

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K12016

研究課題名（和文）環境照明を用いた大域自己位置推定

研究課題名（英文）Global Positioning by using Environmental Lighting Fingerprints

研究代表者

小林 裕之（Kobayashi, Hiroyuki）

大阪工業大学・ロボティクス&amp;デザイン工学部・教授

研究者番号：80338219

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は屋内に既設の照明光に一切手を加えることなく個体識別を行い、その情報をもとに自己位置推定を行うことを目的とした。この手法の原理は、照明装置の駆動回路のインバータに由来する目に見えない明滅を計測し、それを機械学習で分類するというものである。研究の成果は主に3点にまとめられる。まずは上述の基本原則を明らかにしたこと、そしてそれを携帯情報端末とwebサーバからなる自己位置推定システムとして実現したこと、さらに機械学習のモデルを改良し、位置推定を離散点から連続点にする手法を明らかにしたことである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ロボットやIoT機器、あるいは人間のための自己位置推定の手法は既にさまざま存在するが、本研究で提案した手法はそれらのいずれとも異なる新手法であるためその点において学術的な意義は大きい。また一般的に、異なる位置推定手法は互いを補完し合うように用いることが行われており、手法自体がユニークな本手法は、従来手法が苦手としていたシーンにおいて従来手法を補うことが期待できる。その点において社会的な意義も十分にあり、加えて、本手法は実装のための技術的要求が低いため、社会の中に普及させやすいという特徴がある点でも社会的意義の一つと言える。

研究成果の概要（英文）：This research aimed to achieve a new indoor self-localization using existing lighting fixture as-is. The underlying mechanism of the method is identification of the flickering of the lights caused by the inverter circuits. As a consequence, we have three achievements. The first is the establishment of the basic technique itself described above, and the second is creating a total "system" of this technique, and the third is proposing a new method for improvement of its positional estimation accuracy from classification to regression by extending machine learning model.

研究分野：ロボット工学

キーワード：自己位置推定 機械学習 深層学習 屋内定位 IoT 移動ロボット

## 1. 研究開始当初の背景

自己位置推定は移動ロボットの分野において一つの中心的な問題であり、ほぼ四半世紀に渡り盛んに議論が行われ、研究開始当初はもとより、今なお研究が盛んな分野である。その理論的構成は現実世界をセンシングしてそこから位置の推定値を得る部分と、その推定値を更新し、他の情報と組み合わせる数学的な処理の部分の2段階に分けて考えることができる。

本研究では前者、すなわち現実世界のセンシングの部分をテーマとしたが、今後の急速な発展が見込まれる携帯端末やIoT機器においては、その手法の選択肢があまりないことが問題であった。具体的にはGPS、Wi-Fi等の電波強度に加え、地磁気と慣性センサ(加速度+角速度)程度が実用化されているのみであった。そのGPSも屋内では役に立たないという本質的な問題を持ち、その他の手法は精度が悪かったり、過去の移動履歴への依存性があるといった問題があった。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、既設の照明光を用いた新たな自己位置推定手法およびそのソフトウェアプラットフォームの創出である。

研究開始当初、この大目的を次の2つの小目的に分けた。

- 研究開始当時、申請者が提案していた照明装置の特性の個体差に基づいた自己位置推定の基本原理を応用し、既に実用化されている電波や超音波を用いた従来手法を超える精度で位置推定を行う手法を明らかにすること。
- 前項における実用上の問題、すなわち照明の経年変化や交換によって生じる環境変化や広域での推定を効率的に行うための情報更新方法、さらにデータベースシステムの設計などの、自己位置推定システムとしての提案を行うこと。

## 3. 研究の方法

研究はまず手法の中核にあたる機械学習モデルの検討から始めた。基本的には深層学習を用いた多クラス分類モデルであるが、高精度化のために前処理の部分などに多くの検討を要した。

そして機械学習モデルがある程度完成してからはスマートフォンアプリとしての実装を進めた。研究開始当初は端末内で完結するスタンドアロン型のアプリでの実装を考えていたが、前項で述べた研究目標の2つ目の自己位置推定のための総合的なシステム構築も同時に行うことが効率的と考え、一連の流れをすべてまとめた単一のwebアプリとして実現することにした。

また、同じく実装として台湾の国立雲林科技大學との共同研究でモデルの縮小とマイクロコントローラを用いたシステム構築を行った。

一連のシステムが完成した頃に、新たにより精度を高めるための手法の着想を得たため、当初計画にはなかった回帰モデルへの展開を検討することにした。これには機械学習のアテンション機構を応用するアプローチを検討した。

なお研究開始当初は、本手法を多くのロボット系の研究者が使えるようなかたちで ROS ノードとして利用可能なソフトウェアとして公開する構想を持っていたが、これについては先に述べた推定精度の向上を優先させたために断念した。

