

令和 2 年 6 月 23 日現在

機関番号：17601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01300

研究課題名(和文) 自律UAV群による災害時の臨時ネットワークインフラ構築技術の確立

研究課題名(英文) Establishment of construction technologies for temporal network infrastructures at disaster with autonomous UAV's

研究代表者

横道 政裕 (Yokomichi, Masahiro)

宮崎大学・工学部・准教授

研究者番号：30274773

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：ロボット群の自律的な配置と展開の問題に対して、2次元平面上と3次元空間における分散的移動手法を提案した。さらに、局所的な通信のみの相互作用によって、モバイル・ネットワークを構築する分散制御手法の研究を行った。地理空間情報を元に構成した仮想環境内において、省エネルギー軌道の生成、自律飛行、およびモニタリングを可能とするシステムを提案し、ロバストな状態推定にもとづくトラッキング制御系の設計手法を提案した。UAVの制御アルゴリズムとして、幾何学的代数におけるMotorを基にした運動方程式の簡略化と、Lyapunov関数を用いた概大域的安定化制御則及びトラッキング制御則を導出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は複数台のUAVが効率的に協調動作を行うための基礎理論を構築するものであり、制御工学、ロボット工学分野への寄与は大きく、また、本研究の主用途である災害時のネットワークインフラの構築を含めて様々な分野への応用が期待される。

研究成果の概要(英文)：For the problem of autonomous placement and deployment of robots, we proposed a decentralized movement method on a two-dimensional plane and in a three-dimensional space. Furthermore, we researched a distributed control method for constructing a mobile network by interacting only with local communications.

We proposed a virtual environment which constructed with GIS (geometric Information System). It enables a planning energy saving trajectory by using DP (dynamic programming), and support of the autonomous flight control by utilizing the flexible viewpoint in the virtual environment around the UAV. A robust tracking control and state estimation system which is based on a guaranteed cost control is proposed.

We simplified the existing dynamic equation for rigid body based on the geometric algebra and proposed a stabilizing control law for fully actuated UAV.

研究分野：自律移動ロボットの経路計画と障害物回避

キーワード：UAV 分散システム 幾何学的代数

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

平成 23 年の東日本大震災、平成 27 年の東北、北関東地方における土砂災害など、本国では大規模な自然災害が発生しており、甚大な被害が発生している。また、それ以外にも、火山噴火や台風や集中豪雨による土砂崩れなども数多く発生している。これらの災害における被災地においては、陸路が寸断され、地上からの被災地への移動は困難であり、車両等のみでの捜索活動や救助活動は困難なものとなる。同時に被災地でのネットワークインフラの確保も容易ではない。

近年、被災地のモニタリングにドローン・クアッドロータ等の UAV を用いたシステムに関する研究・開発が行われており、実際、2013 年に米国コロラド州で発生した洪水において、Falcon と呼ばれるカメラを搭載した UAV が使用され、陸上の移動が困難な被災地に迅速に移動し画像を撮影することで、水没地域の迅速なマップ生成に活用された。しかしながら、実用化されているものを含めて、現在主に研究されているシステム構成は単独の UAV を使用し、飛行時に取得したセンサデータをオフラインで処理することが前提となっており、長時間の飛行が困難であることから継続的なモニタリングを行い、さらに広域環境における詳細な環境マップを短時間で生成することは困難である。

これらの問題を解決する一つの手法として、多数の UAV を被災地の上空で飛行させ、災害時のネットワークインフラとして使用し、さらに UAV に搭載したセンサによって被災地のモニタリングを行うことが考えられる。小型の UAV を多数使用することにより、低コストで迅速に広域のセンサデータを取得することが可能となる。さらに、UAV 間、サーバとの通信に無線ネットワークを使用し、それを臨時ネットワークインフラとして使用することも可能となる。このときに問題となるのが、UAV 群内での UAV 間の相対的な位置関係をどのように制御するか、つまりどのようなネットワークトポロジーを生成するか、ということである。このネットワークトポロジーは、UAV 群に課せられたタスクおよび、UAV のシステム構成(台数など)、そして環境の状況によって適切なものが異なるため、自律的、適応的かつ動的にネットワークトポロジーの制御を行う必要がある。さらに生成されたネットワークトポロジーを実現するためには、個々の UAV を大域的かつロバストに運動制御する必要がある。

申請者らはこれまでに飛行体を含む移動ロボットの軌道計画・運動制御(横道、業績 13,14 他)、群ロボットの協調行動(李、業績 4,5 他)、ロバスト制御理論とネットワーク制御システム(高橋、業績 1,15 他)について個別に研究に取り組んでいたが、共同研究に関する議論を進める中で、上記の問題点を認識し、さらに各自が研究してきた分野における手法を相互に利用、または統合することで、多数の UAV 群の制御における問題を解決できるのではないかという着想を得た。さらに、捕食、防衛など、集団で知的な行動を行う動物のコミュニケーションと行動をモデル化することで、高度なタスクを実行できる可能性について検討を開始している。

2. 研究の目的

本研究では、多数の UAV が相互に通信を行いながら自律的・適応的に安定した飛行を行い、さらに環境の変化・不確定性に対応可能かつ高度なタスクを実行する上で必要となる技術的・理論的課題のうち、以下のテーマに取り組む。

