

Bluetooth 機器の受信信号強度と位相を用いた生体位置推定

Position Estimation of the Human Body Using Received Signal Strength and Phase from a Bluetooth Device

○今福和*, 市地慶*, 阿部勇大*, 杉田典大*, 吉澤誠*

Kazu Imafuku*, Kei Ichiji*, Yudai Abe*, Norihiro Sugita*, Makoto Yoshizawa*

*東北大学

Tohoku University

キーワード : Bluetooth (Bluetooth), 位置推定 (Position Estimation), 機械学習 (Machine Learning), 受信信号強度 (Received Signal Strength), 受信信号位相 (Received Signal Phase)

連絡先 : 〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05 東北大学工学研究科・工学部サイバーフィジカルシステム研究室
今福和, Tel.: 022-795-7130,
E-mail: imafuku.kazu.q1@dc.tohoku.ac.jp

1. はじめに

日本では少子高齢化と人口減少により、労働力不足が深刻化している。これを背景に、物流倉庫の自律制御での集荷・仕分けや飲食店のロボットによる配膳など、ロボット技術の活用が進んでいる。人とロボットが共存する環境におけるロボットの導入・利用の効果を最大化するためには、ロボットからは見えない位置であっても人の位置を正確に把握することが求められる。

このような位置情報を活用することで、ロボットの経路計画の最適化や、人流の把握による混雑回避が可能となり、安全性・利便性の向上が期待される。

室内環境における人の位置推定には、カメラ、ウェアラブル端末、電波などを用いた手法が様々な提案・利用されている¹⁾。カメラを用いる手法はプライバシーの懸念が大きく、監視への抵

抗感を生む可能性がある。一方、ウェアラブル端末は装着の煩わしさや携帯忘れの問題があり、運用の継続性に課題がある。ロボットが人と共存しながら自律的に動作する環境では、継続的かつリアルタイムな位置情報の取得が求められるため、プライバシーに配慮し、人が特別な端末を装着せずとも利用できる手法が望ましい。そこで本研究では、プライバシーに配慮し、端末装着が不要な電波を用いた手法に着目する。特に、低コストかつ低消費電力な Bluetooth Low Energy (BLE) 電波を活用し、実用性の高い位置推定システムの構築を目指す。

BLE 電波を用いた端末装着不要な位置推定は多く研究されているが、従来の手法は受信信号強度 (Received Signal Strength Indicator : RSSI) の変動を利用した推定²⁾が主流であり、端末装着型³⁾と比べて精度が低いという課題がある。そこで本研究では、BLE の位相情報に着

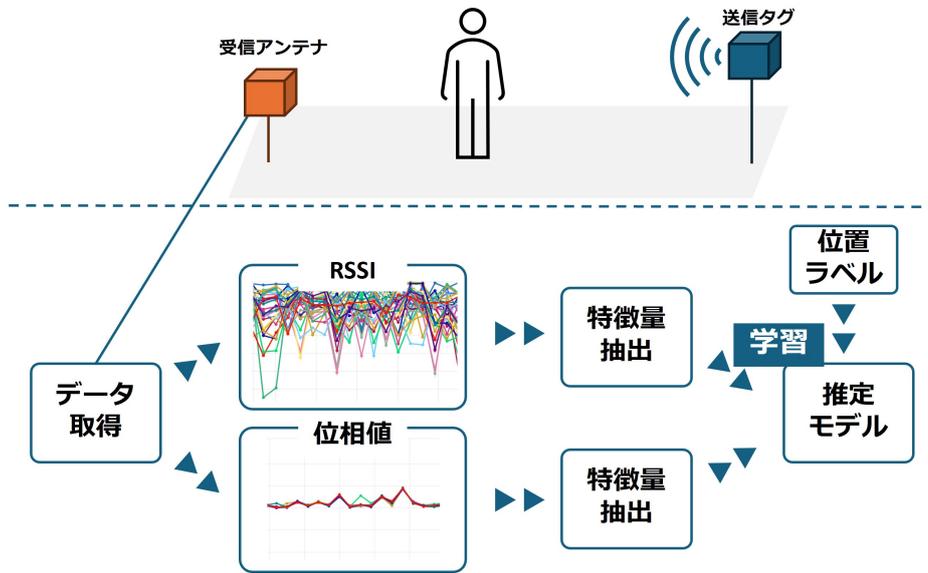


Fig. 1 位置推定モデル構築の流れ

目し、RSSIと位相情報を組み合わせた位置推定モデルを提案し、高精度な推定の実現を追求する。

2. 提案手法

提案手法による位置推定モデル構築の流れを Fig.1 に示す。本研究では、BLE の送信機と受信機を 1 対 1 で配置し、受信機にはアレイアンテナを用いる。アレイアンテナは複数のアンテナ素子で構成されている。これにより各素子間の位相差を計算し、位相情報を取得する。RSSI は、信号強度を表す指標である。各アンテナから得た RSSI と位相情報を時間窓で平均化し、位置推定の特徴量として利用する。これを線形 Support Vector Machine (線形 SVM) に学習させ、位置推定モデルを構築する。

3. 位置推定性能評価実験と結果

3.1 実験概要

Fig.2 に示すように、 $2m \times 2m$ の範囲を 50 cm グリッドに区切り、計 25 点の測定点を設定した。測定環境には 2 つの扉があり、すべて閉じた状態で 10 日間にわたり測定を実施し、計 12 個のデータセットを取得した。実験では、時間

