

令和 2 年 6 月 1 日現在

機関番号：82401

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K19972

研究課題名（和文）ドローン利用社会を実現する基盤技術の創出

研究課題名（英文）Development of fundamental technologies to realize a society using drones

研究代表者

浜中 雅俊（Hamanaka, Masatoshi）

国立研究開発法人理化学研究所・革新知能統合研究センター・チームリーダー

研究者番号：30451686

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,600,000円

研究成果の概要（和文）：ドローンのための3つの手法を構築した。ドローンの位置は全地球測位システム（GPS）で検出できる。しかしGPSは、山や建物の陰になる衛星からの信号を捕捉できない問題がある。そこで我々は、3D地形図を用いて構築した深層ネットワークを用いて飛行エリアを推定可能とした。これまで、多くの飛行経路設計法が提案されてきたが、飛行効率の問題に注目したものは少なかった。我々は、蟻コロニー最適化を用いて個々のパスを最適化し、粒子群最適化を用いてパスを接続するターミナルの位置を最適化する手法を構築した。ドローンの各アームに超音波センサーを設置し、反射波の強度の時系列的变化から着陸空間の状態を推定する手法を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ドローンを使用する上での問題は、安全性およびエネルギー効率をいかに高めるかである。GPSが使用できない場合における位置推定手法の構築および着陸地の状態把握システムは、ドローンの安全性を高め、経路最適化手法はドローンのエネルギー効率を高める。

研究成果の概要（英文）：We developed three methods or systems for drone as follows. The position of a drone can be detected by using the global positioning system (GPS). However, GPS sometimes has difficulty capturing signals from satellites that are shielded by mountains and/or buildings. As a solution, we propose a flight area estimation method using a 3D map created on the basis of deep learning. Many flight path designing methods have been proposed; however, none of them addresses the issue of flight efficiency. We optimize each path using ant colony optimization and optimize the position of the terminal connecting the paths using particle swarm optimization. We propose to install an ultrasonic sensor on each arm of the drone and estimate the condition of the landing space from the time series of reflected waves for very short ultrasonic waves. In the measurement results shows that, reflected waves were small and changed irregularly for each sensor where the space is not suitable for landing.

研究分野：ドローン，音楽情報処理，計算創薬

キーワード：ドローン GPS 飛行網 深層学習 蟻コロニー最適化 粒子群最適化 着陸実験 超音波センサ

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

ホビー用や産業用のドローンが発売されるようになったが、それらのドローンにはまだいくつもの問題が存在する。第一に、プロペラの回転で浮上する回転翼式ドローンは固定翼機に比べてエネルギー効率が悪い。第二に多くのドローンが飛行した場合に衝突の危険が高まり安全性が確保できない。第三に、ビルや山の谷間などではグローバル・ポジショニング・システム (GPS) 信号が遮断され飛行困難になる可能性がある。本申請による研究ではこれらの問題を解決するため、ドローンが安全・高効率に飛行するための社会インフラの構築を目指した。

### 2. 研究の目的

来るべきドローン前提社会に必要な基盤技術の構築を目的とした。特に、高速飛行が可能で、山岳地帯への配送や、災害時の状況確認による防災・減災などに有効なティルトウィングドローンの運用を想定して、必要となる技術の構築を行った。

(1) ドローン飛行網の構築： ドローンの飛行中に他のドローンと交差する可能性がある場合、道路交通法と同じように、左から進入してくるドローンが優先される。したがって、右側ドローンはホバリングして左からのドローンが通過するのを待つ必要がある。ドローンはホバリング中もエネルギーを消費し続けている。そこで、エネルギー効率が良く、かつ、ドローンの交差がなくなるよう管制するためのドローン飛行網を構築する。

(2) GPS によらない位置検出手法の構築： 従来のドローンでは GPS(グローバル・ポジショニング・システム)により位置検出が行われていたが、ビルの谷間や山岳地帯では、衛星からの GPS 信号の遮蔽や反射が生じ、正確な位置が求まらない場合があった。WiFi や携帯の電波を用いた Assisted GPS は都市部の地上付近では精度が高いが、山岳地帯では使用が困難である。準天頂衛星からの信号は山岳地帯でも有効であるが、GPS 信号も準天頂衛星からの信号も微弱であるために、妨害を受けると受信が困難になる。そこで、GPS によらず現在の飛行位置を推定する手法を構築する。

