

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------|----------|
| 氏 名 | 中村 吉一 | | |
| 授与した学位 | 博 士 | | |
| 専攻分野の名称 | 工 学 | | |
| 学位授与番号 | 博甲第 | 6 1 9 4 | 号 |
| 学位授与の日付 | 2 0 2 0 年 3 月 2 5 日 | | |
| 学位授与の要件 | 自然科学研究科 産業創成工学専攻 (学位規則第4条第1項該当) | | |
| 学位論文の題目 | 固定翼付きチルト型クワッドロータに関する研究 | | |
| 論文審査委員 | 教授 渡邊 桂吾 | 教授 見浪 護 | 教授 五福 明夫 |
| 学位論文内容の要旨 | | | |
| <p>本論文は固定翼付きチルト型クワッドロータを制御するための方策を提案するものである。近年，無人航空機(UAV)の活用が広がっている。特に災害現場の情報収集やインフラ点検のような危険な作業の代替および農業や物資輸送のような人手を要する作業の代替を目的として UAV は普及し始めている。この UAV は固定翼機と回転翼機に大別できる。固定翼機と回転翼機は用途により使い分けられるが，災害時には迅速かつ広範囲の情報収集を行うと共に限られたスペースで離着陸できることが望ましい。そのため両方の長所を兼ね備えたハイブリッド UAV に関する研究が注目されている。本論文では4つのロータを持つためホバリング時の安定性が高いという特徴を持つクワッドロータに着目した。また，効率的な水平飛行のため固定翼を搭載するが，揚力を得るには水平方向へ推力を発生させる必要がある。そのため，回転翼機であるクワッドロータで水平方向の推力を得るためチルトロータ機構を採用した。</p> <p>本論文で取り組む内容は固定翼とチルトロータ機構を有するクワッドロータの制御であり，ホバリングモードから水平飛行モードへ遷移することにより，回転翼機であるクワッドロータで効率的な水平飛行を実現することを目標とした。まずホバリングモード時には低速での飛行が主であるため，固定翼に揚力と抗力が発生しないものとして動力学モデルを導出した。しかし，固定翼付きチルト型クワッドロータは水平飛行時にロータの反トルクを打ち消すため，従来のクワッドロータとは各ロータの回転方向が異なっている。そこで，ホバリングモード時のヨー角制御はチルトロータを利用する制御方法を提案し，シミュレーションによりチルト角を変化させることでヨー角のみの制御を実現できることを確認した。またチルト機構を利用することで姿勢の変化を抑制できるため，前後方向の位置制御においてもチルトロータを利用する制御方法を提案した。そして，シミュレーションにより機体姿勢を変化させることなく前後方向の位置制御を実現できることを確認した。次に，垂直離着陸を行うためのホバリングモードから水平飛行へ効率的に移るための遷移飛行制御を行った。ただし，水平方向の速度が大きいと想定し，固定翼の揚力と抗力を考慮した動力学モデルを導出した。遷移飛行時に，ロータを傾けることにより，機体高度が低下することを避けるために，各ロータを段階的に傾ける方法を提案した。そして，シミュレーションにより機体高度の低下を抑えた遷移飛行を実現できることを確認した。また，水平飛行時に旋回動作を行い，横方向の位置制御ができることを示した。さらに，固定翼に発生する揚力を利用して水平飛行を行う場合と固定翼のないチルト型クワッドロータでロータを傾けることにより水平移動する場合とでシミュレーションによる比較実験を行った。その結果，固定翼がある場合にロータ回転数に基づく飛行効率が約 80%改善することを確認した。</p> | | | |

論文審査結果の要旨

近年、クワッドロータを始めとするマルチロータを有する回転翼型無人航空機は、VTOL飛行が可能なため災害現場の情報収集や各種産業への応用が大いに期待されている。しかし、固定翼型無人航空機に比べて長距離飛行に不向きで、しかもエネルギー効率も悪い。そこで、固定翼機と回転翼機を組み合わせる設計開発する、いわゆるハイブリッド型無人航空機の研究が注目されつつある。

本論文では、クワッドロータをベースとし、これに固定翼を搭載し、さらにロータをチルト化させることで、安定な遷移飛行とエネルギー効率の良い水平飛行の実現を目指した。まず、ホバリングモード時には、固定翼に揚力と抗力が発生しないものとして動力学モデルを導出した。そして、ホバリングモード時のヨー角制御はチルトロータを利用する制御方法を提案し、シミュレーションによりその実現を確認した。また、前後方向の位置制御においてもチルトロータを利用する制御方法を提案した。次に、固定翼の揚力と抗力を考慮した動力学モデルを導出し、垂直離着陸を行うためのホバリングモードから水平飛行へ効率的に移るための遷移飛行制御を行った。特に、ロータのチルト化により、機体高度が低下することを回避するために、各ロータを段階的に傾ける方法を提案し、シミュレーションにより機体高度の低下を抑えた遷移飛行が実現できることを確認した。さらに、チルトロータの利用による水平飛行時の旋回制御や固定翼に発生する揚力を利用する水平飛行と固定翼のないチルト型クワッドロータでロータのチルティングのみで水平飛行する場合の比較実験を行い、固定翼がある場合にはロータの回転数に基づく飛行効率が約80%改善することを明らかにした。

このように本研究は、回転翼機をベースとした固定翼付きチルト型クワッドロータに関して、ホバリング時の姿勢制御と位置制御法の導入、高度低下の少ない遷移飛行法の提案、さらに水平飛行時の旋回飛行と効率的な飛行が可能であることをシミュレーションで検証したものである。これらの成果はロボット工学、特に飛行ロボットの設計および制御技術の発展に寄与するものである。

本学位審査委員会は、学位論文の内容ならびに参考論文等を総合的に判断し、博士(工学)の学位に値するものと判断する。