

学位論文 博士 (工学)

外乱補償を考慮したマルチ UAV の制御と
協調搬送への応用



2020 年 2 月

慶應義塾大学大学院理工学研究科

小 谷 健 人

主 論 文 要 旨

No.1

報告番号	甲	第	号	氏 名	小谷 健人
主 論 文 題 名 :					
外乱補償を考慮したマルチ UAV の制御と協調搬送への応用					
(内容の要旨)					
本研究では、マルチ UAV (Unmanned Aerial Vehicle) に着目し、外乱が加わる状況下においても複数の UAV をロバストに協調フォーメーション飛行させる制御則を提案し、応用例として協調搬送手法に適用した。フォーメーションの形成と仮想リーダーへの追従手法として合意アルゴリズムを採用し、UAV に加わる外乱を補償する手法としてスライディングモード制御の一種である RISE (Robust Integral of Sign of the Error) に着目し、マルチエージェントシステムと合意アルゴリズムに適用した。提案する手法は、制御対象の正確なパラメータが未知でも実行可能である。RISE は非線形制御の一種であり、高いロバスト性を期待できる。応用事例として、搬送物をケーブルで懸架させて UAV に協調搬送させる手法に適用し、外乱を補償する制御アルゴリズムを提案した。適切な制御ゲイン等の条件について導出すると共に、実環境で安定かつ安全な協調搬送タスクを実現するため、衝突回避や搬送物の姿勢を安定化させる制御則も提案した。計算機を用いた数値シミュレーションおよび製作した実機実験装置を用いて実験を実施し、提案制御則の有用性と収束性解析の妥当性を確認した。 第1章では、本研究の背景と目的を概説した。第2章では本研究の理解に必要な合意アルゴリズムやスライディングモード制御等の基礎知識を説明した。 第3章では、本研究で用いる UAV のモデルについて説明した。特定の条件の下で3軸を線形化かつ非干渉化した。 第4章では、複数の UAV がフォーメーションを達成しつつ、外乱が加わる状況下で RISE を用いて外乱を補償する手法を提案し、主にリアプノフの安定定理を用いて収束性を証明した。シミュレーションによって、提案制御則の有用性と収束性の証明の妥当性および高いロバスト性を確認した。衝突回避には、ポテンシャル法を採用した。 第5章では、応用例として、UAV からケーブルで懸架した搬送物を任意の経路で搬送するための制御則を提案した。各 UAV は安定したタスクを実行するために仮想リーダーと搬送物の情報を直接取得する必要があるものの、UAV 同士は必ずしも互いが全て接続しあう必要はない。提案制御則には搬送物が地形や障害物との衝突を回避する手法や、搬送物の姿勢維持や全エージェントが搬送に寄与するための制御則を考慮した。搬送物の動的なモデルを導出し、数値シミュレーションを用いてこれらの提案制御則の有用性の検証と収束条件を示した。 第6章では、実際の UAV を複数同時に飛行可能な実験装置を製作し、特性について説明すると共に、4章と5章の提案制御則を実装して動作を実証した。実験装置はモーションキャプチャシステムと UAV を用いて構築した。また、UAV の応答特性を実測し、第3章で述べた UAV モデルとの整合性について確認した。 第7章では、結論として本研究の成果を要約し、将来的な課題について言及した。					

Thesis Abstract

No. _____

Registration Number	☒ "KOU" ☐ "OTSU" No. _____ *Office use only	Name	KOTANI, Kento
Thesis Title Control of Multi-UAV Considering Disturbance Compensation and Its Application to Cooperative Transport			
Thesis Summary In recent years, technological breakthroughs have led to the rapid development of unmanned aerial vehicle (UAV), especially multi-copter, which are rapidly penetrating into society. However, multi-copter is vulnerable to disturbances. This study focuses on multi-copter (UAV: Unmanned Aerial Vehicle) as a new method in the future, and proposes the control algorithm that transport payload with suspended by multi-UAV with cables. The proposed control method is set as the main axes of the method of forming a formation in UAVs and making it follow the virtual leader and the method of compensating for the disturbance expected in the real environment. Chapter 1 outlines the background and purpose of this thesis. Chapter 2 explains the basic knowledge such as consensus algorithm necessary to understand this study. Chapter 3 explains the UAV model used in this study. The three axes are linearized and decoupled under specific conditions. In Chapter 4, the proposed method is able to achieve formation in multi-UAV and compensate for disturbance using RISE (Robust Integral of Sign of the Error). Additionally, the convergence is demonstrated mainly using Lyapunov's stability theorem. The validity of convergence, high robustness and the usefulness of the proposed control method are confirmed by simulation. In Chapter 5, the control method to transport payload which suspended from multi-UAV with cables is proposed. UAVs do not necessarily have to be connected to each other. In order to achieve more stable tasks, the control method is considered for the payload to avoid collision with obstacles, for maintaining the attitude of the payload and for all agents to contribute to transportation. Also, the dynamical model is derived to simulate the payload. The validity of these proposed control methods and the convergence are verified by numerical simulation. In Chapter 6, the characteristics of the device for experiments are explained. The equipment was constructed using a motion capture system and UAVs, and is able to realize multi-UAV flight relatively easily. In addition, the consistency with the response characteristics of the UAV used in the experimental equipment and simulation model is confirmed. Finally, the usefulness of the proposed methods about the contents of chapters 4 and 5 are confirmed by experiments. The concluding remarks and future issues with proposed methods are stated in Chapter 7.			