

令和 2 年 5 月 20 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06485

研究課題名（和文）深層学習の特徴点抽出機能に基づく非人工環境下におけるロバストなSLAMの実現

研究課題名（英文）Realization of robust SLAM in non-artificial environment based on feature extraction function of deep learning

研究代表者

江丸 貴紀（EMARU, TAKANORI）

北海道大学・工学研究院・准教授

研究者番号：30440952

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）：本研究は農林業フィールドに代表される非人工環境において高精度な自己位置推定を行うために、深層学習によって自動的に抽出された特徴点を利用したロバストなSLAMの実現を目的としたものである。主な研究成果は以下の通りである：1)雑草・作物を識別方法するために、RGB、Depthに加え温度情報を加えたマルチモーダル深層学習システムを提案。2)深層学習に用いる大量のデータを効率的に取得するための画像処理を提案。3)圃場において低コストで自律走行可能なシステムを実現するために、安価なDepthセンサにより環境を認識し自律走行するシステムを構築し、シミュレーション並びに実機実験によって有効性を検証。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでSLAMに関する研究は屋内・屋外人工環境で行われており、農林業環境に代表される非人工環境下でロバストに実現することは未だ行われていないため学術的・社会的にも非常に意義のある研究である。本研究を遂行する上で重要な要素技術となっている作物・樹木の3次元座標獲得および特徴点抽出は、ロバストなSLAMを実現すると同時に除草・収穫作業を効率的に行うための重要な情報となり、高機能農林業機械開発の中核的な技術となり得る。また個々の作物・樹木の情報を含むロバストな地図情報は、センサネットワークやビックデータ解析と組み合わせることにより飛躍的に情報の質を向上させ、同時に生産性の大幅な向上が期待できる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research project is to realize robust SLAM using feature points which are automatically extracted by deep learning in order to perform highly accurate self-localization in a non-artificial environment represented by agriculture and forestry fields. The main research results are as follows: 1) To identify weeds and crops, we proposed a multi-modal deep learning system that utilizes temperature information in addition to RGB and Depth. 2) We proposed image processing algorithm to efficiently acquire a large amount of data used for deep learning. 3) In order to realize a system that can autonomously drive at low cost in the agriculture field, we constructed a system that recognizes the environment using an inexpensive Depth sensor and verified the effectiveness by simulation and actual machine experiments.

研究分野：ロボット工学

キーワード：SLAM

1. 研究開始当初の背景

我が国では、経済産業省が2015年1月に「ロボット新戦略」(ロボット革命実現会議とりまとめ)を公表し、ロボット革命の実現に向けた今後5ヶ年のアクションプランを発表している。本戦略に基づき、農林水産業分野では生産性向上・労働力確保につながるロボット技術の導入を着実に推進することが求められており、トラクターの自動走行[1]、畦畔除草ロボットなどが重点分野として挙げられている。TPPの批准など国際的な状況を踏まえると農業の機械化・自動化は喫緊の課題であり、効率的に機械化を実現するためには農地の大規模化は避けられない。その一方で農業では個人経営・家族経営の農業者が多く、そのコストを負担できない農家は存続に関わるという大きな問題がある。さらには傾斜地や水路などにより分断された圃場、さらには需要の面から大規模な作付面積が必要ない作物などもあり、この**小中規模の圃場に対するロボット化は進んでいないのが現状である**。また、林業の分野では伐倒・集材などの作業を効率的に行うための高性能林業機械の導入は進んでいるが、木材生産の中で最もコストが嵩む**育林初期の下草刈りに対応できるロボットの開発はほとんど進んでいない**。

