

令和 4 年 6 月 12 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01439

研究課題名（和文）クラウドセンシングを用いた無線環境相関認識による異種システム周波数共有手法の研究

研究課題名（英文）Heterogeneous Spectrum Sharing Methods by Recognizing Correlation of Radio Environment using Crowd Sensing

研究代表者

藤井 威生 (Fujii, Takeo)

電気通信大学・先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター・教授

研究者番号：10327710

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究開発では、異なる無線システムの端末で発生した事象をもとに空間的な干渉状態把握と、無線伝搬状況の高精度な推定を自システム内で観測可能な情報により行い、異システムが互いに緩やかに連携した高効率周波数共有手法の検討を行った。ここでは、自システム内で観測可能な情報に対して、スパースモデリングおよび連合学習を活用することで、空間的な干渉状態把握と、電波伝搬に大きく依存するスループットの高精度な推定手法を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究開発ではスマートフォンや無線LAN端末といった個人端末で観測可能な自システムの受信信号電力やパケット誤りなどの情報を集約し、複数端末での観測値の相関関係を解析することで無線空間全体の状態を把握する研究であり、場所依存性や環境依存性が大きい無線環境把握の予見性を高め、安定した無線通信を実現するための技術である。将来的には無線LANやBluetoothなど周波数を共用するシステムの通信安定化に寄与するものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this research, we consider highly efficient spectrum sharing methods with coordination between multiple different systems by estimating spatial interference and highly accurate radio propagation using measurement information of their own system. We can confirm that the proposed methods can recognize interference situation and estimate highly accurate throughput, which is affected by radio propagation, by using measurement information of each system using Sparse Modeling and Federated Learning.

研究分野：移動通信

キーワード：クラウドセンシング 無線環境データベース 周波数共有

### 1. 研究開始当初の背景

あらゆるものがインターネットに接続される IoT(Internet of Things)時代の到来とともに、低速なセンサ情報から大容量動画伝送まで、無線通信の要求性能の多様性が急速に増している。特に免許なしで無線通信を利用できるアンライセンスバンド(日本では、920MHz, 2.4GHz, 5GHz帯など)では、キャリアセンス機能と一部帯域における時間軸での送信時間制限により周波数共用が実現されているが、端末が直接観測できない送信機との間で干渉を起こす隠れ端末問題などがあり、通信トラヒックの増加と共に通信品質が著しく劣化することが知られている。この解決法として、研究代表者は端末で観測可能なパケットのヘッダ情報をデータベース化することで、隠れ端末を予測し性能改善につなげる研究を行い、高効率な周波数共用手法を提案してきた。しかし、これまでの研究では、パケット解析を行う関係上、同一システムでの無線環境認識にとどまっており、多様な無線システムが混在する IoT 時代のアンライセンスバンドでの性能改善効果が限定的である課題があった。そのため、無線端末が自ら観測できないシステムとの相互の影響をいかに正確に認識し、いかにして相互の影響を避けて周波数共用を実現するかが、今後の無線利用の持続的拡大に向けて重要な問題である。

### 2. 研究の目的

多様なシステムが混在している環境での無線環境認識は、スペクトラムアナライザといった高価な測定装置により実現が可能である。しかし、無線を利用するあらゆる場所に測定装置を配置することは現実的でない。そこで、本研究開発では、自システムの通信中に得られる情報を集約して活用するクラウドセンシングとよばれる技術に着目する。情報を周辺システムが共用するエッジサーバに蓄積し、無線環境認識に活用することで、システム間が緩やかに協調して同一周波数を共用する新たな異システム間周波数共用による高効率周波数利用の確立を目指す。本研究開発課題の全体構成を図1に示す。

