

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：31303

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K11272

研究課題名(和文) マルチセンシング情報を用いる屋内位置推定法に関する研究

研究課題名(英文) Location estimation using multiple items of sensed information in indoor environment

研究代表者

工藤 栄亮 (Kudoh, Eisuke)

東北工業大学・工学部・教授

研究者番号：80344696

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)：屋外ではGPSを用いる位置推定が広く普及しているものの、屋内ではGPS衛星からの電波を受信しづらい。また、屋内に設置した無線機からの電波は、フェージングやシャドウイングの影響を受けるため受信電力のみで高精度な位置推定を行うことは困難である。ところで、温度、湿度、照度等のセンシング情報も位置に依存する。

本研究では、受信電力ばかりでなく、温度、湿度、照度等のセンシング情報を用いる屋内位置推定法について検討し、最小誤差位置推定法に比べ、ニューラルネットワークを用いる方がより高精度な位置推定を行うことができること、時間情報も加えることより高精度な位置推定を行うことができること等を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、高精度な屋内位置推定法に関するものであり、ゲームやナビゲーションなどのアプリケーションだけでなく、倉庫や工場における物品管理など広範囲な分野への応用が期待される。また、本位置推定法はさまざまなセンシング情報を利用するものであり、IoT技術の普及、Society5.0で不可欠なサイバー空間(仮想空間)の構築にも資する技術である。さらに、位置推定アルゴリズムとして、近年注目されているニューラルネットワークを利用する機械学習も利用している。

研究成果の概要(英文)：Although GPS-based location estimation is widely used outdoors, receiving radio waves directly from satellites is difficult in an indoor environment, which hinders location estimation using satellites signals. Additionally, radio waves from wireless devices installed indoors are influenced by fading and shadowing, making it difficult to achieve accurate location estimation only based on received signal power. On the other hand, sensed information such as temperature, humidity, and illuminance is also location-dependent.

In this study, we investigated an indoor location estimation method that incorporates not only received signal power but also multiple items of sensed information such as temperature, humidity, and illuminance. We demonstrated that using neural networks enables more accurate location estimation compared to the minimum mean square error estimation method. Furthermore, we revealed that incorporating time information enhances the accuracy of the estimation.

研究分野：移動無線通信とその応用技術

キーワード：位置推定 マルチセンシング情報 IoT ZigBee

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ナビゲーションやゲームなど、位置情報を利用するアプリケーション分野は拡大し、利用者も増大し続けている。屋外では衛星からの電波を直接受信可能なため、GPSを用いる高精度な位置推定が可能であり、カーナビ等で広く利用されている。しかしながら、屋内では衛星からの電波を直接受信できず、GPSによる位置推定も困難である。電波による位置推定法には、受信電力、送受信機間の遅延時間差、到来方向を利用する方法があるが、屋内では、直接波以外に様々な方向から反射・散乱された波が多数存在するため、遅延時間差や到来方向からは正確な位置を推定することは困難である。無線伝搬路は距離に依存する距離減衰、シャドウイング、フェージングの積で表される。ここで自由空間伝搬を仮定すると、20mと21m($\Delta d=1m$)の距離減衰量の差は0.4dB、20mと30m($\Delta d=10m$)の距離減衰量の差は3.5dBしかない(図1)。受信電力は距離減衰だけでなく、標準偏差が6~8dBの対数正規分布に従うシャドウイングや30~40dBもの落ち込みを発生するレイリー分布に従うフェージングの影響も受けるため、受信電力だけで高精度に位置推定することは実際上不可能である。