このような状況で投入可能な機械・ロボットには**高い環境認識能力と自律性**が求められており、これを支える重要な基盤技術となるのが屋外環境におけるロボスタな移動性(mobility)を有するロボットシステムの開発である。ハードウェアの観点から見ると屋外環境で利用できる移動ロボットプラットフォームとしてAdept MobileRobots社のSeekur JrやDrRobot社のJaguar-4x4-wheelなどの開発が進んでいるが、自律的にロボットが移動するためにはソフトウェアの開発が重要である。特に移動性という観点からはロボットが環境地図作成と自己位置同定を自律的に行う機能を持たなければならない。**自己位置推定情報と地図情報を互いに確率的にフィードバックし、高精度な自己位置推定と地図作成を同時に行う手法はSLAM(Simultaneous Localization And Mapping)として知られており、ここ10年ほどで急速に研究が進んでいる**。比較的安価なレーザレンジセンサ(LRS)の普及により距離データを使ってマッチングを行う2次元SLAMの研究が飛躍的に進み、最近ではカメラによって抽出されたSIFTやSURFに代表される局所特徴量[2]を使って3次元マッチングを行うなど3次元地図構築に関する研究も盛んに行われており、屋内環境におけるSLAMの基礎的研究はほぼ達成されている。次の段階として、屋外環境におけるSLAMが着目されているが、つくばチャレンジや自動運転車のプロジェクトに代表されるように人工環境下における研究[3]がほとんどである。**農林業フィールドに代表される非人工環境下では、従来手法で特徴点として用いられてきたエッジが抽出できる壁や段差、道路に描かれた白線などが存在するとは限らず、また特徴点として利用できる可能性がある畝や樹木の情報も時々刻々と変化し得るため従来手法では特徴抽出が難しい**。そこで、**深層学習を利用して環境中から特徴点を自動的に抽出し、学習の汎化能力を利用することによってロボスタなSLAMを実現すること**を本プロジェクトの大きな課題とする。本プロジェクトによって得られる知見は、小中規模の圃場にも投入可能な高機能農業機械開発、育林初期の下草刈りをより効率的に遂行する高機能林業機械開発の中核的な技術となるものであり、喫緊に研究を推進する必要性がある。

2. 研究の目的

本研究では、明示的な特徴点が存在しない農林業のフィールドにおいて、深層学習を利用することにより特徴点を自動的に抽出し、その特徴点を有効に利用することによってロボスタなSLAM問題を解決するための手法を提案する。主な課題と目標は以下のとおりである。

課題1：林業環境における深層学習を用いた作物・雑草の認識。森林環境における環境地図生成に関する研究としては、レーザレンジセンサ(LRS)によって樹木の生産管理に必要な胸高直径を含む環境地図構築手法が提案されている[4]。しかしながら、林業において除草作業が必要になるのは樹木の高さが雑草よりも低い期間に限られ、樹種にもよるが植林後10年程度の期間である。この間の樹高は30m~150cm程度であり、LRSによって樹幹を認識することは大変困難である。北海道にフィールドを限定した場合、人工林で育林される樹木は針葉樹である椴松(トドマツ)、赤蝦夷松、唐松の3種類が90%以上を占めており[5]、人間による識別は比較的容易である。そこで、まず北海道の林業に応用可能な識別システムの実現を目指し、これら3種類の樹木を**深層学習ベースの画像処理によってロボスタに識別するシステムの実現**

を目指す。

課題2：農業環境における深層学習を用いた作物・雑草の認識。ある健康補助食品の原材料として利用される生薬は、その利用目的から可能な限り農薬を使わないことが求められるが大規模な作付面積は必要ないため大型機械の導入コスト的に難しい。そのため現在は1年に2回程度、生薬によっては10回程度、人手による除草を行っている。農地によっては作物と雑草の科目が同じであり、その場合には生育初期の識別が特に非常に難しいため熟練者による作業が必須である。これを機械化するためには作物と雑草の識別が大きな課題となるため、**熟練者が持つスキルを深層学習に反映させる全く新しい枠組み**によって認識精度の大幅な向上を目指す。

課題3：深層学習によって自動抽出された作物を特徴点とし SLAM を実現する。課題1・2で構築する農林業環境におけるロバストな対象作物認識システムに基づき、これを特徴点として利用する新しい3次元SLAMを提案する。農業環境ではGPSや畝の情報を用いることによって比較的高精度な自己位置同定[1]が行われているが、たとえば高度な除草作業を実現するためには絶対的な位置精度ではなく**作物や雑草に対する相対的な位置精度を向上させる**必要があり、我々が提案する個々の作物の位置情報を用いることによって格段に有意義・高精度なSLAMが実現できる。また、傾斜地への対応や雑草作業を実現するためには3次元SLAMの実現は必須の要素技術であり、ステレオカメラを用いることにより対象作物・樹木の3次元座標の同定手法を構築する。