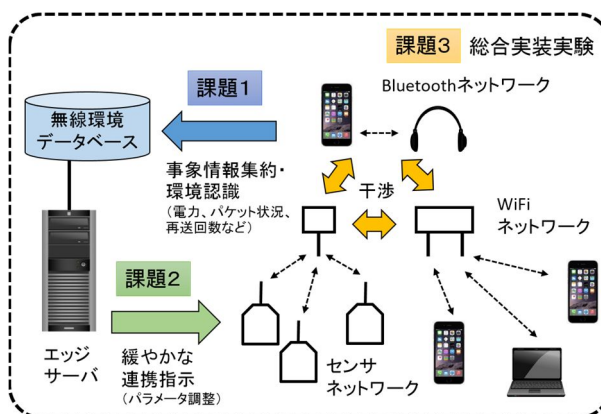


図1 研究課題全体図

研究代表者はクラウドセンシングを活用した無線環境認識の研究として、スマートフォンなどの無線端末が取得した観測値による無線環境マップの構築や、端末からの情報による無線LANの隠れ端末状況の解析に関する研究を、科研費基盤(B)(H27-29)や総務省委託研究(H25-27, H28)により世界に先駆けて実施してきた。一方で、同一周波数で異なるシステムが混在する環境でのクラウドセンシングによる無線環境認識の検討は、世界的にも報告例がない。本研究開発は、これまでの研究代表者が得た知見を発展させ、複数のシステムが通常の通信で取得した受信電力、パケット誤り、再送回数などの事象情報をエッジサーバに集約し、自システムのパケット誤りとは他システムの送信タイミング関係や、システムの送信状況に応じたスループットの変化など、システム間で発生した事象の相関を求めることで、システム間干渉や共用性能の分析を行い、特別な装置なしに直接観測できない無線環境を把握し、緩やかなシステム間の周波数共用に活用しようという意欲的な取り組みである。このような研究は国内外を見ても他に例がなく、非常に独創的であり、新たなアンライセンスバンドでの周波数共用性能改善に寄与する創造的な研究であると考えられる。

### 3. 研究の方法

本研究では、異なる無線システムの端末で発生した事象をもとに空間的な干渉状態把握と、無線伝搬状況の高精度な推定を自システム内で観測可能な情報により行い、異システムが互いに緩やかに連携した高効率周波数共用手法の検討を行う。最終的に、これらの技術を統合した「コーディネートドアンライセンスバンド」という新たな周波数共用技術を確立する。研究を着実に進めるため、以下の3つの研究課題に分割し目標を設定することで、何をどのように、どこまで明らかにしようとするのかを明確にした。

課題1. クラウドセンシングによる異種システム混在下での無線環境認識に関する研究：異なる無線システムが混在する環境で、端末が自システムで取得した受信信号強度、パケット誤り、再送などの事象の情報をデータベースに集約し事象間の関係を学習することで、空間的な相互干渉状況や電波の到達範囲など、複数システム混在の無線環境を高精度に把握する。

課題2. 緩やかなシステム間連携による高効率周波数共用手法の研究：課題1で高精度に推定した無線環境情報を活用し、各システムのトラヒックや通信パラメータを、コーディネータからの情報をもとに適応制御し、自律的な周波数共用機能を併用することで、帯域全体の周波数利用効率の改善を目指す。

課題3：統合システムの構築と周波数共用性能実証の研究：課題1、2で取り組んだ無線環境認識とシステム間連携技術をもとに、新たな周波数共用統合システムを確立し、本周波数共用技術の検証のため、緩やかなシステム間連携による周波数共用性能改善効果を実証する。

#### 4. 研究成果

本研究で実施した研究課題のうち、代表的な研究成果2件を選択して説明する。

##### <複数システム混在下におけるスパースモデリングを利用した干渉推定手法>

###### (1) はじめに

本研究では、複数のシステムが混在する環境下において、干渉関係を推定し性能改善につなげることを目的とする。異なる無線システムが存在する場合、システムごとに通信パラメータが異なるため干渉関係が複雑になる。そこで、複雑な相互干渉事象を構造化することのできるグラフ理論を活用し、事象の相関を求めることで複数システム混在下での無線環境認識を行う。この時、一つの端末に対して干渉する端末数は全端末数と比較すると一部となるという無線環境の物理的な特性に着目し、スパースモデリングによる干渉関係の推定を行う。さらに推定した干渉関係を利用し、隠れ端末の影響や他システムからの干渉を考慮した適応的な周波数選択を行う手法について検討する。