(3) 着陸システムの構築： 上空の気温が低い場合など、ドローンに搭載のリチウムイオンバッテリーは急激に残容量が低下する場合がある。着陸予定地点までバッテリーがもたない場合には、未知の地点に緊急着陸を試みる必要がある。ドローンは徐々に高度を下げて着陸するが、ドローン搭載のカメラの映像だけでは、細い木の枝や電線などを見落とし、接触により墜落する恐れがある。そこで、機体下方の状況を広く把握する手法を構築する。

### 3. 研究の方法

(1) 高効率なドローンハイウェイ網の構築： ドローンが高速・高エネルギー効率で飛行するためには、距離が短いこと、高度変化が少ないこと、直進性が高いことが重要である。これらを同時に成立させるような経路を探索する手法として本研究では蟻コロニー最適化 (ACO) と粒子群最適化 (PSO) という2つの手法を導入する。ACO を用いて、選択した1つのターミナルに接続されている各経路の最適化を行う。ACO は、フェロモンを使って蟻が効率的に巣から餌場まで移動しているしくみを確率モデルで表したものである。そして、PSO を用いて、選択したターミナルの位置の最適化を行う。PSO は、魚群において一匹が良い経路を見つけると、残りの群れがそれに倣うしくみをモデル化したものである。

(2) 地表形状に基づく位置推定手法の構築： 飛行エリアの推定は、衛星や航空機が取得した3次元地形図と、ドローンが取得する地表面の形状のパターンマッチングにより実現できる。このとき、航空レーザ測量に用いられる3次元 LiDAR を用いて3次元形状どうしのパターンマッチングを行ったほうが簡単な問題となるが、重量が重くドローンに搭載することは難しい。そこで、本研究では、近年自動車の自動運転などに使用させる小型軽量の2次元 LiDAR をドローンに搭載し、2次元の地表断面形状を取得する(図2)。衛星や航空機が取得した3次元地形図とドローンが取得した2次元の地表断面形状のパターンマッチングは、マッチング回数が膨大となり、リアルタイムで処理する

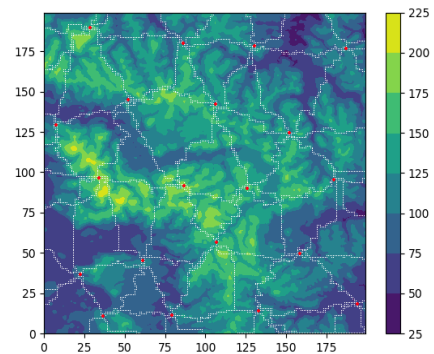


図1: ACO と PSO による最適化

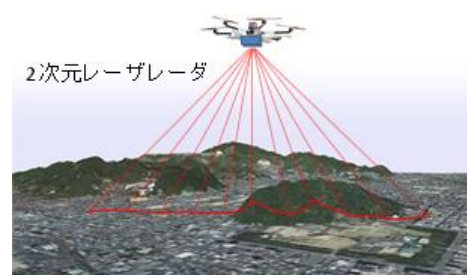


図2: 地上断面形状の取得

ことが困難である。そこで、我々は推定を行う飛行エリアを分割し、分割された各エリアにラベルを付けることで、位置推定の問題を 2 次元の地表断面形状からラベルを推定する機械学習の問題へ置き換える。これにより計算量を大幅に削減することが可能となる。機械学習するのはドローン飛行したときに取得する 2 次元の地表断面形状とドローンが飛行しているエリアのラベルであるが、それらは 3 次元地形図から作成される。3 次元地形図から取得できるデータの量は膨大であるために地表断面形状とそのエリアのラベルとの関係をサポートベクターマシン(SVM)のような手法で求めようとすると、多大な計算時間が必要となるだけでなく、データがメモリに載らず、計算することが困難となる。そこで我々は、機械学習手法としてディープラーニングを導入する。ディープラーニングは、学習データをミニバッチと呼ばれるグループに分割して学習することが可能であるため、多くのデータを用いて学習することが、SVM に比べて容易である。