なお、これまでSLAMに関する研究は屋内・屋外人工環境で行われており、農林業環境に代表される**非人工環境下でロバストに実現**することは未だ行われていないため非常に特色のある研究であろう。本研究を遂行する上で農林業環境における**作物・樹木の3次元座標獲得および特徴点抽出**が重要な要素技術となる。この技術はロバストなSLAMを実現すると同時に除草・収穫作業を効率的に行うための重要な情報となり、高機能農林業機械開発の中核的な技術となり得る。また個々の作物・樹木の情報を含む経年変化に対してロバストな地図情報は、農林水産省が推進するスマート農業の成果として期待されるセンサネットワークやビッグデータ解析と組み合わせることにより飛躍的に情報の質を向上させ、同時に生産性の大幅な向上が期待できる。

References:

- [1] Bergerman, M., Maeta, S.M., Kantor, G., et al., Robot Farmers: Autonomous Orchard Vehicles Help Tree Fruit Production, IEEE Robotics & Automation Magazine, Vol.22, No.1, pp.54-63, 2015.
- [2] Rublee, E., Rabaud, V., Konolige, K., Bradski, G., ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF, IEEE International Conference on Computer Vision, 2011.
- [3] Yoshida, T., Irie, K., Koyanagi, E., Tomono, M., A sensor platform for outdoor navigation using gyro-assisted odometry and roundly-swinging 3D laser scanner, in Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1414-1420, 2010.
- [4] Tsubouchi, T., et al. Forest 3D Mapping and Tree Sizes Measurement for Forest Management based on Sensing Technology for Mobile Robots, Field and Service Robotics, Vol.92, pp.357-368, 2014.
- [5] 平成26年度北海道林業統計，北海道水産林務部，May 2016.

3．研究の方法

農林業環境における作物・雑草の認識を行うために実際のフィールドで画像データを取得し、この分野で一般的に用いられている深層学習エンジンを利用することにより認識を実現する(課題1・2)。次にこのシステムによって認識された作物・樹木を特徴点としたSLAMを実現するために、ステレオカメラによる特徴点の3次元座標の同定手法を構築する(課題3)。これまで我々が行ってきた屋内SLAMの知見を生かすとともに課題1・2で得られた屋外環境特有の難しさを反映させることで効率的に研究を推進する。課題3の研究成果を実際の農林業機械に実装するためには季節や環境の経年変化に対するロバスト性を持たせることが必須である。そこで、複数センサによるマルチモーダル認識や事前知識を内包した認識を実現する。

4. 研究成果

本研究は農林業が行われているフィールドに代表される非人工環境において高精度な自己位置推定を行うために、深層学習によって自動的に抽出された特徴点を利用したロバストな SLAM の実現を目的としたものである。これまでの研究で屋内環境における SLAM の基礎的研究はほぼ達成されており、現在は自動運転車に代表される屋外における SLAM 研究が盛んである。しかしながら屋外環境には自動車が走行するような人工環境だけではなく農林業を行うような非人工環境も存在しており、非人工環境を対象とした SLAM に関する研究はほとんど無い。そこで、本提案では深層学習を用いたマルチモーダル認識と熟練者のスキルを深層学習に組み込むという新しい手法によって非人工環境におけるロバストな SLAM を実現することを目的としている。

平成 29 年度は農業・林業環境において深層学習を利用することにより作物・雑草の認識を行い、特徴点を自動的に抽出することを目的に研究を実施した。単なる画像処理の観点からのみではなく、様々なセンサや定量化された熟練者のスキルを利用したマルチモーダル認識を行うことにより認識精度を向上させることを試みた。これらの目的を達成するため、以下に示す 2 つの課題に分割して研究を実施することにより成果を得た：

成果 1：林業環境における深層学習を用いた作物・雑草の認識。実際の育林環境でデータを取得し深層学習による認識を行うことにより、針葉樹を対象に認識手法を確立した。

成果 2：農業環境における深層学習を用いた作物・雑草の認識。林業環境における認識システム開発と同様の手順で研究を推進したが、作物と雑草の科目が同じ場合にはこれまで提案されてきた一般的な深層学習の枠組みだけでは認識が大変困難であることが明らかになった。そこで熟練者のスキルを深層学習に組み込むという全く新しい発想で問題解決を図ることを提案し、そのための実験解析を行った。

