

氏名	RYAN ARYA PRATAMA				
学位の種類	博士（工学）				
学位記番号	博甲第8078号				
学位授与年月日	平成29年3月24日				
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当				
審査研究科	システム情報工学研究科				
学位論文題目	State Estimation and Obstacle-free Navigation of a Small Air Robot from a Mobile Ground Base Equipped with a 3D Laser Scanner（三次元レーザセンサを備えた地上移動台車からの小型飛行ロボットの状態推定と障害物回避誘導）				
主査	筑波大学 教授	博士(工学)	大矢晃久		
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	河辺徹		
副査	筑波大学 准教授	博士(工学)	山口佳樹		
副査	筑波大学 教授	工学博士	坪内孝司		
副査	筑波大学 准教授	博士(工学)	伊達央		

## 論文の要旨

本研究では、近年設備点検用等で活発に研究されている小型の飛行ロボットが抱えている可搬重量の少なさに起因する低センシング能力の問題について、移動式の地上ロボットと協調したシステムにより解決する方法を提案している。能力は高いが重量のあるセンサや計算機を地上ロボットが持ち運びながら飛行ロボットと同時に移動し、飛行ロボットの軽量化を実現しようとしている。飛行ロボットの自己位置推定や障害物の検出と回避といった目的地までの誘導に必要なセンシング情報は、地上ロボットに搭載したセンサによって得ている。

具体的には、地上ロボットに搭載するセンサとして、広視野の三次元のレーザ距離センサを構築し、これから得られる三次元点群データを処理して、飛行ロボットの現在位置、姿勢と、周囲に存在する障害物情報を得ている。レーザセンサから得られる飛行ロボットの位置、姿勢情報には時間的な遅れが存在するため、これと飛行ロボットに搭載されている慣性計測センサの情報を融合して、レーザセンサの時間遅れと慣性センサのドリフト誤差を軽減する手法を提案している。

次に、こうして推定された飛行ロボットの位置、姿勢を利用して、ロボットをあらかじめ計画されたとおりに誘導する方式について述べている。本研究では、飛行ロボットと地上ロボットの動作の同期を取るために、計画すべき経路とスケジュールを、三次元空間内での位置と向きの情報に、その地点に到着すべき時刻を付加したウェイポイントの集まりとして定義している。次のウェイポイントに設定された時刻までに到着するための移動速度を計算し、二つのロボットに対して、その速度を目標値とした制御を実行することで全体の誘導が実現される。

次のウェイポイントまでの間に障害物が存在する場合には、その障害物を回避する経路を自動生成するとともに、その経路に沿って二台のロボットが奏功したときに、地上ロボットから飛行ロボット

を継続的に計測可能かどうか確認する。仮に、飛行ロボットが地上ロボットのセンサで計測できない位置になることが分かった場合には、常に視野が確保されるような経路に変更する。

実際に構築した三次元レーザ距離センサを地上ロボットに搭載し、飛行ロボットの位置姿勢の推定、その情報をもとにした飛行ロボットの制御実験を行って、本提案システムが正しく機能することを示している。また、地上ロボットと飛行ロボットが同時に移動する実験を行い、あらかじめ計画されたとおりに二つのロボットが動作することを確認している。さらに、計画された経路上に障害物がある場合の実験では、これを検出して回避する経路が生成され、修正された計画によってロボットが正しく誘導されることを示している。

本論文は全6章からなる。第1章では、本研究の背景と目的について述べている。第2章では、関連する研究についてとりあげ、本研究との違いを述べるとともに、本研究の立ち位置を明らかにしている。第3章では、本研究で対象としたロボットシステムのハードウェアについて述べている。第4章では、提案する飛行ロボットの状態推定手法を述べている。第5章では、飛行ロボットと地上ロボットの制御方法と目的地までの誘導方法について述べ、実験結果をもとに検証している。第6章はまとめであり、本研究を総括するとともに、本研究で提案する手法の限界と残された今後の課題について述べている。

## 審 査 の 要 旨

### 【批評】

本研究では、地上を移動するロボットとの協調により、センシング能力の低い小型の飛行ロボットを自律的に誘導する方式を新たに提案し、その有用性を実験的に示している。センサを含めたシステムの準備、アルゴリズム構築から実験まで、全てが著者自身の手によるものであり、これは著者の高い研究開発能力を示している。飛行ロボットの制御性能自体には改良の余地があるもの、重量物を地上ロボットに持たせることで小型の飛行ロボットが持つペイロードの問題を解決する一手法を提案しており、今後の小型飛行ロボットの普及に大きく貢献すると予想される。本方式では、飛行ロボットで一般的に利用されているGPSによる位置推定を用いていないため、屋内やトンネル等のGPS電波の届かないところでも問題なく使用可能であり、応用できる範囲も非常に広い。本研究で得られた成果は、今後利用が広まっていくであろう飛行ロボットによるインフラ点検の開発に貢献すると考えられ、ロボット工学分野の発展に大きく寄与しており、高く評価できる。

### 【最終試験の結果】

平成29年2月7日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

### 【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。