###### (2) システムモデル

図2にシステムモデルを示す。フュージョンセンタ(FC)を兼ねるスペクトラムデータベースが存在し、1対1の通信を行う送受信機ペアがランダムに配置される環境を考える。各送信機はタイムスロットごとにパケット生成確率に応じてパケットを生起し、キャリアセンスを行い送信または停止を決定する。送信成功を1、送信失敗を-1、停止、送信しない場合を0とした情報と端末IDをFCに送りデータベースを構築する。また、同一周波数を使用する他システムの干渉源を配置する。この干渉源は自システムのキャリアセンスでは検知できないものと仮定する。

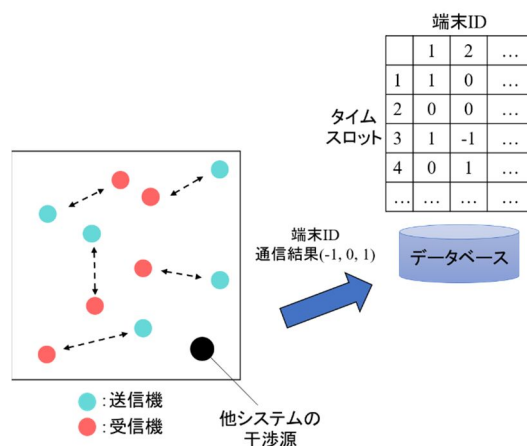


図2 システムモデル

###### (3) 提案手法 - スパースモデリングを利用した干渉推定手法 -

本提案では初めに、干渉関係のスパース性を利用した干渉推定手法を説明し、推定結果を利用したチャネル割当について述べる。その後、相関異常検知により、自システムで得た時系列データのみを用いて他システムからの干渉を推定する手法について述べる。

###### 自システム内の干渉の推定

収集した時系列データから端末間の干渉関係を表すグラフ構造を推定するためには共分散逆行列を推定する必要がある。しかし、すべての変数の組合せに対して共分散の検定を行うと、変数の数が大きい場合計算量が膨大になる。多くの端末が存在する場合、一つの端末に対して干渉を引き起こす端末は全端末からみれば一部となることに着目し、スパース性を利用した構造推定手法である Graphical Lasso により干渉関係の推定を行う。

提案手法ではまず蓄積した通信結果の時系列データから標本共分散行列  $S$  を計算する。 $S$  は要素  $(j, k)$  に端末  $j$  と端末  $k$  の時系列データから計算した共分散値を持つ。 $S$  を Graphical Lasso に入力し、干渉関係を表す共分散逆行列  $\Omega$  を出力する。通信結果を入力することで、1つの端末から見た時、遠方にある関係性のない端末との要素は0と推定され、近傍の干渉関係にある端末との相関のみが出力される。今回は  $\Omega$  の非0成分を1として二値化を行い、干渉関係の有無を推定する。

###### 異常検知による他システムからの干渉の推定

自システム内の干渉関係をグラフ構造によって表す手法を拡張し、自システムで取得可能な情報のみを用いて他システムからの干渉を推定する。通信結果を蓄積したデータセットA、データセットBの二つが与えられた場合について考える。まず、それぞれのデータセットから Graphical Lasso によりグラフを学習する。二つのグラフを比較し、他システムから影響を受けている端末を特定する。異常があると判定した場合、その端末のパケット到達率を計算する。パケット到達率が低下していた場合、他システムからの影響が発生したと判定する。その後隠れ端末グラフを作成する際に、隠れ端末グラフ上に仮想的にノードを1つ配置し、他システムからの影響を受けたと判定した端末と近傍の端末に仮想的に配置したノードとのエッジを付加する。

###### グラフアルゴリズムによるチャネル割当

まず、端末間の関係性を表す  $\Omega$  から、干渉関係にある端末同士を結ぶグラフを作成する。端末間の関係性の有無はノード  $V$  とエッジ  $E$  を持つグラフ  $G(V, E)$  で表すことができる。各端末をノード、関係性の有無をエッジの有無で表現する。次に端末間の干渉関係を表すグラフから隠れ端末となる端末同士を結ぶグラフを構築する。想定環境のように送信機と受信機が異なる場合、隠れ端末は端末の位置によって決定される。送信機同士が互いに直接干渉を引き起こす位置に存在

