

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：32714

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11778

研究課題名（和文）測距・測位不要な信号源同士の近接関係推定による信号源クラスタリング

研究課題名（英文）Signal source clustering by estimating the proximity relationship between signal sources that eliminates the need for ranging and positioning

研究代表者

川喜田 佑介（Kawakita, Yuusuke）

神奈川工科大学・情報学部・准教授

研究者番号：30468540

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）：本研究では、測距・測位不要な信号源同士の近接関係推定を行うことで、信号源のクラスタリング結果の時間推移を得て、各々のクラスタのアノテーションを活用する近接性アプリケーションの創出を目的とした。研究を実施した結果、観測されたすべてのRSSIやWiFi CSI系列を用いてクラスタリングを実施すると、処理時間が現実的でないことがわかり、予め使用する系列を選択するなどの前処理が有用であることを明らかにした。また、本研究で想定する環境（パッシブシステム）では、想定するタスクで必要とする精度を実現することは難しくモダリティの追加や機械学習の導入等が必要であることもわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

BLEビーコンは、主に店舗でのクーポンの配布や店舗への送客といったO2Oの分野で活用されてきた。しかし、当初の期待と比較して普及活用されているとは言いきれない。これは、ビーコンなどのPoIを設置し対応するアプリケーションをあらかじめスマートフォンにインストールする必要があるなどの事前の準備の煩雑さが問題となっている。本研究では、これらのO2Oにおけるビーコンとは別に、既に設置された無線LANアクセスポイントやユーザが携帯するデバイスなどの信号源をクラスタリングすることで、信号源同士の近接性を利用するアプリケーションを創出しユーザへの導入が用意になると考えられる。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study was to obtain time trends of the clustering results of signal sources by estimating the proximity relationship between signal sources that do not require ranging and positioning, and to create proximity applications that utilize the annotations of each cluster. The results of the study showed that clustering using all observed RSSI and WiFi CSI series would be impractical in terms of processing time, and that pre-processing, such as selecting the series to be used in advance, would be useful. It was also found that in the environment assumed in this study (passive system), it is difficult to achieve the accuracy required for the assumed task, and additional modalities or machine learning may be necessary.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：無線通信 クラスタリング IoT

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

半導体技術の進歩による低消費電力化、バッテリーの小型軽量化により BLE タグなどの無線タグが市販されている。無線タグの用途として位置推定は関心が高く、多くの位置推定手法が提案されているが、既存の位置推定手法はあらかじめ位置のわかっているノードを配置するなど事前の準備が必要とすることが普及の妨げとなってきた。

研究実施者は、設置済みあるいは各ユーザが携帯する信号源をクラスタリングし、そのクラスタリングの変化をアノテーションできれば、新たな近接性アプリケーションが創出できるのではと考えた。ここで、意味のあるクラスタとは、「ユーザ A が携帯する信号源群のクラスタ」のようにアノテーションが可能なクラスタを指している。研究実施者らは、そのようなアプリケーションを対象として、測距・測位不要の信号源近接性推定技術を提案している。提案手法では、受信電力強度 (RSSI) の時系列データを特徴量とし、それぞれの系列間の類似度を距離関数で表し、階層的クラスタリングすることで近接関係を定量的に示すコーフェン行列とデンドログラムを得る。コーフェン行列から任意の信号源同士の近接性を定量的に表すことができる。提案法を含めた従来法は、時系列クラスタリングと呼ばれ、対象とするデータセットの全区間で1つのクラスタリング結果を出力する。

2. 研究の目的

本研究では、測距・測位不要な信号源同士の近接関係推定を行うことで、信号源のクラスタリング結果の時間推移を得、各々のクラスタのアノテーションを活用する近接性アプリケーションの創出を目的としている。そのようなアプリケーションを対象として、測距・測位不要の信号源近接性推定技術を研究開発する。

3. 研究の方法

2020年度は、大学の閉鎖等の影響で実証的な研究が難しかったこともあり、データの前処理の検討を進めた。本研究で対象とした RSSI 時系列データは、受信機の特徴から非線形となる領域や、測定が不可能となり欠損値となる領域があると考えられる。

当初計画ではユーザが携帯する BLE タグなどから発信されるビーコンの RSSI を観測しその近接性を推定する応用を考えていたが、コロナ禍による学生の入構制限によりクラスタリング対象となる信号源が単独あるいは少数にとどまるため、2021年度は使用環境に設置された無線 LAN アクセスポイントの BSSID を使用して観測者の状態を判別するタスクへ変更して研究を進めた。また、時系列データのクラスタリング手法のアルゴリズム選定を行い、時系列データのセグメントとクラスタリングを同時に使用可能な Toeplitz Inverse Covariance-based Clustering (TICC)をその候補とした。