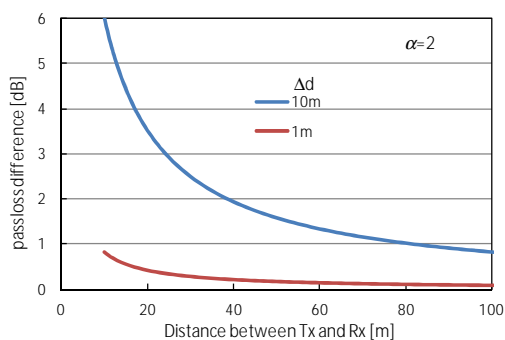
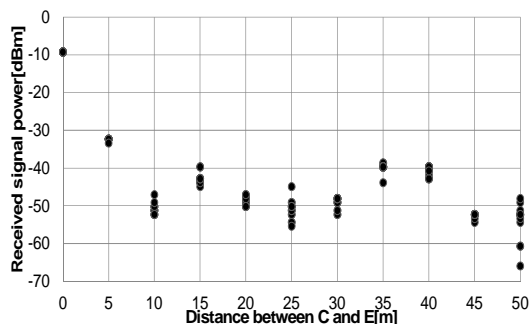


図1 距離差をパラメータとした距離と距離減衰の違いの関係

2. 研究の目的

IoTが普及し、様々な物がインターネットに繋がる世界では、温度、湿度、照度等の様々なセンシング情報も取得可能となる、これらのセンシング情報も位置に依存することが予想される。図2, 3に我々が本学内の廊下で測定した、受信電力と距離、温度と距離の測定例を示す。これらの図より受信電力よりも温度の方がばらつきが小さく、しかも距離に依存していることがわかる。したがって、受信電力ばかりでなく、温度、湿度、照度等の様々なセンシング情報を用いることによって、高精度な位置推定を行えることが期待できる。本研究では、このように受信電力ばかりでなくマルチセンシング情報を用いて屋内環境における位置推定技術を確立することを目的としている。



2 受信電力と距離の関係の測定例

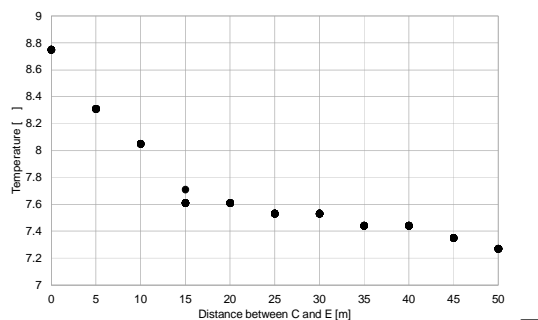


図3 温度と距離の関係の測定例

3. 研究の方法

本研究では、屋内において、受信電力ばかりでなく、温度、湿度、照度等のマルチセンシング情報を用いる位置推定法を確立することを目的としている。これまで、受信電力、温度、湿度、照度をマルチセンシング情報として用いることにより、本学内の廊下で実験を行い、MMSE (Minimum Mean Square Error) 基準を用いる位置推定法を提案し、受信電力だけを用いて位置推定を行う場合に比べ、位置推定誤差を大幅に低減できることを示した。本研究では、(1)位置推定アルゴリズムの高精度化、(2)マルチセンシング情報の拡張、(3)位置推定エリアの拡張を目指し

て、受信電力ばかりでなくマルチセンシング情報も用いる位置推定法を提案し、その有効性を屋内実験によって示す。

4. 研究成果

(1) 位置推定アルゴリズムの高精度化

近年、推定アルゴリズムとしてニューラルネットワークを用いる機械学習が注目されている。そこで、ニューラルネットワークを用いる位置推定法を提案し、MMSE(Minimum Mean Square Error) 基準を用いる位置推定法と比較した。図4に実際の位置と推定された位置が $\pm 2.5\text{m}$ の範囲で一致する確率を示す。図5に位置推定誤差の標準偏差を示す。参考のため、教師データを構築したセンサ(固定センサ)に対する位置推定結果も示す。移動させるセンサに対する位置推定を行う場合(移動)MMSE法では、一致確率が約48%であるのに対し、ニューラルネットワークを用いるバックプロパゲーション法(BP法)では約51%となり、BP法の方が大きくなる。誤差の標準偏差に関してもBP法はMMSE法に比べ約3.5m小さくなるのがわかる。実際に位置推定を行うのは移動させるセンサに対してであり、ニューラルネットワークを用いるBP法の方がMMSE法よりも良好な推定精度が得られることがわかる。

