

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 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：2014～2016

課題番号：26420408

研究課題名(和文) センシング誤差と移動誤差の理論的統計モデル構築によるSLAMの本質的精度向上

研究課題名(英文) Essentially improvement of SLAM's accuracy by constructing theoretical error model of sensing and movement

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)：本研究では移動ロボットについて「センサ信号に混入する雑音」「ロボットが移動する際の誤差」双方について統計的モデル化を行い、モデル化された誤差の統計的特徴に基づく理論的な地図作成および自己位置同定のアルゴリズムを構築することにより、ロボットが自己位置同定と地図作成を同時に行う手法であるSLAMの精度向上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)実際のセンサや移動ロボットの特性を考慮した統計モデルを構築した。2)その誤差の影響を最小化するノルム・尤度の最適設計を行った。以上の成果によってSLAMの精度向上を実現し、その有効性をシミュレーションおよび実験により確認した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is essentially improvement of SLAM's accuracy by constructing theoretical error model of 'sensing noise or error' and 'movement error which is occurred by slip or other factors'. In the research field of robotic mapping, simultaneous localization and mapping (SLAM) is the computational problem of constructing or updating a map of an unknown environment while simultaneously keeping track of an agent's location within it. The results of this project are as follows: 1) We have made a theoretical model of sensing data and movement of mobile robot by considering physical characteristics of actual sensor and dynamics of mobile robot. 2) We have designed optimal norm and likelihood which minimize an influence of noise. The validity of the proposed strategy has been investigated by simulations and experiments using actual mobile robot.

研究分野：ロボット工学

キーワード：知能ロボティクス SLAM

## 1. 研究開始当初の背景

自動車や工場内の搬送車に代表される **移動性 (mobility) を有するロボットシステム** は我々の社会活動を支える重要な基盤技術であり、その知能化の発展を促すことは将来的に持続して重点的に行われるべき研究課題である。近年、GPS (Global Positioning System) のようなグローバルな位置情報を得ることができない環境において、ロボットが自己位置同定と地図作成を行うための手法として **SLAM (Simultaneous Localization And Mapping)** に関する研究が盛んに行われている。SLAM は **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** しあうことにより、**高精度な自己位置推定と地図作成を同時に行う** ための手法である。ここ最近比較的安価な **レーザレンジセンサ(LRS)** の普及により SLAM における高精度な地図作成が可能となってきた。また google map など、一般社会において利用できるリソースも増えている。これらの地図を有効に利用するためには、地図上で自分の位置を同定する自己位置同定が重要であるが、屋内環境では GPS を利用できない。また、屋外であっても木の陰では衛星を捕捉できず、ビル街や谷山ではマルチパスの影響で精度が落ちるなどの問題もある。そこで、**パーティクルフィルタ (PF) を利用した自己位置同定** に関する研究が盛んに行われている。PF では各パーティクルのノルムを求め、そのノルムに対する尤度 (確からしさ) を計算することにより確率的にロボットの自己位置推定を行う。しかし、これまでの研究では LRS の雑音・誤差特性を理論的な確率モデルとして反映したノルムの計算方法は提案されておらず、したがって尤度の計算も理論に基づいたものとは言えない。そこで、**センサによって得られる信号の雑音・誤差特性をモデル化し、構築されたモデルに対して統計的な理論に基づく適切なノルム・尤度の計算方法を確立** することにより、SLAM の精度を飛躍的に向上させることが期待できる。さらに、**ロボットが移動する際の誤差も同様に理論的な確率モデルで表現** することにより、ロボットの入出力、すな

わちセンサ・動作両面から並列的に SLAM の精度向上が期待できる。

また、3次元地図の構築を目的とし、視覚センサによる情報の抽出と SLAM による研究が行われている。視覚センサによる情報量の抽出には SIFT 特徴量に関する研究が広く行われており、これと SLAM を組み合わせたものも提案されている。これらの手法をベースとし、上述において考察したモデル化手法及びノルム・尤度の設計法を適用することにより **3次元 SLAM への拡張** を図る。

