

令和 5 年 5 月 19 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04392

研究課題名（和文）大規模フィールドの管理を目的とした非均一なUGV・UAV群によるロバストSLAM

研究課題名（英文）Realizing robust SLAM using a non-uniform group of UGVs and UAVs for large-scale field management

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） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、広域な森林管理を実現するUAVとUGVとの連携による地図生成と自己位置同定の同時解決問題（SLAM）の解決を目的として実施した。本研究では、画像処理技術、LiDARを利用した高精度地図生成、UGV-UAV連携に焦点を当てた。具体的には、森林環境に特化した画像処理技術の開発やLiDARを用いた3次元地図生成、UAVとUGVの通信や情報融合によるSLAMを実施した。本研究の成果は、樹木と雑草の識別における物体検出とセグメンテーションの改良、UAV-LiDARによる位置情報とDEM（数値標高モデル）の評価、UAVとUGVの通信と情報融合による3次元地図構築の手法や提案手法の評価である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では林業を対象として画像処理技術やLiDARを用いた地図生成、UAVとUGVの通信と情報融合を研究した。深層学習ベースのアルゴリズムやSLAMの問題解決に関する研究は、林業といった領域にとどまるものではなく、ロボット工学や関連分野においても重要な知見となりうる成果であり、林業以外の様々な領域における自律的な地図生成や位置同定に応用される大きな可能性がある。林業分野における様々な作業の軽労化と自動化の実現には大きな社会的意義がある。UAVとUGVの連携による地図生成と自己位置同定の技術開発により、作業の効率化や人的リソースの節約が可能となり、林業の生産性向上や労働環境改善に寄与する。

研究成果の概要（英文）：This study was conducted to solve the simultaneous solution problem of map generation and self-location identification (SLAM) by linking UAVs and UGVs for wide-area forest management. This study focused on image processing technology, high-precision map generation using LiDAR, and UGV-UAV coordination. Specifically, the project developed image processing technology specific to the forest environment, generated 3D maps using LiDAR, and conducted SLAM through communication and information fusion between UAVs and UGVs. The outcomes of this research were: improved object detection and segmentation in identifying trees and weeds, evaluation of UAV-LiDAR location information and DEM (Digital Elevation Model), and evaluation of methods and proposed methods for 3D map construction through communication and information fusion between UAVs and UGVs.

研究分野：ロボット工学

キーワード：SLAM 森林資源管理

1. 研究開始当初の背景

2017年7月に日本とEUとの経済連携協定(EPA)が大枠合意に至り、林産物の輸入関税の段階的撤廃が決まった。国内の林業・木材産業に明らかな逆風となるだろうこの決定を受けて、林業の成長産業化を実現するロボット技術の実現が切望されており、特に育林初期における下草刈りの自動化への期待が現場の声としては大きい。また、ここ数年バイオマスFITの実施をきっかけにバイオマス発電プラントを設置しようという自治体が急増している。FIT認定のためには森林内の樹種・大きさ・量・搬出に必要なコストなどを総合的に勘案した資源量を効率的に調査する必要がある。我々はこれらの課題を解決するための基盤技術として、大規模環境におけるSLAMの実現に着目した。しかしながら、実際の技術開発にはこれまでのロボット研究では対象としてこなかった課題が多くある。日本における林業フィールドでは樹幹間が1.8~2.5m程度で植栽されているために、土木・建設現場で用いられているような大型重機を用いることができず無人地上移動機(UGV, Unmanned Ground Vehicle)の投入が有効であり、また傾斜地では無人飛行体(UAV, Unmanned Aerial Vehicle)の利用が効果的である。またコストやUAVのペイロードを考えると高性能なセンサを群すべてのロボットに搭載することはできないため、システムの中に様々な機能を持ったロボットが混在することになる。これら不均一なUGV・UAV群による大規模環境の地図生成と自己位置同定の同時解決問題(SLAM, Simultaneous Localization And Mapping)解決という技術革新が、広範な分野に貢献しうる重要な基盤技術であると考え本研究の着想に至った。