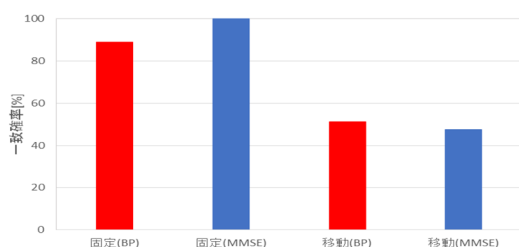


図4 一致確率

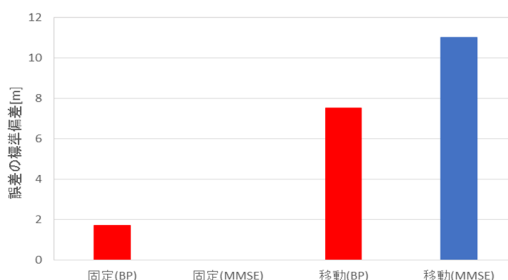


図5 位置推定誤差の標準偏差

次に、ニューラルネットワークの構成法についても検討した。2次元の位置を推定するニューラルネットワーク(2次元ニューラルネットワーク)(図6)では、センサの直交する2つの軸の正しい座標を推定しなければならないが、設置したセンサの中から最も近いセンサを推定するニューラルネットワーク(最近接無線端末ニューラルネットワーク)(図7)を構成すれば、より高精度な位置推定になると期待できる。

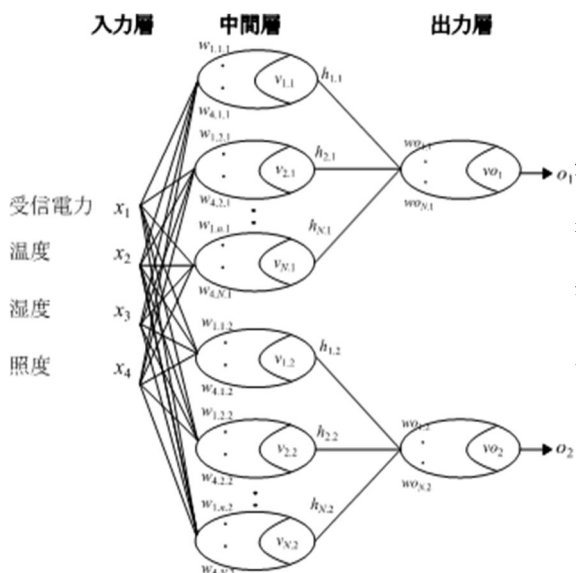


図6 2次元ニューラルネットワーク

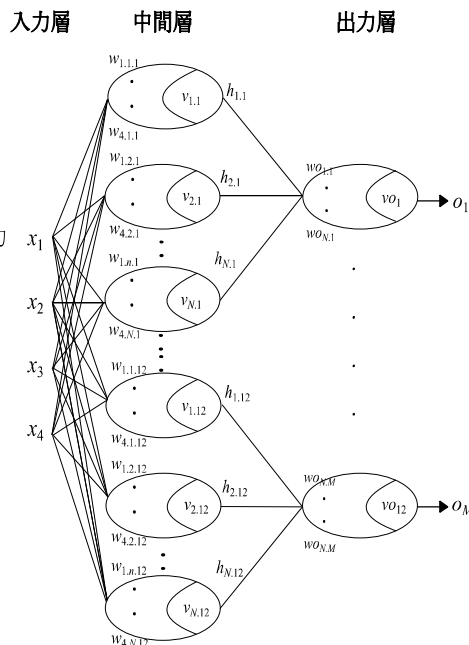


図7 最近接無線端末ニューラルネットワーク

図8に推定すべきセンサに対する推定位置と実際の位置の一致確率を示す。参考のため、MMSE法で求めた結果も示す。同図より、最近接無線端末ニューラルネットワークでは、中間層のセル数を3にした時が最も高い一致確率が得られた。更に、この場合の推定すべきセンサ及び教師データの一致確率はどちらも、2次元ニューラルネットワークやMMSE法で得られた値より

も高い値が得られた。以上より 最近接無線端末ニューラルネットワークを用いる方が、MMSE 法や2次元ニューラルネットワークに比べ高い一致確率を得られる可能性があることを示した。