以上の成果を踏まえ、平成 30 年度は以下の課題について研究を実施し成果を得た：

成果 3：農業環境における類似した植物・雑草の識別。従来の深層学習では識別が困難であった、非常に良く似た植物・雑草に対するロバスト画像認識システムを構築した。具体的な識別対象として、はと麦とヒエを対象として検出・識別を試みた。深層学習の前処理として k-means 法、あるいは RGB-D データ形式の深度情報を利用することによってセグメンテーション処理を行った結果、従来よりも高い精度で識別できることを明らかにした。

成果 4：作物検出を目的とした深層学習のためのデータセット自動生成。深層学習を行うに当たって、質の良い教師データを低コストで作製することは大きな問題である。そこで、クラスタリング技術と最大安定領域 (MSER) 法を利用することによって画像データからデータセットを自動的に作成する手法を提案した。

平成 29 年度、平成 30 年度の成果を踏まえ、最終年度は以下の課題について研究を実施すると同時に研究成果についてまとめを行った：

成果 5：マルチモーダル深層学習アルゴリズムの提案。雑草・作物の識別方法について、RGB (画像情報)、Depth (奥行き情報) に加えサーマル情報 (熱情報) を加えたマルチモーダル深層学習システムを提案し、その有効性について実際に圃場で取得したデータを用いて検証することにより有効性を確認した。

成果 6：自律走行プラットフォームの構築。圃場において低コストで自律走行可能なシステムを実現するために、安価な Depth センサによって環境を認識するアルゴリズムを構築し、シミュレーション並びに実環境における実機実験によって検証を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3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 Sarun Chattunyakit, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru, and Ankit A. Ravankar	4. 巻 9(4)
2. 論文標題 Bio-Inspired Structure and Behavior of Self-Recovery Quadruped Robot with a Limited Number of Functional Legs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 799
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/app9040799	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 Abhijeet Ravankar, Ankit A Ravankar, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru	4. 巻 17(8)
2. 論文標題 Hitchhiking Robots: A Collaborative Approach for Efficient Multi-Robot Navigation in Indoor Environments	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 1878
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s17081878	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 Abhijeet Ravankar, Ankit A Ravankar, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru	4. 巻 17(7)
2. 論文標題 Symbiotic Navigation in Multi-Robot Systems with Remote Obstacle Knowledge Sharing	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 1581
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s17071581	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39件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 15件）