SLAMは移動ロボットの分野における主要研究テーマであるが、本研究で対象とする**広域な森林管理を目的とした研究**は見当たらない。これまで、屋内環境におけるSLAMの基礎的研究は申請者らを含む多くの研究者らによってほぼ達成されており、次の段階として屋外環境が着目されているが、その多くは人工環境下における研究である。これらの研究では特徴となる人工物や地形などを利用したマッチングが主な手法として用いられている。一方、林業環境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しないために特徴抽出が難しく、高精度SLAMの実施は困難である。さらに森林環境では、周辺環境が類似しているために自己位置同定が非常に困難であるのに加えて、樹木に遮られることによって位置特定のためのGNSS(Global Navigation Satellite System)信号が利用できないことも想定される。また、森林管理では樹木と雑草(下草)を自動的に識別する必要がある。このような周囲環境において、極めて広域における地図生成を自律的に行うことができれば、多大な労力とコストを必要としている森林の管理業務を大幅に軽減できる。これを実現するためには、複数のUAVとUGVの連携SLAMに関する研究の進展が必要である。本研究では、複数UAV間の通信を確立するとともにUGVとも通信して、正確な現在位置を獲得する手法の確立を目指す。この時、UAVとUGVの間には、速度や実際に通過可能な経路の違いが存在する。これらの情報を動的に融合することにより、3次元SLAMとしての問題解決に取り組む。

2. 研究の目的

本研究では、**広域な森林管理に有効な無人飛行体(UAV)と無人地上移動機(UGV)との連携による地図生成と自己位置同定(SLAM)の問題**を研究する。これに加えて、現場におけるニーズが大きい**除草作業に適用可能な樹木と下草の高精度な識別技術**の確立を目指す。

UAVを広域で運用する際には、地上基地との通信可能距離の制約がある。また、森林環境の場合にはその位置を目視で確認することは容易ではない。そこで、複数のUAVを連携して飛行させることで、隣接する機体同士の通信が可能であれば、それを地上基地へリレーすることによって、すべてのUAVの位置を把握できる。さらに、点在する複数台のUGVが一時的にUAVとドッキングすることで充電機能などを提供することによって、その運用時間および探索範囲を著しく広げることが可能となる。これらの課題を達成するには、UAV間およびUAVとUGV間の通信とドッキング機構などの研究が必要であるとともに、森林における地図生成のためのアルゴリズム構築が重要である。本研究では、これまでに取り組んできた、**地上ロボットによる広域SLAMの技術と深層学習を用いた特徴点認識・抽出技術**、さらには**複数UAV間の通信に関する基礎研究**の成果を統合して課題解決を目指す。

同時に、本研究ではUAVからの情報を補完的に利用することにより樹木をロバストに認識し、さらに認識結果を生かした高精度マップを構築することを目的とする。このためには、深層学習のアルゴリズムを活用したロバストな樹木認識システムを構築する必要がある。実際のフィールドで撮影した画像データを用いた学習により、高精度な樹木の識別を達成する。

3. 研究の方法

本研究では、林業フィールドにおける下草刈り、被災森林の再生事業に共通する研究課題である**広域な森林管理**を行うロボット群を開発するにあたって重要な要素である、樹木と下草の高精度な識別および、作業対象となる広域なフィールドにおける正確な地図生成を目指す。以下の課題に分割することによって研究を推進する。

課題1：森林環境に特化した画像認識技術の研究。初年度はサンプルとなる複数の樹木の写真から樹木の認識器を作成し、雑草と樹木を区別できるようにする。HOG (Histograms of Oriented Gradients) と呼ばれる物体検出器を対象となる樹木に適用し、パターン認識手法である SVM (Support Vector Machine) の手法と組み合わせることで対象となる樹木を検出する検出器を作成する。その後、RGB-D カメラ (画像 + 奥行き情報) を用いることで対象樹木までの距離を算出し、確率的な手法を応用したアルゴリズムを用いることで SLAM の実現を試みる。なお、雑草と樹木の識別精度は天候などの条件によって大きく変動することが考えられる。そこで2年目は初年度の成果をもとに、深層学習の分野の成果を取り入れながら樹木をロバストに認識可能となるような改良を図る。地図が作成された後は、樹木の位置は大きく変わらないことから、地図情報をもとにした認識の高速化などについても検討する。