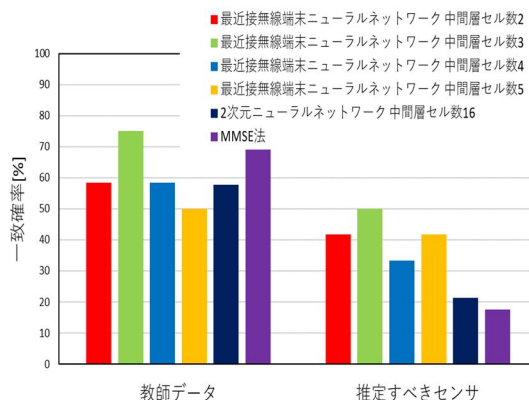


図8 推定された位置と実際の位置の一致確率

上述の位置推定システムは、オフラインのバッチ処理によるものであるが、リアルタイムで動作するシステムを構築し（図9）、リアルタイムで位置推定を行い、本システムではデータベース作成用センサの数が6個までの場合に推定結果を表示できることを確認した（図10）。

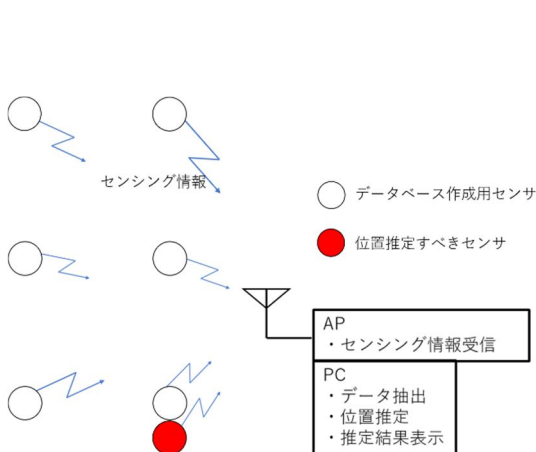


図9 位置推定可視化システムの構成

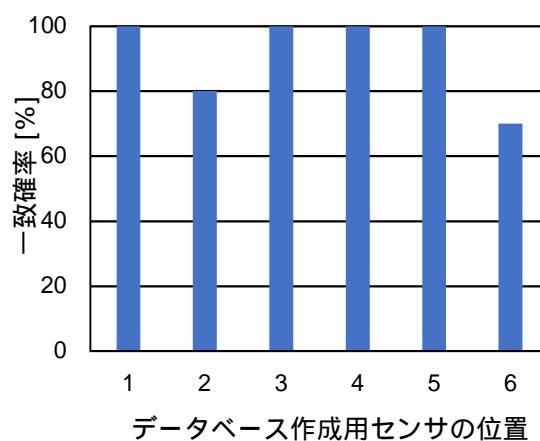


図10 一致確率

(2) マルチセンシング情報の拡張

センシング情報は時間変動する。したがって、受信時刻も用いればより高精度な位置推定を行うことが期待できる。そこで、高度が異なる屋内において、時間情報とマルチセンシング情報を用いる位置推定を行った。図11に推定された位置と実際の位置の一致確率を示す。時間情報を用いない位置推定の一致確率は26.1%であった。一方、時間情報を用いる位置推定の一致確率は37.8%であり、時間情報を用いない場合に比べ高い一致確率が得られた。

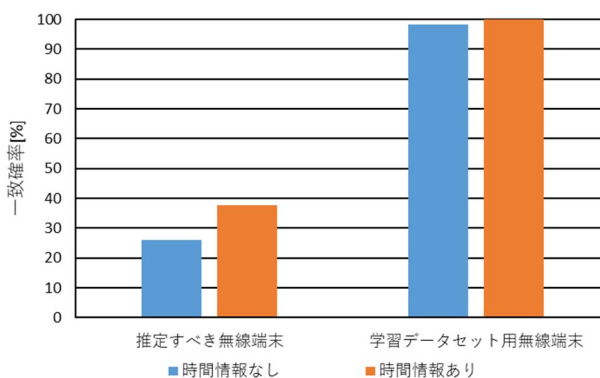


図11 推定された位置と実際の位置の一致確率

(3) 位置推定エリアの拡張

本学教室において、マルチセンシング情報を用いる位置推定を行い、受信電力のみを用いる場合に比べ、マルチセンシング情報を用いる方が高精度な位置推定結果が得られた（図12）。さらに