する場合、受信機の位置に依存せずキャリアセンスにより衝突を回避できる。一方、送信機同士がキャリアセンスの範囲外に存在し、受信機が他の送信機から干渉を受ける時、その端末は隠れ端末となり同時に通信が行われると衝突が発生する。送信機の直接干渉グラフ上で繋がっていない、かつ、受信機の直接干渉グラフ上で繋がっているものがそのペアから見た隠れ端末となる。最後に、隠れ端末を表すグラフを元に、隠れ端末となる組合せが最小となるようにチャンネルの割当てを行う

#### (4) 結果

図3に環境が変化しない場合の他システムからの干渉の推定結果を示す。環境に変化がない場合、提案手法は変化を検知しないことが望ましい動作であるため、誤警報確率を評価指標とした。イベント数が100から400までの間は誤警報確率が100%となっている。これは相関がほとんど取れず、全く異なるグラフ構造を比較していることが原因と考えられる。イベント数が600以上になってくると、急激に誤警報確率が低下しイベント数2000で0%となる。以上より、環境が変化しない場合、誤って変化を検知しないためには相関がとれるだけのイベント数が必要である。

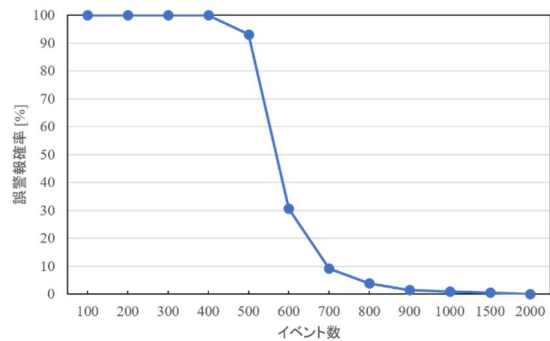


図3 環境が変化しない場合の誤警報確率

図4は無線環境に変化がある場合であるため、検知率を評価指標とした。誤警報確率が1%を満たす際の検知率を示す。イベント数が小さい時、異常があるノードと異常がないノードの判別ができておらず、低い検知率を示している。イベント数が大きくなるにつれて検知率が向上しており、イベント数2000で検知率が100%を達成している。相関の変化を検知するためには、変化が起きる前後でのグラフ構造の正確な推定のためにより多くのイベント数を必要と考えられる。提案手法は十分なイベント数を入力することで、他システムからの検知が可能である。

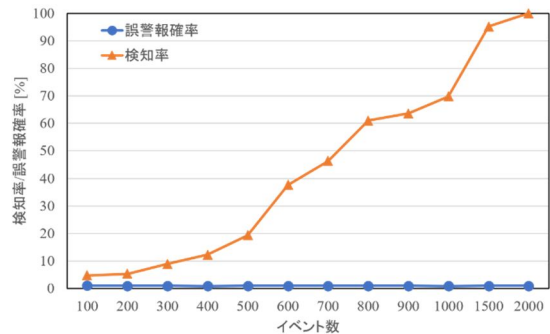


図4 環境が変化する場合の検知率

最後に提案法による干渉推定結果を利用したチャンネル割当てについて評価を行った。図5に提案手法によるPDR特性を示す。提案手法の1つは自システム内の干渉のみを考慮したチャンネル割当て、もう1つは他システムからの干渉も考慮したチャンネル割当てである。図4より2つの提案手法はチャンネルをランダムに割当てた場合と比較して、PDRを改善していることが分かる。