1. 発表者名 Takaki Ueno, Masaru Sakuma, Seiko Piotr Yamaguchi, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru, Ankit Ravankar
2. 発表標題 Development of Port Facilities Inspection Robot Using Multi-copter
3. 学会等名 第36回日本ロボット学会学術講演会（RSJ2018）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sirawich Vachmanus, Takanori Emaru, Ankit Ravankar, Yukinori Kobayashi
2. 発表標題 Road Detection in Snowy Forest Environment using RGB Camera
3. 学会等名 第36回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Zhaoyu Pan, Takanori Emaru, Ankit Ravankar, Yukinori Kobayashi
2. 発表標題 Applying Semantic Segmentation to Autonomous Cars in the Snowy Environment
3. 学会等名 第36回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小野 俊太郎, 小林 幸徳, 山本 克也, ゴータムアビシェク, 江丸 貴紀, ラワンカルアンキット
2. 発表標題 構体と内装の二重シェル構造を有する鉄道車体モデルの音響解析
3. 学会等名 Dynamics and Design Conference 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Seiko P. Yamaguchi, Masaru Sakuma, Takaki Ueno, Filip Karolonek, Tadeusz Uhl, Ankit A. Ravankar, Takanori Emaru, Yukinori Kobayashi
2. 発表標題 Aerial Robot Model based design and verification of the single and multi-agent inspection application development
3. 学会等名 The 14th International Conference on Motion and Vibration (MOVIC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Ashish Gupta, Y. Kobayashi, T. Emaru, A. Ravankar
2 . 発表標題 Bending Vibration Suppression of a Single Shell Structure for Railway Car body Using Piezoelectric Elements
3 . 学会等名 The 14th International Conference on Motion and Vibration (MOVIC2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Ankit A. Ravankar Abhijeet Ravankar, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru
2 . 発表標題 Semantic Navigation for Indoor Service Robots
3 . 学会等名 2018 JSME Conference on Robotics and Mechatronics (ROBOMECH 2018)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Abhijeet Ravankar, Ankit A. Ravankar, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru
2 . 発表標題 Real-time path smoothing for mobile robots in 2D and 3D environments
3 . 学会等名 2018 JSME Conference on Robotics and Mechatronics (ROBOMECH 2018)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Ankit A. Ravankar, Abhijeet Ravankar, Chao-Chung Peng, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru
2 . 発表標題 Task coordination for Multiple Mobile Robots considering Semantic and Topological Information
3 . 学会等名 2018 International Conference on Applied System Innovation (ICASI) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 Abhijeet Ravankar, Ankit A. Ravankar, Chao-Chung Peng, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru
2. 発表標題 Real-Time Multi-Robot Path Planning Revisited as a Caching Problem
3. 学会等名 2018 International Conference on Applied System Innovation (ICASI) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小保内 弘毅, 江丸貴紀, Ankit RAVANKAR, 小林幸徳
2. 発表標題 障害物とロボットの最小旋回半径を考慮したCoverage Pathの最適化
3. 学会等名 第61回自動制御連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 影山藍, 江丸貴紀, Ankit Ravankar, 小林幸徳
2. 発表標題 深層学習を用いた農作物の自動検出における教師データ画像の加工
3. 学会等名 第61回自動制御連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長井一弘, 江丸貴紀, Ankit Ravankar, 小林幸徳
2. 発表標題 林業フィールドにおける自己位置推定を目的としたシステムの構築
3. 学会等名 第31回自律分散システム・シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 リホウショウ, 江丸貴紀, Ankit Ravankar, 小林幸徳
2. 発表標題 Development of robust SLAM in forest environment Application of LiDAR SLAM in tree identification
3. 学会等名 第31回自律分散システム・シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 朱承儒, 江丸貴紀, Ravankar Ankit, 小林幸徳
2. 発表標題 特徴点が疎な積雪環境における地図作成およびナビゲーションシステムの開発
3. 学会等名 第19回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金智姫, 江丸貴紀, Ravankar Ankit, 小林幸徳
2. 発表標題 作物検出を目的とした深層学習のためのデータセット自動作成
3. 学会等名 第19回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上野貴希, 江丸貴紀, ラワンカルアンキット, 小林幸
2. 発表標題 UAVを用いた防波堤点検システムの構築
3. 学会等名 第51回計測自動制御学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木祐太, ラワンカルアンキット, 江丸貴紀, 小林幸徳
2. 発表標題 最近防探索によるLiDAR点群の降雪ノイズ除去
3. 学会等名 第51回計測自動制御学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小淵雅弘, 小林幸徳, 江丸貴紀, ラワンカルアンキット
2. 発表標題 雪道環境における自動運転技術のための3次元LiDARを用いた点群処理に基づく雪山検出
3. 学会等名 第51回計測自動制御学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川智彦, 小林幸徳, 江丸貴紀, ラワンカルアンキット
2. 発表標題 サーモカメラと3D LiDARのセンサフュージョンによる雪道における輻幅の推定
3. 学会等名 第51回計測自動制御学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ankit A. Ravankar, Abhijeet Ravankar, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru
2. 発表標題 Autonomous Mobile Robot Mapping and Navigation using Topological and Semantic Information