課題2：森林環境におけるロバスト SLAM (自己位置同定と地図作成の同時解決フレームワーク)。現在、日本国内で GNSS として利用できるサービスは GPS のみと言って良い状況であったが、「みちびき」として知られる QZSS のサービスが昨年開始され、センチメートルオーダーの測位がこれまでの比較的低コストで実現できる環境が整ってきた。これにより屋外移動ロボットの自己位置同定は大きな恩恵を受けることになるが、樹木に覆われて衛星が補足できないという森林環境では樹木を特徴点として利用する確率的な手法が有効であると考えられる。それぞれが尤度を保持している点群の集合によって確率的にロボットの自己位置を推定するパーティクルフィルタ法を応用し、GNSS の情報によって点群を配置し、RGB-D カメラにより測定した樹木との距離と慣性計測装置の情報により点群の尤度を計算することによって点群を移動させ、より正しいロボットの位置を表すように調整を試みる。それらから得られた情報と樹木の検出器の情報を組み合わせることで、GNSS の情報が間欠的にしか得られないような森林環境下において、より精度の高いロボットの自己位置推定を試みる。

課題3：UGV (Unmanned Ground Vehicle) と UAV (Unmanned Aerial Vehicle) の連携。 UAV と UGV 間の通信と、充電のためのドッキング機構に関する基礎的研究を開始する。まず、高性能なロボットシミュレータである ROS (Robot OS) と GAZEBO を利用して、実機実験に必要な制御パラメータなどの確認を行う。また、QZSS の小型化・低価格によって UAV の自己位置同定精度が飛躍的に向上することが見込まれる。これら UAV 群と UGV の相対的な位置関係を利用することで UGV の自己位置推定精度を向上させる手法についても検討を行う。さらに、GNSS の情報が安定して利用できない環境下での UAV の自律的運用について検討し、複数の UAV 間の通信を確立するとともに、UGV とも通信して正確な現在位置を獲得する手法を確立する。この時、UAV と UGV の間には、速度や実際に通過可能な経路の違いが存在する。これらの情報を動的に融合することによる、3次元的な SLAM としての問題解決に取り組む。

4. 研究成果

本研究では、広域な森林管理に有効な無人飛行体 (UAV, Unmanned Aerial Vehicle) と無人地上移動機 (UGV, Unmanned Ground Vehicle) との連携による地図生成と自己位置同定の同時解決問題 (SLAM, Simultaneous Localization And Mapping) の解決を目的として実施した。林業においては樹木を植栽してから伐採するまでの様々な作業において機械化が進んでいるが、育林初期における下草刈りは大きなコスト、人手が必要にもかかわらず作業の自動化が進んでいない。本研究では、UGV と UAV からの情報を補完的に利用することにより樹木や地形をロバストに認識し、さらに認識結果を生かした高精度マップを構築することによって林業環境における除草作業の軽労化・自動化実現を目指した。本研究で得られた成果を以下の通りまとめる：

成果1：森林環境に特化した画像処理技術。画像情報を利用して樹木と雑草を識別するために、物体検出器・HOG を対象となる樹木に適用し、パターン認識手法・SVM の手法と組み合わせることで対象となる樹木を検出する検出器を作成した。研究室でこれまでに取得したデータを利用することによって、HOG および SVM による樹木の認識器を構成したが、サンプルデータを増やすための実験を行うことができなかった。対象となる樹木のバリエーションを増やす、また認識精度を向上させるためにはサンプルとなるデータを増やす必要がある。さらに画像情報を利用して樹木と雑草を識別するために、高精度な物体検出・セグメンテーションを実現する深層学習ベースのアルゴリズムの開発・検証を行った。この分野の SOTA の1つである Mask R-CNN を改良することで作物・雑草を高精度で識別するアルゴリズムを開発した。フィールドの関係で、除草が必要な樹高 1m 以下の森林環境でデータを取得することができなかったため、認識の観点からはより困難であると考えられる圃場の作物と雑草をターゲットとした。具体的には同じイネ科である作物 (ハトムギ) と雑草 (ヒエ) を高精度に識別することを目的とし、除草作業に必要な認識精度を得ることができる深層学習フレームワークを提案した。さらに、この深層学習フレームワークの汎用性について評価するため、作物として大豆を対象とした実験も行い、提案する手