## 2. 研究の目的

本研究では移動ロボットの分野で実際に用いられているセンサ・ロボットに基づく理論的な雑音モデル・移動に伴う誤差モデルを構築し、移動ロボットの SLAM 問題を統計的に最適な方法によって解決する手法を提案する。目標は以下のとおりである。

### **課題1：センサの雑音・誤差特性を考慮したうえで実用的な雑音モデルを構築する。**

現在、SLAM 問題の解決のためにはレーザレンジセンサ (LRS) が広く用いられている。この不確かさに対処するためには確率的解法が最も主流となっており、拡張カルマンフィルタ (EKF)、アンセンテッドカルマンフィルタ (UKF)、パーティクルフィルタ (FastSLAM) などの適用が提案されている。しかしながら、センサの誤差特性を実験的にモデル化し統計的に表現することにより、SLAM の推定精度を劣化させる不確かさを大幅に軽減できると考えられる。

### **課題2：ロボットが移動する際の誤差モデルを構築する。**

車輪移動ロボットの場合、カルマンフィルタを代表とする線形フィルタによって移動誤差モデルを表す手法が広く用いられている。本研究では様々な移動ロボットに対して適用可能な誤差モデルの構築を目的とする。

### **課題3：構築された雑音モデルに対して適切なノルム・尤度の設計を行う。**

課題1・2で構築されたセンサ・移動に関する誤差モデルの確率的な特徴を反映したノルム・尤度の設計を行うことにより、精度の高い SLAM 問題の解決を目的とする。誤差モデルの統計的な性質に基づくノルム・尤度の

設計方法は未だ提案されておらず、この両者の並列的な解決を目指す。

#### **課題4：視覚センサに対する提案手法の適用可能性を検討し、その有効性を検証する。**

課題1において考察された測距センサに対する誤差モデルの構築方法を基盤とし、得られる情報量が格段に多い視覚センサに対する実用的な誤差モデルを構築する。さらには課題3において考察した方法を参考に、モデル化された不確かさに対する効果的な処理方法を検討する。

### 3. 研究の方法

各年度の研究内容として以下の具体的な研究課題を抽出し、3カ年に分けて順次研究を進めた。平成26年度はレーザー測距センサ(課題1)およびロボットが移動する際の誤差(課題2)のモデル化を行った。平成27年度は、これらの誤差に対してロバストなノルム・尤度の設計を目標とした(課題3)。同時に、研究代表者らの提案する手法の汎用性を示すため、視覚センサに提案手法を適用し、その有効性を検証した(課題4)。最終年度である平成28年度は、実環境における実験を繰り返し、問題点の把握及びその解決を図り、提案手法の改善とともに研究を総括した。

### 4. 研究成果

初年度はセンサの雑音・誤差特性を考慮したうえで実用的な雑音モデル構築を目的として研究を行った。現在、SLAM問題の解決のためにはレーザー測距センサ(LRS)が広く用いられている。この不確かさに対処するためには確率的解法が最も主流となっている。しかしながら、センサの誤差特性を実験的にモデル化し統計的に表現することにより、SLAMの推定精度を劣化させる不確かさを大幅に軽減できると考えられる。この誤差は環境や測定対象によって違いを示すはずであるが、いまだ実用的なモデル化はなされていない。そこで、移動ロボットの測距センサとして一般的に用いられているLRSを対象にその誤差モデルの構築を行った。

当初の予定では課題2、3の解決を平成27年度の目標としており、課題2については順調に進展できた。課題3については個別のモデル化は進んだものの、センサモデルとの融合が課題として残った。しかしながら、課題4について、3次元情報を得ることができるkinectセンサを用いた研究を進め、3次元情報に対しても提案手法が有効であることを明らかにした。

最終年度は最近研究が進んでいる深層学

習(ディープラーニング)にも取り組み、特徴点を得ることが難しいことからこれまでSLAMの適用が難しかった屋外環境においてSLAMの適用を試みた。その結果、深層学習を適用することによってSLAMに必要な特徴点を得るための基礎的な成果は得られたが、様々な環境におけるロバストな認識を実現するためには更なる精度の向上が必要であることが明らかとなった。また実環境における検証については農業環境・林業環境における実験を実施し、これらの環境における提案手法の適用可能性について検討を行った。これは我々がこれまでにターゲットとしてきた人工構造物で構成される環境とは異なり、ロボットが移動する際の誤差もフィールドの状況によって大きく異なり、また植物を測定の対象とする場合は特徴点に関する情報が時々刻々と変化するという難しさがある。このように様々な環境・状況下を統一的に扱うことが困難ではあるが、深層学習の適用によりロバストに特徴点を抽出することができる可能性を明らかにした。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計11件)