2022年度は、精度の向上を期待して、RSSI 特徴量を近年行動認識などで注目される WiFi CSI 特徴量に拡張する検討を行った。

2023年度は、信号源同士の近接性 (階層的クラスタリング) の前段階として、基礎的な実験的評価により無線 LAN アクセスポイントの BSSID 毎の RSSI 時系列データから TICC を用いて観測者の在室判別を行う検討を行った。また、近年の無線 LAN の普及により多数の BSSID が観測され、観測されたすべての系列を用いて TICC を実施すると、処理時間が現実的なものにならないこともわかり、予め使用する系列を選択するなどの前処理が有用であることもわかった。さらに、精度の向上を期待して、RSSI 特徴量を近年行動認識などで注目される WiFi CSI に拡張する検討を行った。

4. 研究成果

2020年度のデータの前処理では、欠損値を補間する手法をオープンデータに適用し、その効果を確認[1]した。

2021年度は、信号源同士の近接性（階層的クラスタリング）の前段階として、基礎的な実験的評価により無線 LAN アクセスポイントの BSSID 毎の RSSI 時系列データから TICC を用いて観測者の在室判別を行うことが可能であると見通しを得た。また、近年の無線 LAN の普及により多数の BSSID が観測され、観測されたすべての系列を用いて TICC を実施すると、処理時間が現実的なものにならないこともわかり、予め使用する系列を選択するなどの前処理が有用であることもわかった。

2022年度の WiFi CSI 特徴量に拡張する検討[2][3][4]の結果、次元数が大きい WiFi CSI においては適切な次元圧縮が必要であることがわかった。また、WiFi CSI を用いた他の研究は WiFi パケットの送信と受信の双方の無線機を設置する環境を想定しているものが多いが、本研究で想定する環境では送信側は環境に予め設置されているものをわざわざをえれない。この場合、WiFi のトラフィック量を制御できず、取得できる特徴量に影響を与えることもわかった。

2023年度は、基礎的な実験的評価により無線 LAN アクセスポイントの BSSID 毎の RSSI 時系列データから TICC を用いて観測者の在室判別を行うことが可能であると見通しを得た。WiFi CSI への拡張の検討の結果、次元数が大きい WiFi CSI においては適切な次元圧縮が必要であることもわかった。WiFi CSI を用いた他の研究は WiFi パケットの送信と受信の双方の無線機を設置する環境を想定しているものが多いが、本研究で想定する環境(パッシブシステム)では送信側は環境に予め設置されているものをわざわざをえれない。この場合、WiFi のトラフィック量を制御できず、取得できる特徴量に影響を与えることもわかった。最終年度は、昨年度までの成果をさらに発展させ、Transformer を導入する検討を行った。RSSI 時系列データと TICC を用いた場合に比べて推定精度が十分ではなく、前処理や精度向上の課題が明確となった。

<引用文献>

- [1] 齋藤諄也, 田中博, 川喜田佑介, “[ポスター講演] 無線信号源の近接関係推定における欠損値補間の一検討,” 電子情報通信学会技術報告(SeMI), vol. 120, no. 261, SeMI2020-27, pp. 49-50, November 2020.
- [2] 加藤拓真, 岩田早叶, 高澤祐樹, 川喜田佑介, “TICC を用いた部屋判別における BSSID 系列数と処理時間についての一検討,” 電子情報通信学会技術報告(SeMI), vol. 122, no. 46, pp. 46-48, May 2022.
- [3] 加藤拓真, 夏天賦, 戸辺義人, 川喜田佑介, “[ショートペーパー] 部屋判別クラスタリングのための Wi-Fi CSI チャンネル選択についての一検討,” 電子情報通信学会技術報告(SeMI), vol. 122, no. 278, pp. 20-20, November 2022.
- [4] Takuma Kato, Tianfu Xia, Yoshito Tobe, Yuusuke Kawakita, “Relationship between the Wi-Fi CSI Channel Selection in Room Discrimination Using TICC,” ICGHIT 2023 pp. 8-10, January 2023.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 kuma Kato , Tianfu Xia , Yoshito Tobe , Yuusuke Kawakita
2. 発表標題 Relationship between the Wi-Fi CSI Channel Selection in Room Discrimination Using TICC
3. 学会等名 ICGHIT 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加藤拓真, 夏天賦, 戸辺義人, 川喜田佑介
2. 発表標題 〔ショートペーパー〕TICCを用いた部屋判別におけるCSIチャネル選択についての一検討
3. 学会等名 IEICE SeMI研2022年11月研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤拓真, 岩田早叶, 高澤祐樹, 川喜田佑介
2. 発表標題 TICCを用いた部屋判別におけるBSSID系列数と処理時間についての一検討
3. 学会等名 IEICE SeMI研2022年5月研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齋藤諄也, 田中博, 川喜田佑介
2. 発表標題 〔ポスター講演〕無線信号源の近接関係推定における欠損値補間の一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
---------	---------