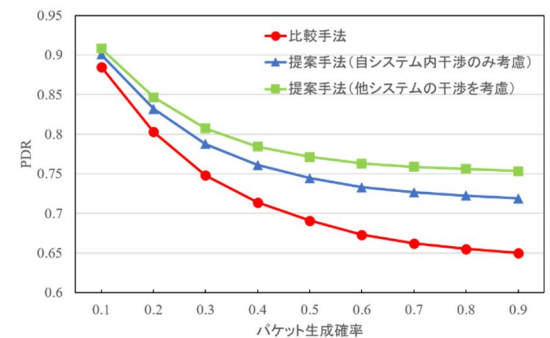


図5 他システムの干渉を考慮した提案手法の

### <クラウドセンシングと連合学習を用いた無線環境相関認識によるスループット予測手法>

#### (1) はじめに

本研究では連合学習と呼ばれる機械学習フレームワークを用いることで、従来の機械学習手法による最大スループット(利用可能帯域幅)の予測で課題となっている、ランニングコストやセキュリティリスクの問題を解決する。世界的パンデミックによる在宅時間の長期化や、要求されるサービス品質の向上に伴い、高速で安定した無線通信に対する需要は年々増加している。高品質なサービスの提供には迅速かつ安定した通信が必要不可欠であり、そのためには場所や時間で異なる利用可能な最大スループットを把握することが重要になる。利用可能な最大スループットは専用のツール「iPerf3」等を用いて実測可能であるが、多大な通信量を使用し続けることは現実的ではない。そこで、短時間スループットを実測し、機械学習で全地点・時間の最大利用可能なスループットを予測(推論)するという方法が従来から研究されてきた。本研究では無線LANおよびLTEのTCPスループットの予測を行う際に、従来の機械学習手法で問題だった運用コストやセキュリティリスクを減らすため、連合学習(Federated Learning)を用いたアプローチを提案する。連合学習の特徴として、学習用のデータを一切外部に出すことなく学習状況のみを共有すること、学習と予測は各エッジデバイスで行うことが挙げられる。そのため、高性能な

サーバ設置による運用コストや、学習データの漏洩によるセキュリティリスクを小さくできる。検証では、提案手法でも従来と同程度の予測精度が得られることを、実測したデータセットを用いて確認した。

### (2) 提案手法および検証環境

連合学習とは Google が提唱した機械学習フレームワークであり、各エッジデバイスで学習と予測を行う一方で、学習モデルの学習状況を表す「重みパラメータ (学習モデル)」のみを複数端末で共有する。共有された学習モデルはグローバルノードと呼ばれるサーバに保管され、定期的に複数の学習モデルから Federated Averaging アルゴリズムにより全デバイスで共有される共有学習モデルを作成する。今回エッジデバイス同士で直接通信することは行わない。学習モデルは全て Deep-Neural-Network (DNN) を使用し、予測対象のネットワークは初期検討として無線 LAN のみとした。学習で使用するパラメータのひとつである移動速度は、位置情報の時間的な変動から算出され、Android の標準ライブラリを使用して取得している。また基地局 ID (Network ID) は SSID (Service Set Identifier) とは別の、接続先を識別する値である。学習モデルの構築には Keras (in TensorFlow) を利用した。検証で使用するデータセットは全て独自開発した Android アプリケーションにより生成されたものを用いている。ほぼすべてのパラメータは Android の標準 API により取得しているが、最大スループットのみ専用のソフトウェアである「iPerf3」を用いて計測した。測定場所は東京都郊外の住宅地で、建物の二階窓際に二つの無線 LAN ルータを置き途中接続先を切り替えて測定を行った。また当初は各エッジデバイスや集約装置を、一台の計算機上に仮想的に再現したエミュレーションによって評価を行っている。異なる Android デバイス 3 台で測定した 3 つのデータセットを、エッジデバイス 2 台に学習用データとして一つずつ、予測結果の検証用に 1 つを割り当てる。

### (3) 結果

検証として図 6 上のように、接続先のルータを区別せず一つの学習モデルで全てのエリアを予測した場合の予測精度について検証する。データセットの組み合わせを変えた 3 パターンの平均をとったものが図 7 に示すものである。この結果から、連合学習を用いないディープニューラルネットワークのみの従来手法と同程度の予測精度が得られていることが分かる。しかし、この方法では予測対象エリアの拡大に伴い予測が困難になることが容易に想像できる。そのため図 6 下のように、接続先の無線 LAN ルータごとに予測に用いる学習モデルを切り替えた場合の予測結果が図 8 に示すものである。図 8 は接続先のルータに合わせてエッジデバイスが生成した学習モデルで、一つの接続先に対する実測値を予測した結果を示している。この結果を見る限りある程度の予測精度が得られていることが見て取れる。