1. Takanori Emaru, Hiroki Sato and Yukinori Kobayashi, Local-Behavior Determination for an Omnidirectional Mobile Robot using an Integration-Type Sonar Ring, Journal of Research and Applications in Mechanical Eng., Vol.4, No.1, pp.58-67, 2016.
2. Sarun Chattunyakit, Yukinori Kobayashi and Takanori Emaru, PSO-based leg-loss identification method for legged robots, Journal of Research and Applications in Mechanical Eng., Vol.4, No.1, pp.46-57, 2016.
3. Abhijeet Ravankar, Ankit Ravankar, Yohei Hoshino, Takanori Emaru and Yukinori Kobayashi, On a Hopping-Points SVD and Hough Transform-Based Line Detection Algorithm for Robot Localization and Mapping, International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol.13, No.3, January 2016, DOI: 10.5772/63540
4. Abhijeet Ravankar, Ankit A Ravankar, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru, Avoiding blind leading the blind:Uncertainty integration in virtual pheromone deposition by robots, International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol.13, No.6, pp.1-16, 2016, DOI: 10.1177/1729881416666088
5. Abhijeet Ravankar, Ankit A. Ravankar, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru,

- SHP: Smooth Hypocycloidal Paths with Collision-Free and Decoupled Multi-Robot Path Planning, International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. 13, No. 3, 2016, DOI: 10.5772/63458
6. Abhijeet Ravankar, Ankit A. Ravankar, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru, On a Bio-Inspired Hybrid Pheromone Signalling for Efficient Map Exploration of Multiple Mobile Service Robots, Artificial Life and Robotics, Springer, Vol. 21, pp. 221-231, 2016, DOI: 10.1007/s10015-016-0279-4
  7. Ankit A. Ravankar, Yohei Hoshino, Abhijeet Ravankar, Lv Jixin, Takanori Emaru, Yukinori Kobayashi, Algorithms and a Framework for Indoor Robot Mapping in a Noisy Environment using Clustering in Spatial and Hough Domains, International Journal of Advanced Robotic Systems, March 2015, Vol. 12, No. 27, DOI:10.5772/59992
  8. Koichi Imaoka, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru, Yohei Hoshino, Vortex-Induced Vibration of an Elastically-Supported Cylinder Considering Random Flow Effects, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol. 8, No. 2, pp. 131-138, March 2015, DOI:10.9746/jcmsi.8.131
  9. Jixin Lv, Yukinori Kobayashi, Ankit A. Ravankar, Takanori Emaru, Straight Line Segments Extraction and EKF-SLAM in Indoor Environment, Journal of Automation and Control Engineering, Vol. 2, No. 3, pp. 270-276, September 2014, DOI:10.12720/joace.2.3.270-276