高度が異なる空間において、マルチセンシング情報を用いる屋内位置推定を行った。その結果、高度が異なる空間においても、受信電力のみを用いる場合に比べ、マルチセンシング情報を用いる方が高精度な位置推定結果が得られた(図13)。

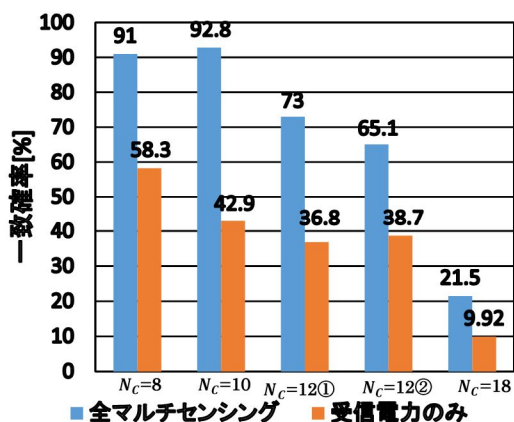


図12 2次元空間における一致確率

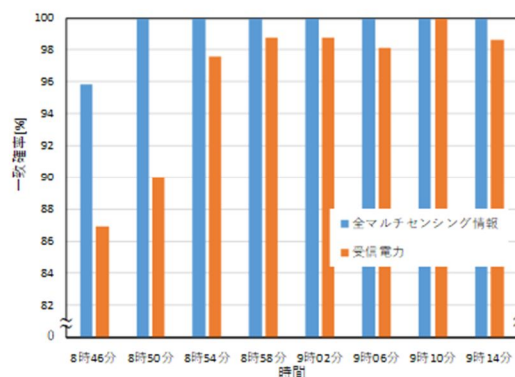


図13 高度が異なる空間における一致確率

引用文献

- [1] 工藤栄亮, "マルチ情報を用いる屋内位置推定法," 信学技報, RCS2017-191, pp. 131-134, 2017年10月.(招待講演)
- [2] 狩野孝介, 工藤栄亮, "マルチセンシング情報を用いる機械学習屋内位置推定法," 平成31年東北地区若手研究者研究発表会, YS17-C-2, pp.57-58, 2019年3月.
- [3] 佐藤駿輝, 工藤栄亮, "機械学習2次元屋内位置推定におけるニューラルネットワーク構成法に関する検討," 令和5年東北地区若手研究者研究発表会, YS-21-C03, pp.61-62, 2023年3月.
- [4] 寺田恭介, 工藤栄亮, "ZigBee無線モジュールを用いる2次元屋内位置推定リアルタイム可視化システムの構築," 令和5年東北地区若手研究者研究発表会, YS-21-C04, pp.63-64, 2023年3月.
- 川村廉, 工藤栄亮, "マルチセンシング情報を用いる機械学習による高度が異なる屋内位置推定," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-15-21, p.298, 2022年9月.
- [5] 三浦駿, 工藤栄亮, "マルチセンシング情報を用いる最小誤差2次元屋内位置推定法," 平成31年東北地区若手研究者研究発表会, YS17-C-3, pp.59-60, 2019年3月.
- [6] 三井悠羽, 工藤栄亮, "マルチセンシング情報を用いる高度が異なる屋内位置推定," 令和2年東北地区若手研究者研究発表会, R2-B-05, pp.33-34, 2020年2月.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計23件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Ren Kawamura, Eisuke KUDOH
2. 発表標題 Machine learning method for location estimation at various altitudes using multiple items of sensed information in indoor environment
3. 学会等名 Proc. 2022 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC 2022) (Student Presentation Award 受賞) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川村廉, 工藤栄亮
2. 発表標題 マルチセンシング情報を用いる機械学習による高度が異なる屋内位置推定
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川村廉, 工藤栄亮
2. 発表標題 マルチセンシング情報を用いる機械学習による高度が異なる屋内位置推定におけるニューラルネットワーク構成法に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会スマート無線研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 生方結城, 工藤栄亮
2. 発表標題 2台の受信電力とマルチセンシング情報を用いる最小誤差1次元屋内位置推定
3. 学会等名 令和5年東北地区若手研究者研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋春翔, 工藤栄亮
2. 発表標題 2 台の受信電力とマルチセンシング情報を用いる最小誤差2次元屋内位置推定における基礎検討
3. 学会等名 令和5年東北地区若手研究者研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤駿輝, 工藤栄亮
2. 発表標題 機械学習2次元屋内位置推定におけるニューラルネットワーク構成法に関する検討
3. 学会等名 令和5年東北地区若手研究者研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 寺田恭介, 工藤栄亮
2. 発表標題 ZigBee無線モジュールを用いる2次元屋内位置推定リアルタイム可視化システムの構築
3. 学会等名 令和5年東北地区若手研究者研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Eisuke KUDOH, Haruki KONNO
2. 発表標題 2 Dimensional Location Estimation Applying Machine Learning Using Multiple Items of Sensed Information in Indoor Environments
3. 学会等名 Proc. 2021 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川村廉, 工藤栄亮
2. 発表標題 未知の無線端末に対する複数の受信電力とマルチセンシング情報を用いる高度が異なる最小誤差位置推定