法の有効性について検証した。

成果2：LiDARを用いた三次元点群による高精度地図生成。「みちびき」として知られる QZSS のサービスを利用することによって屋外環境においてセンチメートルオーダーの測位がこれまでの比較的 low コストで実現できる環境が整ってきた。このデータを Ground Truth として利用することによって自己位置同定精度を評価できるが、コロナ禍の影響により海外におけるデータ取得実験を行うことができなかった。しかしながら、北海道内の林業フィールドおよび果樹園においてデータ取得を行うことにより、研究の推進に必要なデータを取得することができた。近年、先端技術の導入が立ち後れていた林業分野においても「スマート林業」という新しい林業経営体系が打ち出されつつある。ここで注目される航空機レーザ計測は、広域における森林資源量を把握するには有効であるが、高性能機器を多用するため事業単価が高く(1,000~3,000万円程度)小面積(林分単位)を調査する用途には適していない。そこで、UAV-LiDAR による計測を行い、森林資源量調査の基礎となる位置情報および DEM(数値標高モデル)に関する評価を行った。

成果3：UGV-UAV 連携。GNSS の情報が安定して利用できない環境下での UAV の自律的運用について検討し、複数の UAV 間の通信を確立するとともに、UGV とも通信して正確な現在位置を獲得する手法を確立した。この時、UAV と UGV の間には、速度や実際に通過可能な経路の違いが存在する。これらの情報を動的に融合することによる、3次元的な SLAM としての問題解決に取り組んだ。なお、森林環境において高精度な3次元地図を構築するためには、UAV による情報のみでは移動可能な地上の経路情報を獲得することは難しく、UGV による情報のみでは個々の樹木の太さを知ることは困難である。そこで、真値の獲得が容易な果樹園において実証実験を行い、提案手法の評価を実施した。さらに、UAV によって取得した LiDAR の点群情報と地上から取得した LiDAR の点群情報を融合することによって高精度な3次元地図を構築するため、真値が得られる研究林において実証実験を実施した。フィールド内に存在する樹木が100本程度であり、それらの認識・マッピングについては高精度に実現できたが、本プロジェクトの目的である大規模フィールドに対する検証が課題として残っている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5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 Vachmanus Sirawich、Ravankar Ankit A.、Emaru Takanori、Kobayashi Yukinori	4. 巻 21
2. 論文標題 Multi-Modal Sensor Fusion-Based Semantic Segmentation for Snow Driving Scenarios	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Journal	6. 最初と最後の頁 16839 ~ 16851
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JSEN.2021.3077029	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 Narvaez Eduardo、Ravankar Ankit A.、Ravankar Abhijeet、Emaru Takanori、Kobayashi Yukinori	4. 巻 70
2. 論文標題 Autonomous VTOL-UAV Docking System for Heterogeneous Multirobot Team	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement	6. 最初と最後の頁 1 ~ 18
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TIM.2020.3039649	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 Ravankar Ankit A.、Ravankar Abhijeet、Emaru Takanori、Kobayashi Yukinori	4. 巻 13
2. 論文標題 Line Segment Extraction and Polyline Mapping for Mobile Robots in Indoor Structured Environments Using Range Sensors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration	6. 最初と最後の頁 138 ~ 147
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.9746/jcmsi.13.138	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 OGAWA Hironori、KOBAYASHI Yukinori、EMARU Takanori	4. 巻 7
2. 論文標題 Relative positioning control of flexible structure for precise positioning stage	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Mechanical Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 19-00443
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/mej.19-00443	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 Ravankar Ankit A., Ravankar Abhijeet, Emaru Takanori, Kobayashi Yukinori	4. 巻 8
2. 論文標題 HPPRM: Hybrid Potential Based Probabilistic Roadmap Algorithm for Improved Dynamic Path Planning of Mobile Robots	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 221743 ~ 221666
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2020.3043333	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 江丸貴紀	4. 巻 44
2. 論文標題 AI・IT・RTを用いた農林業支援ロボットの開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 北海道芝草研究会報	6. 最初と最後の頁 3-7
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 -