  10. Jixin Lv, Yukinori Kobayashi, Ankit A. Ravankar, Takanori Emaru, Indoor Slope and Edge Detection by using 2D EKF-SLAM with Orthogonal Assumptions, International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. 12, No. 44, July 2015, DOI: 10.5772/60407
  11. Ankit A. Ravankar, Yohei Hoshino, Abhijeet Ravankar, Jixin Lv, Takanori Emaru and Yukinori Kobayashi, Algorithms and a Framework for Indoor Robot Mapping in a Noisy Environment using Clustering in Spatial and Hough Domains, International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. 12, No. 27, April 2015, DOI: 10.5772/59992
- [学会発表] (計60件)
1. 影山藍, 江丸貴紀, 小林幸徳, Ravankar Ankit, 葉を特徴点として利用した実環境における農作物の検出・判別システムの提案, 第9回北海道ロボット技術研究専門委員会学術講演会, 2017年2月22~23日, 北海道大学 (北海道・札幌市)
  2. 木下拓, 江丸貴紀, 小林幸徳, Ravankar Ankit, マルチロボットシステムにおけるグラフ理論を用いたタスク計画, 第9回北海道ロボット技術研究専門委員会学術講演会, 2017年2月22~23日, 北海道大学 (北海道・札幌市)
  3. 長井一弘, 江丸貴紀, 小林幸徳, Ravankar Ankit, 林業フィールドにおける樹木の認識と自己位置推定, 第9回北海道ロボット技術研究専門委員会学術講演会, 2017年2月22~23日, 北海道大学 (北海道・札幌市)
  4. 小保内弘毅, 江丸貴紀, 小林幸徳, Ravankar Ankit, ステアリング機構を有する移動ロボット除草システムの開発, 第9回北海道ロボット技術研究専門委員会学術講演会, 2017年2月22~23日, 北海道大学 (北海道・札幌市)
  5. Masaru Sakuma, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru, Ankit A. Ravankar, Mapping of pier substructure using UAV, IEEE/SICE International Symposium on System Integration, 2016年12月13~15日, 札幌コンベンションセンター (北海道・札幌市) DOI: 10.1109/SII.2016.7844025
  6. Kota Kawamura, Takanori Emaru, Yukinori Kobayashi, Ankit A. Ravankar, Adaptive control for omnidirectional wheeled robot, IEEE/SICE International Symposium on System Integration, 2016年12月13~15日, 札幌コンベンションセンター (北海道・札幌市) DOI: 10.1109/SII.2016.7844026
  7. Takahiro Yamaguchi, Takanori Emaru, Yukinori Kobayashi, Ankit A. Ravankar, 3D map-building from RGB-D data considering noise characteristics of Kinect, IEEE/SICE International Symposium on System Integration, 2016年12月13~15日, 札幌コンベンションセンター (北海道・札幌市) DOI: 10.1109/SII.2016.7844028
  8. Jixin Lv, Ankit A. Ravankar, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru, A method of low-cost IMU calibration and alignment, IEEE/SICE International Symposium on System Integration, 2016年12月13~15日, 札幌コンベンションセンター (北海道・札幌市) DOI: 10.1109/SII.2016.7844027
  9. Abhijeet Ravankar, Ravankar Ankit, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru, A Geometric Path Smoother for Mobile Robots, 12th HU-SUN Joint Symposium on Mechanical and Aerospace Engineering, Dec 19-20, 2016, Hokkaido University (Sapporo, Japan)
  10. 佐久間優, 小林幸徳, 江丸貴紀, UAV を