3. 学会等名 2021年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川村廉, 工藤栄亮
2. 発表標題 最小誤差屋内位置推定におけるマルチセンシング情報の影響
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Eisuke KUDOH, Yuhwa MITSUI
2. 発表標題 Location estimation in indoor environment at various altitudes using multiple items of sensed information
3. 学会等名 Proc. 2020 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今野遥貴, 工藤栄亮
2. 発表標題 機械学習2次元屋内位置推定における教師データの学習順序の検討
3. 学会等名 令和3年東北地区若手研究者研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤有磨, 工藤栄亮
2. 発表標題 2台の受信電力とZigBee無線モジュールによるマルチセンシング情報を用いる1次元屋内位置推定
3. 学会等名 令和3年東北地区若手研究者研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川村廉, 工藤栄亮
2. 発表標題 複数の受信電力とマルチセンシング情報を用いる高度が異なる屋内位置推定
3. 学会等名 令和3年東北地区若手研究者研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Eisuke KUDOH, Kosuke KARINO
2. 発表標題 Location Estimation in Indoor Environments Using Multiple Items of Sensed Information
3. 学会等名 Proc. The 2nd International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communicatuin (ICAIIC 2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Eisuke KUDOH
2. 発表標題 Location Estimation Using Multiple Items of Sensed Information in Indoor Environments
3. 学会等名 Proc. 4th Japan-Russia Joint Microwave and Telecommunication Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Eisuke KUDOH, Kosuke KARINO
2. 発表標題 Location Estimation Applying Machine Learning Using Multiple Items of Sensed Information in Indoor Environments
3. 学会等名 Proc. The 11th International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三井悠羽, 工藤栄亮
2. 発表標題 マルチセンシング情報を用いる高度が異なる屋内位置推定
3. 学会等名 令和2年東北地区若手研究者研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小原瑠平, 工藤栄亮
2. 発表標題 複数の無線局からの受信電力を用いる屋内位置推定に関する検討
3. 学会等名 令和2年東北地区若手研究者研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅原将真, 工藤栄亮
2. 発表標題 マルチセンシング情報を用いる屋内位置推定の時間変動特性
3. 学会等名 令和2年東北地区若手研究者研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 狩野孝介, 工藤栄亮
2. 発表標題 マルチセンシング情報を用いる機械学習屋内位置推定法
3. 学会等名 平成31年東北地区若手研究者研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三浦駿, 工藤栄亮
2. 発表標題 マルチセンシング情報を用いる最小誤差2次元屋内位置推定法
3. 学会等名 平成31年東北地区若手研究者研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Eisuke KUDOH, Kosuke KARINO
2. 発表標題 Location Estimation Applying Machine Learning Using Multiple Items of Sensed Information in Indoor Environments
3. 学会等名 The 11th International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 位置推定システムおよび位置推定方法	発明者 工藤栄亮	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-140874	出願年 2022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
---------	---------