〔学会発表〕 計54件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 Sirawich Vachmanus, Ankit A. Ravankar, Takanori Emaru, Yukinori Kobayashi
2. 発表標題 An Evaluation of RGB-Thermal Image Segmentation for Snowy Road Environment
3. 学会等名 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Beomsoo Han, Ankit Ravankar, Takanori Emaru
2. 発表標題 Mobile Robot Navigation Based on Deep Reinforcement Learning with Range Only Sensor
3. 学会等名 IEEE International Conference on Intelligence and Safety for Robotics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ankit Ravankar , Abhijeet Ravankar , Takanori Emaru, Yukinori Kobayashi
2. 発表標題 An Improved Reactive Navigation Method for Mobile Robots using Potential Fields
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 韓範洙 , Ankit Ravankar , 江丸貴紀
2. 発表標題 2D-LiDAR センサーを使用したモバイルロボットの深層強化学習と確率的処理によるナビゲーション制御
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Trairattanapa Visarut, Yudai Okano, Takanori Emaru
2. 発表標題 Development of UAV Navigation and Mapping Forest System For Surveying Forest
3. 学会等名 第22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 2021年

1. 発表者名 本庄匠 , 土井匠 , 井内悠介 , 江丸貴紀
2. 発表標題 深層学習における領域検出の精度向上を実現する閾値の準最適化手法の提案
3. 学会等名 第22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 2021年

1. 発表者名 土井匠, 本庄匠, 井内悠介, 今岡広一, 江丸貴紀
2. 発表標題 抜き除草を実現するためのグリッパー開発およびマニピュレータ制御
3. 学会等名 第22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 2021年

1. 発表者名 藤木達也, 江丸貴紀
2. 発表標題 歩道除雪作業におけるサーモカメラを用いた人検出アラートシステムの開発
3. 学会等名 第22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 2021年

1. 発表者名 岡野裕大, 江丸貴紀
2. 発表標題 3D-LiDARを用いたUAVによる防波堤自動点検システムの開発
3. 学会等名 第22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 2021年