- 用いた栈橋下部構造の地図生成, 第8回北海道ロボット技術研究専門委員会学術講演会, 2016年2月29日~3月1日, HRT3, 北海道大学 (北海道・札幌市)
11. 川村洗太, 江丸貴紀, 小林幸徳, オムニホイール移動ロボットのための速度変動に対してロバストな適応制御法の提案, 第8回北海道ロボット技術研究専門委員会学術講演会, 2016年2月29日~3月1日, HRT4, 北海道大学 (北海道・札幌市)
  12. 山口貴大, 江丸貴紀, 小林幸徳, RGB-Dセンサの誤差特性を考慮した3次元地図生成, 第8回北海道ロボット技術研究専門委員会学術講演会, 2016年2月29日~3月1日, HRT6, 北海道大学 (北海道・札幌市)
  13. Abhijeet Ravankar, Ankit A. Ravankar, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru, Path smoothing extension for various robot path planners, IEEE 16th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), 2016年10月16日~19日, Gyeongju (Korea) DOI: 10.1109/ICCAS.2016.7832330
  14. Sarun Chattunyakit, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru, Joint fault diagnosis of legged robot based on acoustic processing, SII2015, pp.169-174, Dec 12-13, 2015, Meijo University (Nagoya, Japan)
  15. Mengze Li, Abhijeet Ravankar, Ankit A. Ravankar, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru, Estimation of position and trajectory of a flying ball in 3-D space, SII2015, pp.443-448, Dec 12-13, 2015, Meijo University (Nagoya, Japan)
  16. L. V. Jixin, Abhijeet Ravankar, Yukinori Kobayashi, Ankit A. Ravankar, Takanori Emaru, SLAM within indoor loops by using incremental scan registration, SII2015, pp.720-725, Dec 12-13, 2015, Meijo University (Nagoya, Japan)
  17. Nicong Jiang, Jixin Lv, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru, Adaptive image-based visual servoing of nonholonomic mobile robot with on-board camera, SII2015, pp.983-988, Dec 12-13, 2015, Meijo University (Nagoya, Japan)
  18. A Ravankar, AA Ravankar, Y Kobayashi, L Jixin, T Emaru, Y Hoshino, An intelligent docking station manager for multiple mobile service robots, 15th International Conference on Control, Automation and Systems, Dec. 13-16, 2015, Busan (Korea)
  19. Abhijeet Ravankar, Yukinori Kobayashi, Ankit Ravankar, Takanori Emaru, A Connected Component Labeling Algorithm for Sparse Lidar Data Segmentation, 6th Int. Conference on Automation, Robotics and Applications, pp.437-442, Feb. 17-19, 2015, Queenstown (New Zealand), DOI: 10.1109/ICARA.2015.7081188
  20. Abhijeet Ravankar, Yukinori Kobayashi, Ankit A. Ravankar, Takanori Emaru, A Connected Component Labeling Algorithm for Sparse Lidar Data Segmentation, ICARA 2015, pp.437-442, Feb 17-19, 2015, Queenstown (New Zealand)
  21. J Lv, K Yukinori, AA Ravankar, A Ravankar, T Emaru, A Solution to Estimate Robot Motion with Large Rotation by Matching Laser Scans, The 34th Chinese Control Conference and SICE Annual Conference, July 28-30, 2015, Hangzhou (China)
  22. A Ravankar, AA Ravankar, Y Kobayashi, L Jixin, T Emaru, Y Hoshino, A novel vision based adaptive transmission power control algorithm for energy efficiency in wireless sensor networks employing mobile robots, The Seventh International on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), July 7-10, 2015, Hotel Okura Sapporo (Sapporo, Japan)
  23. 佐藤雄太, 江丸貴紀, 小林幸徳, センサの物理的特性を組み込んだスキャンマッチング方式, 第16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, 2015年12月14日~16日, 3E4-1, 名古屋国際会議場 (愛知県・名古屋市)
  24. 相澤優作, 江丸貴紀, 小林幸徳, 危険行動判別を目的とした筋電図による前腕運動の加速度推定, 第16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, 2015年12月14日~16日, 3B4-1, 名古屋国際会議場 (愛知県・名古屋市)
  25. 吉田州平, 小林幸徳, 江丸貴紀, Limb型ロボットの骨組み構造での登り・くぐり動作生成, 第33回日本ロボット学会学術講演会, 2015年9月3~5日, 1K3-03, 東京電機大学東京千住キャンパス (東京都・足立区)
  26. Ankit Ravankar, Abhijeet Ravankar, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru, A Graphical Framework for Robust Indoor Mapping, The 33rd annual conference of the Robotics Society of Japan, 2015年9月3~5日, 2G2-05, 東京電機大学東京千住キャンパス (東京都・足立区)
  27. Abhijeet Ravankar, Ankit Ravankar, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru, An Efficient Networking Scheme for Static and Dynamic Nodes in Multiple Service Robots, The 33rd annual conference of