3. 学会等名 23rd International Symposium on Artificial Life and Robotics (ISAROB) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Abhijeet Ravankar, Ankit A. Ravankar, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru
2 . 発表標題 Optimal Robot Path Selection Using Fuzzy Analytical Hierarchical Process
3 . 学会等名 4th International Electronic Conference on Sensors and Applications (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Abhijeet Ravankar, Ankit A. Ravankar, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru
2 . 発表標題 Can Robots Help Each Other To Plan Optimal Paths in Dynamic Maps?
3 . 学会等名 56th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Ankit A. Ravankar, Abhijeet Ravankar, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru
2 . 発表標題 A Hybrid Topological Mapping and Navigation Method for Large Area Robot Mapping
3 . 学会等名 56th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Abhijeet Ravankar, Ankit A. Ravankar, Yukinori Kobayashi and Takanori Emaru
2 . 発表標題 Surveillance Mobile Robot System for Tracking and Inspection of Suspicious Entities in Indoor and Outdoor Spaces
3 . 学会等名 The 7th East Asia Mechanical and Aerospace Engineering Workshop (EAMAE) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 Ankit A. Ravankar, Abhijeet Ravankar, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru
2. 発表標題 Large Scale Mapping using Semantic and Topological Information for Autonomous Mobile Robot Navigation
3. 学会等名 The 7th East Asia Mechanical and Aerospace Engineering Workshop (EAMAE) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Eduardo Narvaez, Ankit A. Ravankar, Abhijeet Ravankar, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru
2. 発表標題 Vision Based Autonomous Docking of VTOL UAV using a Mobile Robot Manipulator
3. 学会等名 The 7th East Asia Mechanical and Aerospace Engineering Workshop (EAMAE) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Su Wang, Abhijeet Ravankar, Ankit Ravankar, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru
2. 発表標題 UAV Pose Estimation Using IR and RGB Cameras
3. 学会等名 The 7th East Asia Mechanical and Aerospace Engineering Workshop (EAMAE) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Su Wang, Abhijeet Ravankar, Ankit Ravankar, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru
2. 発表標題 UAV Pose Estimation Using IR and RGB Cameras
3. 学会等名 2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 Seiko Piotr Yamaguchi, Filip Karolonek, Takanori Emaru, Yukinori Kobayashi, Tadeusz Uhl
2 . 発表標題 Autonomous Position Control of Multi-Unmanned Aerial Vehicle Network Designed for Long Range Wireless Data Transmission
3 . 学会等名 2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Eduardo Narvaez, Ankit A. Ravankar, Abhijeet Ravankar, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru
2 . 発表標題 Vision Based Autonomous Docking of VTOL UAV using a Mobile Robot Manipulator
3 . 学会等名 2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Ankit A. Ravankar, Abhijeet Ravankar, Takanori Emaru and Yukinori Kobayashi
2 . 発表標題 Low-cost Mobile Platform for ROS
3 . 学会等名 2017 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, ROBOMECH 2017
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Abhijeet Ravankar, Ankit A. Ravankar, Yukinori Kobayashi and Takanori Emaru
2 . 発表標題 Inter-Robot Learning in Multi-Robot System
3 . 学会等名 2017 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, ROBOMECH 2017
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 Shuhei Yoshida, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru
2. 発表標題 Path Planning and Motion Generation in Frame Structure for a Limb-Type Robot using A* Algorithm
3. 学会等名 2017 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, ROBOMECH 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鳥居聖生, 吉田州平, 小林幸徳, 江丸貴紀, Ravankar Ankit
2. 発表標題 車輪状に変形可能なLimb型ロボットの転がり移動
3. 学会等名 第18回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山田涼裕, 小林幸徳, 江丸貴紀, ラワンカルアンキット
2. 発表標題 斜面におけるオムニホイールロボットの自己位置および斜面勾配の推定
3. 学会等名 第10回北海道ロボット技術研究専門委員会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山内統広, 小林幸徳, 江丸貴紀, ラワンカルアンキット
2. 発表標題 メタヒューリスティクスを用いたUAVの経路の最適化
3. 学会等名 第10回北海道ロボット技術研究専門委員会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森井隆禎, 小林幸徳, 江丸貴紀, ラワンカルアンキット
2. 発表標題 深層学習とHough変換の応用による原木材計測システム
3. 学会等名 第10回北海道ロボット技術研究専門委員会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田隼輔, 小林幸徳, 江丸貴紀, ラワンカルアンキット
2. 発表標題 森林管理用4輪駆動ロボットの開発と運動解析
3. 学会等名 第10回北海道ロボット技術研究専門委員会学術講演会
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