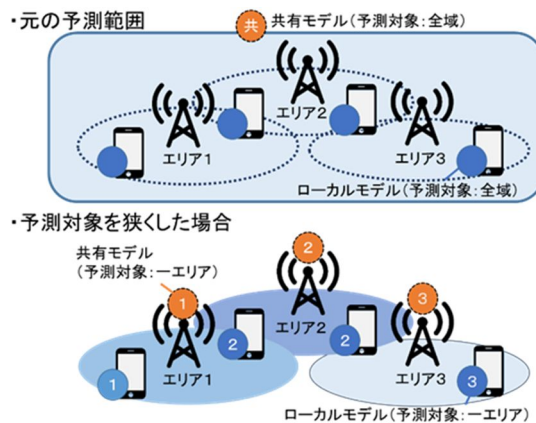


図 6 予測対象エリアの縮小イメージ

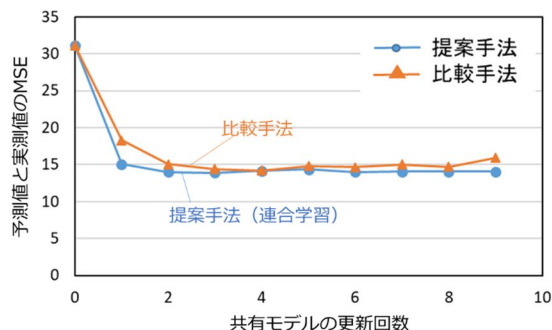


図 7 提案手法と比較手法の更新回数による予測誤差 MSE の推移

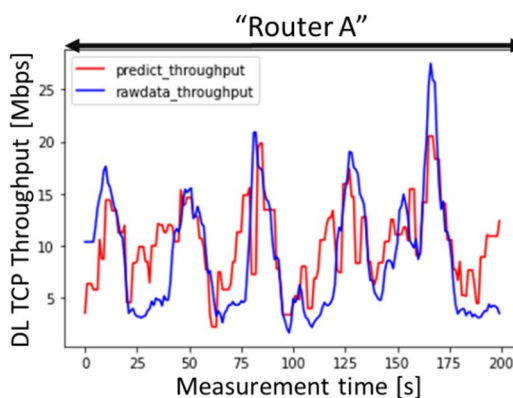


図 8 学習モデルを切り替えた場合の予測結果

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Koya Sato, Kei Inage, Takeo Fujii	4. 巻 7
2. 論文標題 On the Performance of Neural Network Residual Kriging in Radio Environment Mapping	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 94557-94568
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2019.2928832	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 Koya Sato, Kei Inage, Takeo Fujii	4. 巻 Early Access
2. 論文標題 Modeling the Kriging-Aided Spatial Spectrum Sharing over Log-Normal Channels	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Wireless Communications Letters	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LWC.2018.2890644	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 Ying Gao, Takeo Fujii	4. 巻 10
2. 論文標題 An Improvement of Security Scheme for Radio Environment Map Under Massive Attacking	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 45508-45521
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2022.3170478	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 Keita Katagiri, Koya Sato, Kei Inage, Takeo Fujii	4. 巻 10
2. 論文標題 Radio Map Extrapolation Using Compensated Empirical CDF Under Interference-Limited Observations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 54936-54946
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2022.3174702	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 -

[学会発表] 計47件(うち招待講演 1件/うち国際学会 26件)

