

氏 名	易 示林
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 6 3 7 号
学位授与の日付	2 0 2 2 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	Modeling and Control of an Over-actuated Quadrotor Manipulator with Four Tilttable Rotors (4つの可変チルトロータを備えた過駆動クワッドロータマニピュレータのモデリングと制御)
論文審査委員	教授 渡邊 桂吾 教授 平田 健太郎 教授 神田 岳文
<b>学位論文内容の要旨</b>	
<p>The maturity of the development of unmanned aerial vehicles (UAVs) facilitated the emergence of unmanned aerial vehicle manipulators (UAVMs) in the past decade. UAVMs are new type of aerial robots, which combine a UAV and a manipulator or several manipulators together. The UAVMs can be applied in various tasks, such as grasping, transporting, positioning, inspection and maintenance in high altitude workspaces, hazardous environments and places that are difficult to access.</p> <p>However, most of the research groups develop the UAVMs based on the regular multirotor UAVs, such as quadrotors, hexarotors, and octorotors. The propellers or rotors of these UAVs are oriented to the same direction, which results in the property of underactuation. The position and orientation of these UAVs are coupled and cannot be controlled independently. In order to circumvent the drawback of underactuation, a quadrotor manipulator with four tilttable rotors is proposed in this research, i.e., the quadrotor is designed to be over-actuated. Thus, the position and orientation of the quadrotor can be controlled independently. Ultimately, the position and orientation of the end-effector of the manipulator can also be controlled independently.</p> <p>The dynamical model of the quadrotor manipulator is derived by applying the Euler-Lagrange method. Then, the dynamical mode is transformed into a state-space expression, which benefits the controller design. In order to validate the flight performance of the proposed quadrotor manipulator, both a stabilization problem and a trajectory tracking problem in 3D space are investigated. A computed torque controller (CTC) and a backstepping controller (BC) are proposed to be applied to the quadrotor manipulator. It is found that the quadrotor manipulator is capable of converging to the desired 6-DOF references under the control of both the CTC and the BC. Therefore, it can be concluded that the proposed quadrotor manipulator can achieve its goal of controlling the position and the orientation independently.</p> <p>External wind disturbances are inevitable in real applications. Therefore, robust control of the quadrotor manipulator in the presence of external wind disturbances is also investigated. A sliding mode control method has been recognized as one of the efficient approaches to design robust controllers. Two kinds of sliding mode controller are proposed to be applied to the quadrotor manipulator. One is called the integral backstepping sliding mode controller (IBSMC) and the other one is called the backstepping-based super-twisting sliding mode controller (BSTSMC). It is found that the BSTSMC is more robust than the IBSMC with respect to the external wind disturbances, through some simulations.</p>	

## 論文審査結果の要旨

近年、すべてのロータ軸が機体に固定された従来型のマルチロータ型の無人航空機（UAV）は、災害時の情報収集、インフラ点検など多くの分野で活躍している。しかし、機体の運動性をさらに上げるために、可変チルト型ロータを導入することで、並進運動と回転運動の6自由度を独立に制御する全駆動あるいは過駆動UAVの研究が活発化しつつある。また、従来型UAVにマニピュレータを搭載することで、より広範囲なタスクを扱える、いわゆるドローンマニピュレータの開発が注目されている。

本論文では、周知のクワッドロータに各1自由度可変チルト付きロータを配置し、機体の腹部に2自由度シリアルリンクマニピュレータを搭載することで手先の並進運動と回転運動の6自由度を同時に制御可能な過駆動クワッドロータマニピュレータの実現を目指した。まず、提案するクワッドロータマニピュレータを本体部と2つの剛体リンクのマニピュレータ部からなるマルチボディとみなし、ラグランジュ法に従って動力学モデルの導出を行った。また、フィードバック線形化制御法として、計算トルク法とバックステッピング法を導入し、数値シミュレーションによりそれらの有効性を確認した。さらに、風外乱下でのロバスト制御法として積分型バックステッピングスライディングモード制御とスーパーツイスティングスライディングモード制御を適用した。風外乱の抑制効果は両手法とも良好であるが、前者は操作入力においてチャタリング現象が現れるのに対して、後者はチャタリングもなく、実機応用に際しては有効な手法であることを数値シミュレーションにより検証した。

このように本研究は、1自由度可変チルトロータを4つ配置したクワッドロータに2自由度シリアルリンクマニピュレータを搭載したクワッドロータマニピュレータを提案し、そのモデリングとフィードバック線形化に基づく非線形制御法の導入、さらに風外乱下での頑健な積分型バックステッピングスライディングモード制御法とスーパーツイスティングスライディングモード制御法を提案し、それらの有効性をシミュレーションで検証したものである。これらの成果はメカトロニクス学、特にマルチロータ型UAV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。