1. 発表者名 久保耕平, 江丸貴紀
2. 発表標題 積雪環境におけるロバストな自己位置推定に向けたスキャンマッチング誤差のモデル化
3. 学会等名 第54回計測自動制御学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 武田晏幸, 江丸貴紀
2. 発表標題 マイクロ波レーダーを使った雪中ガードレールの検出
3. 学会等名 第54回計測自動制御学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西脇想起, 江丸貴紀
2. 発表標題 UAVによる作物管理を目的とした高精度3Dマップの生成とGPS情報・スペクトルデータのアライメント
3. 学会等名 第54回計測自動制御学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北村知大, 江丸貴紀
2. 発表標題 株間除草作業の自動化を目的としたシミュレータの構築
3. 学会等名 第54回計測自動制御学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋京佑, 吉田州平, 江丸貴紀
2. 発表標題 基準マーカによるUAVを用いたスペクトル計測システムの位置精度向上手法の提案
3. 学会等名 第54回計測自動制御学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹内俊貴, 江丸貴紀, 小林幸徳, 朝比奈峰之, 瀧上唯夫
2. 発表標題 ばね支持された二重シェル構造を有する鉄道車体モデルの振動解析
3. 学会等名 第17回「運動と振動の制御」シンポジウム (MoViC2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takeshi Emoto, Ankit A. Ravankar, Abhijeet A. Ravankar, Takanori Emaru, Yukinori Kobayashi
2. 発表標題 Automatic Inspection of Railcar Wheels Using Laser and Image Sensor
3. 学会等名 60th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ankit Ravankar , Abhijeet Ravankar , Takanori Emaru, Yukinori Kobayashi
2. 発表標題 Dynamic Motion Planning for Mobile Robots using Improved Artificial Potential Field Method
3. 学会等名 26th International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Su Wang, Ankit Ravankar, Abhijeet Ravankar, Takanori Emaru, Yukinori Kobayashi
2. 発表標題 Monocular Visual-Inertial Localization in a Point Cloud Map Using Feature-To-Distribution Registration
3. 学会等名 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomohiko Hasegawa, Takanori Emaru, Ankit Ravankar
2. 発表標題 Real-Time Interpolation Method for Sparse LiDAR Point Cloud Using RGB Camera
3. 学会等名 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masahiro Obuchi, Takanori Emaru, Ankit Ravankar
2. 発表標題 Improved Scan Matching Performance in Snowy Environments Using Semantic Segmentation
3. 学会等名 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuta Sasaki, Takanori Emaru, Ankit Ravankar
2. 発表標題 SVM Based Pedestrian Detection System for Sidewalk Snow Removing Machines
3. 学会等名 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Beomsoo Han, Ankit Ravankar, Takanori Emaru
2. 発表標題 Mobile Robot Navigation Based on Deep Reinforcement Learning with Range Only Sensor
3. 学会等名 IEEE International Conference on Intelligence and Safety for Robotics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 日向涼, 江丸貴紀, A.A. Ravankar
2. 発表標題 インフラの維持管理を目的としたARマーカーを用いた高精度地図生成
3. 学会等名 第53回計測自動制御学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹内一真, 江丸貴紀, A.A. Ravankar
2. 発表標題 UAVを用いた広域なフィールドを管理するためのVisual-SLAM の適用
3. 学会等名 第53回計測自動制御学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中出峻太, 江丸貴紀, A.A. Ravankar
2. 発表標題 積雪環境における赤外線サーモグラフィを用いた単眼Visual SLAM
3. 学会等名 第53回計測自動制御学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高野睦巳, 江丸貴紀, A.A. Ravankar
2. 発表標題 高精度 SLAM のための疎な LiDAR情報を使用したスキャンマッチングの改善手法の提案
3. 学会等名 第53回計測自動制御学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋悠人, 江丸貴紀, A.A. Ravankar
2. 発表標題 低解像度赤外線サーモグラフィを用いた降雪環境における人物検出
3. 学会等名 第53回計測自動制御学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井内悠介, 江丸貴紀, A.A. Ravankar
2. 発表標題 自動除草ロボットのためのロバストな畝の認識方法と車体制御の提案
3. 学会等名 第53回計測自動制御学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shunsuke Fujita, Takanori Emaru, Ankit Ravankar, Yukinori Kobayashi
2. 発表標題 Development of Robust Ridge Detection Method and Control System for Autonomous Navigation of Mobile Robot in Agricultural Farm
3. 学会等名 23rd CISM IFToMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sirawich Vachmanus, Ankit A. Ravankar, Takanori Emaru, Yukinori Kobayashi
2. 発表標題 Semantic Segmentation for Road Surface Detection in Snowy Environment
3. 学会等名 2020 59th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yayun Lei, Takanori Emaru, Ankit A. Ravankar, Yukinori Kobayashi, Su Wang
2. 発表標題 Semantic Image Segmentation on Snow Driving Scenarios
3. 学会等名 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Visarut Trairattanapa, Ankit A. Ravankar, Takanori Emaru
2. 発表標題 Estimation of Tree Diameter at Breast Height using Stereo Camera by Drone Surveying and Mobile Scanning Methods
3. 学会等名 59th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 久保共平, 江丸貴紀, RAVANKAR Ankit
2. 発表標題 未知環境におけるUAV用リアルタイムナビゲーションシステムの開発
3. 学会等名 第21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 2020年

1. 発表者名 佐々木祐太, 江丸貴紀, Ravankar Ankit
2. 発表標題 歩道除雪環境におけるLiDARを用いたロバスト歩行者検出システム
3. 学会等名 第21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 2020年

1. 発表者名 小淵雅弘, 江丸貴紀, Ravankar Ankit
2. 発表標題 積雪環境におけるスキャンマッチングを用いた自己位置推定性能の改善
3. 学会等名 第21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 2020年