1. 発表者名 Keita Katagiri and Takeo Fujii
2. 発表標題 Classification and discretization of shadowing toward low storage radio map
3. 学会等名 ICAIIIC 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Satoshi Nakaniida and Takeo Fujii
2. 発表標題 Throughput prediction by radio environment correlation recognition using crowd sensing and federated learning
3. 学会等名 ICAIIIC 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keita Katagiri and Takeo Fujii
2. 発表標題 Partitioned Path Loss Models Based on Coefficient of Determination
3. 学会等名 ICOIN 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keita Katagiri and Takeo Fujii
2. 発表標題 Low storage radio map using statistical inference
3. 学会等名 IEEE DySPAN2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keita Katagiri and Takeo Fujii
2. 発表標題 Classification and discretization of shadowing toward low storage radio map
3. 学会等名 ICAIIC 2022 ( 国際学会 )
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Satoshi Nakaniida and Takeo Fujii
2. 発表標題 Throughput prediction by radio environment correlation recognition using crowd sensing and federated learning
3. 学会等名 ICAIIC 2022 ( 国際学会 )
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keita Katagiri and Takeo Fujii
2. 発表標題 Partitioned Path Loss Models Based on Coefficient of Determination
3. 学会等名 ICOIN 2022 ( 国際学会 )
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keita Katagiri and Takeo Fujii
2. 発表標題 Low storage radio map using statistical inference
3. 学会等名 IEEE DySPAN2021 ( 国際学会 )
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 Keita Katagiri, Koya Sato, and Takeo Fujii
2. 発表標題 Empirical CDF-based power control method for obstructed V2V communications
3. 学会等名 ICETC2021 ( 国際学会 )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keita Katagiri, Koya Sato, and Takeo Fujii
2. 発表標題 Estimation of the Number of Obstacles Based on p-value for V2V Communications
3. 学会等名 ICETC2021 ( 国際学会 )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ying Gao, Takeo Fujii
2. 発表標題 Improvement of Radio Environment Map under Data Falsification Attack
3. 学会等名 IEEE VTC2021-Fall ( 国際学会 )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keita Katagiri and Takeo Fujii
2. 発表標題 Mesh-clustering-based radio maps construction for autonomous distributed networks
3. 学会等名 ICUFN 2021 ( 国際学会 )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤弘樹, 稲毛契, 藤井威生,
2. 発表標題 複数システム混在下におけるスパースモデリングを利用した干渉推定手法
3. 学会等名 電子情報通信学会SR研究会 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松嶋大稀, 藤井威生
2. 発表標題 チャンネル占有率を活用した環境適応型センサネットワークのチャンネル選択
3. 学会等名 電子情報通信学会SR研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中新井田寛志, 藤井威生
2. 発表標題 クラウドセンシングと連合学習を用いた無線環境相関認識によるスループット予測手法の研究
3. 学会等名 電子情報通信学会RISING研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤弘樹, 稲毛契, 藤井威生
2. 発表標題 スペクトラムデータベースに基づくスパース性を利用した干渉推定手法
3. 学会等名 電子情報通信学会RISING研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 片桐啓太, 藤井威生
2. 発表標題 決定係数に基づく距離減衰特性の分割モデル化
3. 学会等名 電子情報通信学会SR研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中新井田寛志, 藤井威生
2. 発表標題 クラウドセンシングと連合学習を用いた無線環境相関認識によるスループット予測手法の研究
3. 学会等名 電子情報通信学会SR研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 片桐啓太, 藤井威生
2. 発表標題 メッシュクラスタリングに基づく自律分散環境向け電波マップ構築
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 2021年

1. 発表者名 Soraya Mitate, Yudai Yamazaki, Takeo Fujii and Shusuke Narieda
2. 発表標題 Wireless System Selection with Spectrum Database for IoT
3. 学会等名 ICOIN 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Fumiya Aizawa, Takeo Fujii
2. 発表標題 A Study of Hidden Node Discrimination Method using Wireless LAN Packets
3. 学会等名 SmartCom 2019 ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keita Katagiri, Takeo Fujii
2. 発表標題 Demo: Highly accurate prediction of radio environment for V2V communications
3. 学会等名 IEEE DySPAN 2019 ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keita Katagiri, Takeo Fujii
2. 発表標題 Radio environment map updating procedure based on hypothesis testing
3. 学会等名 IEEE DySPAN 2019 Workshop DD-DSS, ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoji Uesugi, Keita Katagiri, Koya Sato, Kei Inage, Takeo Fujii
2. 発表標題 Clustering of signal power distribution toward low storage crowdsourced spectrum database
3. 学会等名 VTC-Fall2019 ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤光哉, 稲毛契, 藤井威生
2. 発表標題 電波マップの周波数-空間補間に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 片桐啓太, 藤井威生
2. 発表標題 車車間通信向け高精度電波環境推定手法の検討
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 2019年