(1) 動物の社会行動モデルに基づく UAV 群のネットワークトポロジーの生成アルゴリズムの開発

UAV が構成するネットワークのトポロジーの基本的な生成指針としては、エリアの被覆率、消費エネルギー、通信コストなどが考えられるが、それらの指針やタスクとネットワークトポロジーとの対応関係は明らかでない。本テーマでは、子どもを守るための共同行動や肉食動物における捕食のためのコロニーの形成など、動物による知的な社会行動・個体群の空間的な形態生成をモデルとし、集団のタスク(利害)とコミュニケーション・ネットワークトポロジーとの関係を明らかにする。得られた関係を UAV 群のネットワークトポロジー生成アルゴリズムとして実装し、その有効性を検証する。

(2) 単体の UAV の動学的運動モデルの構築と安定化制御則の開発

クアッドロータ、ドローン等の UAV の運動モデルは、3 次元空間中の剛体の運動方程式であり、その制御においては、姿勢の特異性、大域的安定性の問題、そしてモデルの表現の複雑さなどが問題となる。この問題に対して、本研究では、姿勢と位置を同等に扱うことが可能な双対四元数、さらにその理論的なバックグラウンドである幾何学的代数を用いたモデリングを行い、安定化及びトラッキング制御を行う手法を開発する。さらにビジョンシステムと統合した手法を開発する。

(3) 実験による有効性の検証と改善

上記の研究で開発されたモデル・手法を検証するためのシミュレーションシステム並びに実機での実験環境を構築し、実証実験を行う。実験で得られた結果を基に、手法の検証・改善を行う。さらに、環境の不確定性や動的な変化に対する提案するモデルの有効性を評価する。

3. 研究の方法

本研究では、UAV 群による臨時ネットワークインフラの構築及び高度なタスクの実行を目的とし

て、(1) 動物の知的な社会行動モデルに基づいた UAV 群のタスク生成手法の開発、及び(2) UAV の運動制御手法の開発を行う。さらに、(3) 提案した手法の有効性を検証するために、シミュレーションおよび実機での実験を実施する。2017 年度に基本的な調査と解析を行い、シミュレーションシステムを構築する。2018 年度に制御アルゴリズムの開発、実験システムの構築、そしてシミュレーションと実験を実施し、実験で得られた結果に基づき、2019 年度にアルゴリズムの検証・改善を行う。

4 . 研究成果

ロボット群の自律的な配置と展開の問題に対して、2次元平面上では、 α -skeleton の計算法を用いた neighbor selection 手法と、inter-atomic force に基づいた正三角形の局所的相互作用手法が提案した。次に、3次元空間における未知環境に適応して群移動を可能とする分散的移動手法を提案した。さらに、局所的な通信のみを用いた相互作用によって、モバイル・ネットワークを構築する分散制御手法の研究を行った。

地理空間情報を元に構成した仮想環境内において、省エネルギー軌道の生成、自律飛行、およびモニタリングを可能とするシステムを提案した。また、ロバストな状態推定にもとづくトラッキング制御系の設計手法を提案した。

UAV の制御アルゴリズムとして、幾何学的代数における Motor を基にした統合型 Newton-Euler 型運動方程式の簡略化と、Lyapunov 関数を用いた全駆動型 UAV に対する概大域的安定化制御則及びトラッキング制御則の導出を行い、その有効性を検証した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Soe Soe Hlaing, Shu Takaira, and Geunho Lee
2. 発表標題 Communicative interaction scheme of mobile robot swarms
3. 学会等名 24th International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Geunho Lee, Nobuya Takahashi, and Masahiro Yokomichi
2. 発表標題 3D adaptive flocking rule for robot swarms
3. 学会等名 International Conference on Fuzzy Theory and Its Applications (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshihiko Harada, Nobuya Takahashi, Masahiro Yokomichi, Osamu Sato
2. 発表標題 UAV operation support system using GIS and virtual environment
3. 学会等名 24th International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yokomichi M., Takahashi N., Sato O
2. 発表標題 Modeling and Control Law Design for Rigid Body Dynamics by Conformal Geometric Algebra
3. 学会等名 57th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan, SICE 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Geunho Lee, Cornelis Francois van Eeden, Nobuya Takahashi, and Masahiro Yokomichi
2. 発表標題 Neighbor consensus based decentralized deployment for robot swarms
3. 学会等名 18th Int. Symp. Advanced Intelligent System (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 李根浩, 山本弘朗, 豊田彬敏
2. 発表標題 ねじの回転運動及び回転を直線的に変換した駆動メカニズムの研究開発とロボットチームへの応用
3. 学会等名 日本機械学会 九州支部第71期総会・講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M.Yokomichi, Y.Yamashita, N.Takahashi, and O.Sato
2. 発表標題 Controller design for quadrotor based on I/O linearization
3. 学会等名 23rd International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	高橋 伸弥 (Takahashi Nobuya) (20315352)	宮崎大学・工学部・助教 (17601)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	李 根浩 (Lee Geunho) (60595776)	宮崎大学・工学部・准教授 (17601)	