### (3) 着陸実験装置の構築

超音波センサを用いてドローンの着陸地点の状態を検出するシステムを構築した。超音波センサの利点は、カメラやミリ波レーザー、LiDAR 等に比べてコストが低く、軽量である点である。しかし、通常の超音波センサでは最も近い物体までの距離しか測定できないため、着陸地点の状態を推定するには情報量が不十分である。そこで、ドローンの各アームに超音波センサを設置し、反射波の時系列的な変化から着陸地点の状態を推定することを可能とした。超音波センサは指向性があるが、ある程度の広がりを持つため様々な障害物に反射した超音波をとらえることで、特定の範囲の障害物をとらえることができる。着陸実験機を構築して実験した結果、着陸に適さない地点では各超音波センサからの反射波は小さく、かつ、不規則に変化した。一方、着陸に適した地点では、各センサからの反射波のピークが揃っていた。

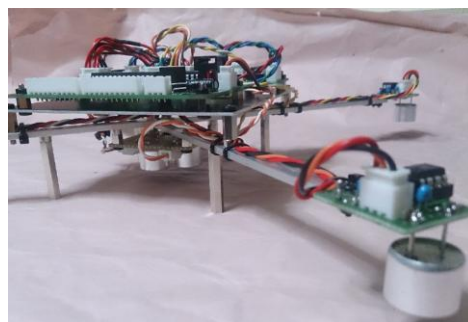


図 3: 着陸実験機

## 4. 研究成果

(1) エネルギー効率が向上: ACO と PSO を組み合わせた飛行網構築手法について評価実験を行ったところ、飛行効率が 15.6%向上することが確認された。

(2) ドローンの位置推定精度評価: 群馬県昭和村における 200 メートル四方を実験場所として、ドローン搭載の LiDAR を用いて 3 次元地形図を作成した。そして、その 3 次元地形図を用いて 2 万 7 千件の学習データを作成し、深層ネットワークの一つであるマルチレイヤーパーセプトロン (MLP) で学習を行い、学習データとは別の 3 千件の評価データで評価した結果、ドローンが取得した地表面ベクトルから 98.4%の精度でエリア推定が可能であることを確認した。

(3) 深層学習に基づく着陸可否判定: 深層学習を用いたシミュレーション実験の結果、着地に適しているかどうかを 98.5%の精度で判定することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 浜中雅俊	4. 巻 Vol. 42, No. 2
2. 論文標題 ライダー・人工知能・陸域観測技術に基づくドローンハイウェイ構想	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 OplusE（ライダー技術特集）	6. 最初と最後の頁 6 pages
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 浜中 雅俊	4. 巻 第2章4節
2. 論文標題 AI活用によるGPSによらないドローンの自律飛行システムの開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 人と共生するAI革命 ～活用事例からみる生活・産業・社会の未来展望～	6. 最初と最後の頁 8 pages
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Masatoshi Hamanaka, Fujio Nakano	4. 巻 1
2. 論文標題 Surface-Condition Detection System of Drone-Landing Space using Ultrasonic Waves and Deep Learning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of 2020 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS2020)	6. 最初と最後の頁 6 pages
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Masatoshi Hamanaka	4. 巻 1
2. 論文標題 Optimum Design for Drone Highway Network	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 2019 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS2019)	6. 最初と最後の頁 ThB4.1
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICUAS.2019.8798304	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Masatoshi Hamanaka	4. 巻 1
2. 論文標題 Deep Learning based Area Estimation for Unmanned Aircraft Systems using 3D Map	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS2018)	6. 最初と最後の頁 416-423
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICUAS.2018.8453463	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Masatoshi Hamanaka
2. 発表標題 Optimum Design for Drone Highway Network
3. 学会等名 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masatoshi Hamanaka
2. 発表標題 Deep Learning based Area Estimation for Unmanned Aircraft Systems using 3D Map
3. 学会等名 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浜中雅俊
2. 発表標題 ディープラーニングに基づくドローン飛行エリアの推定 II
3. 学会等名 人工知能学会全国大会第32回
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	中野 不二男  (Nakano Fujio)  (00595051)	京都大学・宇宙総合学研究ユニット・共同研究部門教員    (14301)	