1. 発表者名 南岡和弥, 江丸貴紀, Ravankar Ankit
2. 発表標題 歩道除雪作業の効率化を目的としたサーマルカメラによる人物検出
3. 学会等名 第21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 2020年

1. 発表者名 長谷川智彦, 江丸貴紀, Ravankar Ankit
2. 発表標題 サーモカメラを用いた LiDAR 点群のリアルタイム補完手法の提案
3. 学会等名 第21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 2020年

1. 発表者名 楊延峰, 江丸貴紀, Ravankar Ankit
2. 発表標題 UAVを用いた自動スペクトル計測システムにおけるジンバル制御
3. 学会等名 第21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 2020年

1. 発表者名 本間貴太, 江丸貴紀, Ravankar Ankit
2. 発表標題 UAVを用いた自動スペクトル計測システムにおける三次元飛行経路の生成
3. 学会等名 第21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 2020年

1. 発表者名 Takeshi Emoto, Ankit A. Ravankar, Abhijeet A. Ravankar, Takanori Emaru, Yukinori Kobayashi
2. 発表標題 Automatic Dimensional Inspection System of Railcar Wheelset for Condition Monitoring
3. 学会等名 61st Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中出峻太, 江丸貴紀
2. 発表標題 雪環境における車載センサを用いた積雪深推定
3. 学会等名 第23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 2022年

1. 発表者名 井内悠介, 北村知大, 江丸貴紀
2. 発表標題 深層学習により推論された深度情報を用いた作物領域検出精度の向上手法
3. 学会等名 第23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 2022年

1. 発表者名 久保耕平, 江丸貴紀
2. 発表標題 位置情報と深層学習を用いた点群セグメンテーション手法の提案
3. 学会等名 第23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 2022年

1. 発表者名 高野睦巳, 江丸貴紀
2. 発表標題 深層学習を用いた降雪・除雪状況下での LiDAR データに重畳する雑音除去
3. 学会等名 第23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 2022年

1. 発表者名 高橋悠人, 江丸貴紀
2. 発表標題 降雪環境におけるサーモカメラを用いたリアルタイム人検出システムの開発
3. 学会等名 第23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 2022年

1. 発表者名 竹内一真, 江丸貴紀
2. 発表標題 UAV を用いた Visual-SLAM による広域なフィールドの地図作成
3. 学会等名 第23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 2022年

1. 発表者名 日向涼, 江丸貴紀
2. 発表標題 港湾施設の維持管理を目的とした AprilTag の精度評価
3. 学会等名 第23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 2022年

1. 発表者名 西脇想起, 江丸貴紀
2. 発表標題 UAVによる森林の3次元マップの作成とGPS情報のアライメント
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今岡広一, 土井匠, 北村知大, 井内悠介, 本庄匠, 江丸貴紀
2. 発表標題 画像認識による株間の抜き除草機構を備えた除草ロボットの開発
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井内悠介, 北村知大, 本庄匠, 土井匠, 今岡広一, 江丸貴紀
2. 発表標題 ほ場内高精度マップを用いた画像範囲の限定によるインスタンスセグメンテーションの速度向上手法
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北村知大, 今岡広一, 井内悠介, 江丸貴紀
2. 発表標題 株間の自動除草を目的とした車体とハンドの協調制御手法の提案
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 花島直彦, 梶原秀一, 藤平祥孝, 水上雅人, 星野洋平, 高島昭彦, 江丸貴紀, 吉崎昌彦, 吉野正樹, 鈴木陽, 幾瀬高志
2. 発表標題 北海道大学生対象のオンラインロボットコンテストの試み
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 腰越雅月, 井内悠介, 北村知大, 江丸貴紀
2. 発表標題 抜き除草を実現するためのグリッパー機構の提案
3. 学会等名 第55回計測自動制御学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 近藤春樹, 西脇想起, 吉田州平, 江丸貴紀
2. 発表標題 スペクトル計測システムにおける基準マーカを用いた UAV 制御手法の提案
3. 学会等名 第55回計測自動制御学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 物体認識システム、物体認識方法及びコンピュータプログラム	発明者 江丸貴紀	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-134130	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------