#### 4. 研究成果

本研究では従来にない新たな自己位置推定手法を明らかにすることができた。この手法は既設の照明装置に製造時から個体差が内在し、それが識別可能であることを基本原理としている。

実装面では、まずデータベースへの位置情報の登録から自己位置推定までの一連の流れを一気通貫で行える web アプリとしての実現が行えた。これにより、誰でも簡単に本手法を利用することが可能であることを示した。

一方、同じく実装面において、本手法はセンサなどのハードウェア的な要求が低いものの学習モデルの計算コストが比較的高いという問題があった。これについては台湾の国立雲林科技大學との共同研究で、モデルを縮小し、いわゆる AI マイコンへの実装を行うことができた。この成果は本研究を IoT 機器などに応用することが現実的に可能であることを示したと言える。

さらに、自己位置推定の精度向上についての検討を行った。これに対してはまず機械学習のアテンション機構を応用することで当初の分類問題としての精度の限界を超える高精度化の可能性を示すことができた。それに加え、原理的な詳細は未だに示せていないものの、上下方向の位置推定を含めた 3 次元位置推定が行えることも実験的に明らかにすることができた。

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 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 KOBAYASHI Hiroyuki	4. 巻 57
2. 論文標題 CEPHEID: An Environment Lighting Classification Technique for Indoor Localization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers	6. 最初と最後の頁 2~10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.9746/sicetr.57.2	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 Kobayashi Hiroyuki	4. 巻 35
2. 論文標題 Indoor Positioning Scheme Using Off-the-Shelf Lighting Fixtures' Fingerprints	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 780~787
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20965/jrm.2023.p0780	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Hung Chung-Wen, Kobayashi Hiroyuki, Wu Jun-Rong, Song Chau-Chung	4. 巻 8
2. 論文標題 End-to-End Deep Learning by MCU Implementation: Indoor Localization by Sound Spectrum of Light Fingerprints	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Robotics, Networking and Artificial Life	6. 最初と最後の頁 186~192
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2991/jrnal.k.210922.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 小林裕之
2. 発表標題 既設照明装置の個体差を用いた自己位置推定手法 "CEPHEID" の精度向上の検討
3. 学会等名 第23回公益社団法人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(SI2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小澤 陸人、小林 裕之
2. 発表標題 深層学習を用いた既設照明光による 3 次元自己位置推定
3. 学会等名 第23回公益社団法人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(SI2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小澤 陸人、小林 裕之
2. 発表標題 室内における照明機器による3次元自己位置推定の検討
3. 学会等名 電気学会産業応用部門次世代産業システム研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林裕之
2. 発表標題 照明光を利用した手軽に使えるノーコード×オーダーメイド屋内定位サービスの開発
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 Hiroyuki Kobayashi
2. 発表標題 Improvement of the lighting fixtures based indoor localization method CEPHEID
3. 学会等名 Computer Science and Data Engineering (CSDE), IEEE Asia-Pacific Conference on (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroyuki Kobayashi
2. 発表標題 Improvement of the Interpolation for the Self Localization Technique “CEPHEID” Using Neural Network with Attention Mechanism
3. 学会等名 2023 IEEE Asia-Pacific Conference on Computer Science and Data Engineering (CSDE) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Rikuto Ozawa and Hiroyuki Kobayashi
2. 発表標題 A Study on Acquisition of 3D Self-Localization by Fluorescent Lights
3. 学会等名 the 20th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小澤 陸人、小林 裕之
2. 発表標題 深層学習を用いた室内照明光による3次元空間での自己位置推定に関する研究
3. 学会等名 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小澤 陸人、小林 裕之
2. 発表標題 既設照明光の個体識別手法 “CEPHEID” による自己位置情報の次元拡
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小澤 陸人、小林 裕之
2. 発表標題 深層学習を用いたブラウザ環境下で非接触操作を提供する汎用ソフトウェアモジュールの提案
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小澤 陸人、小林 裕之
2. 発表標題 既設照明光の個体差を利用した3次元での自己位置推定の検討
3. 学会等名 第24回公益社団法人計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会(SI2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hung, Chung-Wen and Kobayashi, Hiroyuki and Wu, Jun-Rong and Song, Chau-Chung
2. 発表標題 Low-Cost Indoor Localization Using Sound Spectrum of Light Fingerprints
3. 学会等名 the 2021 International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

既設証明による屋内高性能定位技術CEPHEID(セファイド) <a href="https://www.youtube.com/watch?v=K0lfo0JEo-U">https://www.youtube.com/watch?v=K0lfo0JEo-U</a> 【大阪工業大学 OIT BREAKTHROUGH】既設照明光を用いた屋内定位技術CEPHEID <a href="https://www.youtube.com/watch?v=ehuETFQ_ewg">https://www.youtube.com/watch?v=ehuETFQ_ewg</a>
---

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		
台湾	National Yunlin University	National Formosa University	