメータは有次元安定微係数であることが述べられている。加えて簡易推算法、および風洞試験結果から、小型 UAV の大まかな飛行特性が把握されている。

第4章では、小型 UAV の飛行ログを精度良く取得する方法について議論がされている。ここでは低精度だが小型軽量の MEMS（Micro Electro Mechanical

Systems) センサによる慣性航法装置 (INS) と GPS 受信機を融合させた MEMS INS/GPS 複合航法装置、多孔ピトー管を用いたエアデータセンサ、操舵入力を記録するコマンドロガーの 3 つの構成要素からなるアビオニクスが、小型 UAV 用の飛行ログ取得のための機器として新たに提案されている。個々の構成要素は高精度な機器との比較試験によって十分な精度をもつことが示されているだけでなく、GPS アンテナの設置位置の工夫による高精度化など、様々な精度向上手法が提案されている。さらに、システム同定用の飛行ログ取得装置としてシステム全体においても十分な性能があることが、誤差をモデル化し擬似的に生成された飛行ログを解析した結果から示されている。

第 5 章では、既存の飛行ログ解析手法を小型 UAV の実機飛行ログに適用することで、その問題点が示されている。適用された手法は再帰的最小二乗法 (RLS)、フーリエ変換回帰 (FTR)、アンセンテッドカルマンフィルタ (UKF)、フィルタエラーメソッド (FEM) の 4 手法である。結果は推定された微係数自身に加え、その微係数が示す固有モードを用いて評価されており、RLS と FTR は実用性が乏しい、FEM は飛行ログの依存性が高く推定を失敗することがある、UKF は概ね良好であるが劣悪な飛行ログに対するロバスト性と計算量や設定すべき項目の多さなどで問題があることが述べられている。

第 6 章では、第 5 章をうけ、小型 UAV に適合した新たな飛行ログ解析手法の提案が行われている。これは離散ウェーブレット変換による多重解像度解析 (Multi Resolution Analysis, MRA) を利用した並行射影 (Parallel Projection, PP) によって、観測量から入力に相関する部分のみを取り出す PP-MRA 法と称する方法を核とするものである。PP-MRA 法に RLS を組み合わせた Wavelet Filtered Regression (WFR) という手法は、UKF に匹敵する良い精度の推定が可能であることに加え、劣悪な飛行ログに対するロバスト性や計算量の面で優れており、小型 UAV に最適な飛行ログ解析手法であることが述べられている。

第 7 章は結論であり、提案した飛行ログ取得手法、および解析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、重量制限の厳しい小型 UAV において精度良く飛行ログを取得する方法、および飛行が比較的不安定な小型 UAV に特化した飛行ログ解析手法を提案している。また主に実験的実証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。