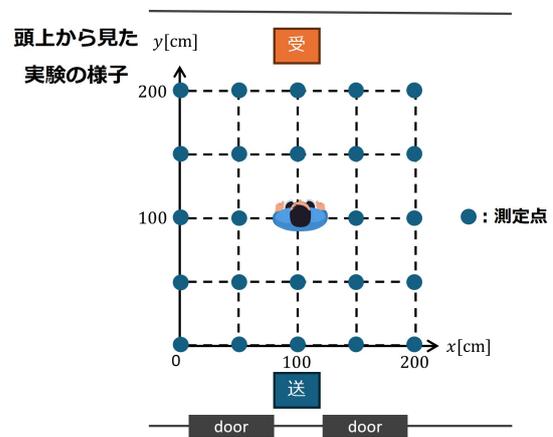


Fig. 2 評価実験の実験環境

窓で平均化した各アンテナの特徴量を説明変数とし、RSSI のみを用いた場合と、RSSI と位相情報を併用した場合で一つ抜き交差検証を実施し、精度を比較した。

3.2 位相情報追加時の位置推定性能

Fig.3 に示すように、RSSI と位相情報を併用したモデルは、多くの検証データで RSSI のみの場合よりも位置推定精度が向上した。しかし、位相情報の効果や推定精度にはばらつきが見られ、気温、湿度、モノの配置などの環境変化が影響している可能性がある。そこで、環境変化が精度に与える影響を検証するため、追加実験を実施した。

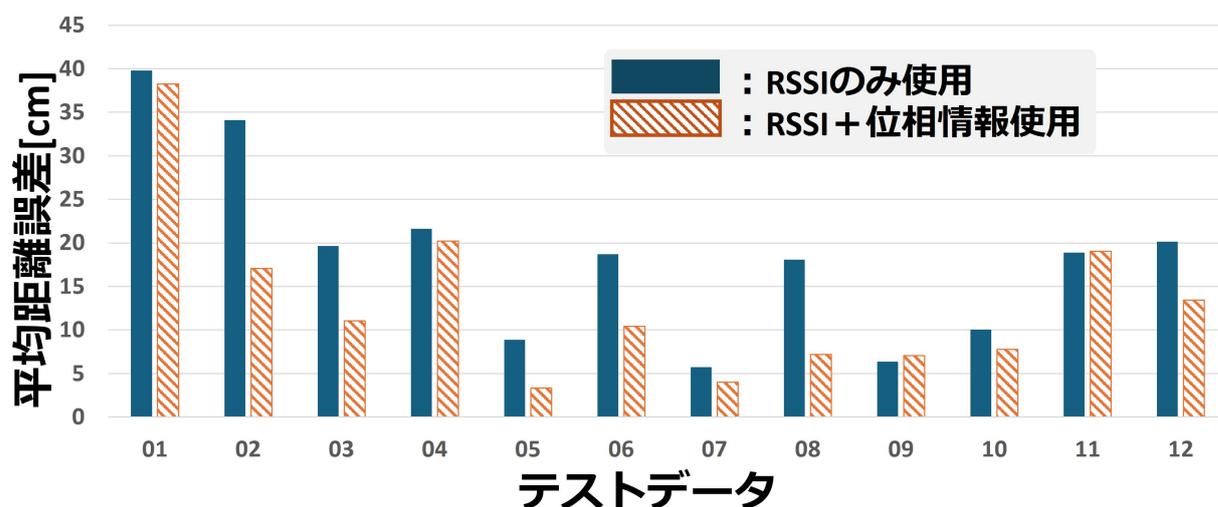


Fig. 3 評価実験の結果

3.3 室内環境変化時の影響評価

追加実験では、評価実験と同様の環境を用い、意図的に環境変化を発生させた際の影響を検証した。評価実験では扉を閉めた状態で測定を行ったが、追加実験では測定範囲に近い2つの扉を開け、分類精度や平均距離誤差の変化を調査した。その結果、環境変化により平均距離誤差が大きく増加し、推定精度に大きな影響を与えることが確認された。具体的には、RSSIのみを用いた場合、平均距離誤差が72.2cm増加し、RSSIと位相情報を組み合わせた推定では43.2cmの増加にとどまった。また、位相情報は一定の有用性を示すものの、その効果はデータ取得日時や環境要因によって変動することが明らかとなった。今後は、人を模したロボットを活用した継続的なデータ取得を行い、位相情報が有効に機能する条件と、適用が困難な条件を詳細に調査する必要がある。

効果にはばらつきもみられた。環境変化が影響を与える要因の一つであることは示唆されたが、どのような環境変化が位相情報に影響を及ぼすのかは明らかではない。そのため、今後は継続的なデータ取得を通じて、環境変化が位相情報の有用性に与える影響を詳しく検証する。

参考文献

- 1) 大槻 知明: 電波による見守り技術, 電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン, **11-1**, 24/29 (2017)
- 2) N. Kuxdorf-Alkirata and M. et al.: A device-free indoor localization system based on supervised learning and Bluetooth Low Energy, In 2021 IEEE International Mediterranean Conference on Communications and Networking, 413/418 (2021).
- 3) L. Albraheem and S. Alawad: A hybrid indoor positioning system based on visible light communication and Bluetooth RSS trilateration, *Sensors*, **23-16**, (2023).

4. おわりに

本研究では、端末装着不要な Bluetooth 信号を用いた位置推定手法を提案した。実験の結果、RSSI に位相情報を組み合わせることで、位置推定精度が向上することが確認されたが、その