1. 発表者名 園田晟也, 稲毛契
2. 発表標題 四分木構造を用いた電波環境マップのデータ圧縮に関する一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Keita Katagiri, Keita Onose, Koya Sato, Kei Inage, Takeo Fujii
2. 発表標題 Highly Accurate Prediction of Radio Propagation using Model Classifier
3. 学会等名 IEEE VTC2019-Spring (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keita Onose, Koya Sato, Kei Inage, Takeo Fujii
2. 発表標題 Experimental Verification of Frequency-Correlation in Radio Propagation Characteristics for Radio Environment Recognition
3. 学会等名 ICOIN2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeo Fujii
2. 発表標題 Smart Spectrum Management for V2X
3. 学会等名 IEEE DySPAN2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤光哉、稲毛契、藤井威生
2. 発表標題 ニューラルネットワークおよび空間内挿に基づく電波環境マップ構築に関する一考察
3. 学会等名 電子情報通信学会SR研究会 (1月)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片桐啓太、小野瀬圭太、佐藤光哉、稲毛契、藤井威生
2. 発表標題 モデル分類器を用いた高精度電波環境推定手法の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会SR研究会 (1月)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小野瀬圭太、片桐啓太、佐藤光哉、稲毛契、藤井威生
2. 発表標題 セルラシステム帯域における電波環境マップの周波数補間法に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会SR研究会（1月）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上杉遥司、片桐啓太、佐藤光哉、稲毛契、藤井威生
2. 発表標題 クラスタリングを用いた分布蓄積型スペクトラムデータベース
3. 学会等名 電子情報通信学会SR研究会（1月）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keita Katagiri, Koya Sato, Takeo Fujii
2. 発表標題 Power Control exploiting Spectrum Database for V2V Communication Systems
3. 学会等名 SmartCom2018（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小野瀬圭太、佐藤光哉、稲毛契、藤井威生
2. 発表標題 無線環境認識の効率化に向けた電波伝搬特性の周波数相関性の実験的検証
3. 学会等名 電子情報通信学会SR研究会（7月）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keita Katagiri, Koya Sato, and Takeo Fujii
2. 発表標題 Empirical CDF-based power control method for obstructed V2V communications
3. 学会等名 ICETC2021 ( 国際学会 )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keita Katagiri, Koya Sato, and Takeo Fujii
2. 発表標題 Estimation of the Number of Obstacles Based on p-value for V2V Communications
3. 学会等名 ICETC2021 ( 国際学会 )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ying Gao and Takeo Fujii
2. 発表標題 Improvement of Radio Environment Map under Data Falsification Attack
3. 学会等名 IEEE VTC2021-Fall ( 国際学会 )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keita Katagiri and Takeo Fujii
2. 発表標題 Mesh-clustering-based radio maps construction for autonomous distributed networks
3. 学会等名 ICUFN 2021 ( 国際学会 )
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 伊藤弘樹, 稲毛契, 藤井威生
2. 発表標題 複数システム混在下におけるスパースモデリングを利用した干渉推定手法
3. 学会等名 電子情報通信学会SR研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松嶋大稀, 藤井威生
2. 発表標題 チャンネル占有率を活用した環境適応型センサネットワークのチャンネル選択
3. 学会等名 電子情報通信学会SR研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中新井田寛志, 藤井威生
2. 発表標題 クラウドセンシングと連合学習を用いた無線環境相関認識によるスループット予測手法の研究
3. 学会等名 電子情報通信学会RISING研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤弘樹, 稲毛契, 藤井威生
2. 発表標題 スペクトラムデータベースに基づくスパース性を利用した干渉推定手法
3. 学会等名 電子情報通信学会RISING研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 片桐啓太, 藤井威生
2. 発表標題 決定係数に基づく距離減衰特性の分割モデル化
3. 学会等名 電子情報通信学会SR研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中新井田寛志, 藤井威生
2. 発表標題 クラウドセンシングと連合学習を用いた無線環境相関認識によるスループット予測手法の研究
3. 学会等名 電子情報通信学会RISING研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 片桐啓太, 藤井威生
2. 発表標題 メッシュクラスタリングに基づく自律分散環境向け電波マップ構築
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 2021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
研究分担者	稲毛 契 (Inage Kei)  (80759506)	東京都立産業技術高等専門学校・ものづくり工学科・准教授  (52605)	

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
---------	---------