- the Robotics Society of Japan, 2015年9月3日~5日, 2G2-06, 東京電機大学東京千住キャンパス (東京都・足立区)
28. Abhijeet Ravankar, Ankit Ravankar, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru, On Data Security in Service Robots, The 33rd annual conference of the Robotics Society of Japan, 2015年9月3日~5日, 2G2-0, 東京電機大学東京千住キャンパス (東京都・足立区)
  29. Shuhei Yoshida, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru, Motion Generation in Frame Structure for A Limb-Type Robot Including Feature to Avoid Obstacles, International Conference on Advanced Mechatronics, Dec 5-8, 2015, 2A1-13, Waseda University (Tokyo, Japan)
  30. Chenyu Wang, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru, Ankit Ravankar, Recognition of 3-D Grid Structure Recognition with Fixed Camera and RGB-D Camera, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2015年5月17日~19日, 1A1-H04, 京都市勧業館「みやこめっせ」(京都府・京都市)
  31. Ankit Ravankar, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru, Abhijeet Ravankar, Lv Jixin, Vision based Localization and Mapping for Indoor Robots using RGBD Sensor, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2015年5月17日~19日, 2A2-M06, 京都市勧業館「みやこめっせ」(京都府・京都市)
  32. 今岡広一, 小林幸徳, 江丸貴紀, デジタル加速度制御による渦励振構造物の制御, Dynamics & Design Conference, 2015年8月25日~28日, 447, 弘前大学文京町キャンパス (青森県・弘前市)
  33. Takuma Okawara, Yukinori Kobayashi and Takanori Emaru, Motion Control of Mobile Robot having Semi-active Suspension, the 6th TSME-ICoME, Dec 16-18, 2015, The Regent Cha-am beach Resort, Hua-Hin (Thailand)
  34. Sarun Chattunyakit, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru, PSO-based Leg-loss Identification Method for Legged Robots, the 6th TSME-ICoME, Dec 16-18, 2015, The Regent Cha-am beach Resort, Hua-Hin (Thailand)
  35. Takanori Emaru, Hiroki Sato and Yukinori Kobayashi, Local-Behavior Determination for an Omnidirectional Mobile Robot using an Integration-Type Sonar Ring, the 6th TSME-ICoME, Dec 16-18, 2015, The Regent Cha-am beach Resort, Hua-Hin (Thailand)
  36. Koichi Imaoka, Yukinori Kobayashi, Takanori Emaru, Yohei Hoshino, Effect of the random component in the vortex-induced vibration, SICE Annual Conference, Sept. 9-12, 2014, Hokkaido University (Sapporo, Japan), DOI: 10.1109/SICE.2014.6935225
  37. Ankit A. Ravankar, Yukinori Kobayashi, Jixin Lv, Takanori Emaru and Yohei Hoshino, An Embarrassingly Parallel Hoppingwindow Noise Removing Algorithm for Lidar Based Robot Mapping, SICE Annual Conference, Sept. 9-12, 2014, Hokkaido University (Sapporo, Japan)  
DOI: 10.1109/SICE.2014.6935196
  38. Jian Huo, Yukinori Kobayashi, Changguo Sun, Yizhi Gai, Takanori Emaru, Modeling for Single-Link Flexible Manipulator System Based on System Identification Considering the Effect of Gravity, 第32回日本ロボット学会学術講演会2014年9月4日~6日, 2A2-05, 九州産業大学(福岡県・福岡市)
  39. 根本翔太, 江丸貴紀, 小林幸徳, オムニホイール移動ロボットの機構解析による特性モデルの提案, 第32回日本ロボット学会学術講演会2014年9月4日~6日, 3D1-07, 九州産業大学(福岡県・福岡市)
  40. 高野直人, 江丸貴紀, 小林幸徳, デジタル加速度制御による柔軟ロボットアームの先端位置制御, 第32回日本ロボット学会学術講演会2014年9月4日~6日, 1Q3-07, 九州産業大学(福岡県・福岡市)
  41. 山本惇史, 小林幸徳, 江丸貴紀, 可変摩擦ダンパを有する移動ロボットのセミアクティブ振動制御, 第15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, 2014年12月15日~17日, 2F3-2, 東京ビッグサイト(東京都・江東区)
- [その他]  
ホームページ等  
<http://mech-hm.eng.hokudai.ac.jp/~rd/>
6. 研究組織
    - (1) 研究代表者  
江丸 貴紀 (EMARU, Takanori)  
北海道大学・大学院工学研究院・准教授  
研究者番号：30440952
    - (2) 研究協力者  
小林 幸徳 (KOBAYASHI, Yukinori)  
北海道大学・大学院工学研究院・教授  
研究者番号：10186778
- 王 碩玉 (WANG, Shuoyu)  
高知工科大学・工学部・教授  
研究者番号：90250951