

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01322

研究課題名（和文）合成波形識別による高速環境適応型センサネットワーク

研究課題名（英文）Sensor Networks with High Speed Environmental Adaptation by Recognition of Synthesizing Wave

研究代表者

田久 修（Takyu, Osamu）

信州大学・学術研究院工学系・教授

研究者番号：40453815

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,740,000円

研究成果の概要（和文）：センサ情報を集約するセンサネットワークにおいて、急激な環境変化にも安定して情報集約を実現できる、合成波形識別に基づく環境適応型無線センサネットワークを検討した。多数センサの同時送信による合成受信波形から、センサ固有の搬送波揺らぎを抽出することで、輻輳時における個々のデータの特定を実現した。また、センサの信号送信における、過度な競合による識別低下を克服するため、周波数リソース割り当ての最適化を確立した。そして、環境変化の原因となるイベントの位置を受信合成波形から推定する方法を確立した。低電力広域通信（LPWA）に本機能の一部を実装し、実機実験を通して提案法の有効性を定量的に明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

環境に変化を与えるイベントが空間的に波及する現象において、波及効果が空間上にある建物等の物体に強く影響する点から、イベントの位置が波及効果の違いとして捉える位置指紋法に本研究は注目した。そして、多数のセンサが観測情報に対応した信号を同時アクセスした場合、波及効果における位置固有性が維持される現象を本研究課題は明らかにした。この点は、例えば電波伝搬の空間的な広がりを捉える新たな分析法の導出につながるため、学術的な意義が大きいと考えられる。そして、電波の空間的な広がりの解明は、周波数資源の枯渇問題を解決する周波数共用を促進する可能性を秘めており、社会的な意義も大きいと考えられる。

研究成果の概要（英文）：We studied the environmental aware wireless sensor networks based the recognition of synthesizing wave for maintaining the steady data gathering even under the rapid environmental changing. A frequency offset with the characteristic property of each sensor is detected from the synthesizing wave constructed by accessing from many sensors and thus the detection of individual sensing data is available. For avoiding the degradation of identification caused by a lot of accessing sensors, the optimization scheme of frequency resource allocation is proposed. The positioning scheme to the event, causing the changing of environment, from the combined signal waveform is proposed. The proposed schemes are implemented by the low power wide area (LPWA) and then we clarify the advantages of them in the experimental evaluation.

研究分野：通信・ネットワーク工学

キーワード：合成波形識別法 無線センサネットワーク LPWA 位置指紋法

1. 研究開始当初の背景

物理環境と仮想空間をセンサ情報により一体化させる、Internet of Things (IoT)やサイバーフィジカルシステム (CPS) に注目が集まる。IoT や CPS では、環境に急激な変化を与えるイベントが発生した場合、発生したイベントを特定して適切な機器の制御や人が対応することで、安全性や生産性、効率性を高めることが可能になる。しかし、センサ情報を収集する無線インフラである無線センサネットワークでは、急激に大きな情報送信(トラヒック)が生じ、輻輳の発生により正確な情報を取得できないという課題がある。そこで、大きなトラヒックを収容できる新たな無線センサネットワークが求められるが、従来検討の多くは受信機の処理遅延や、無線リソースを膨大に消費する懸念がある。よって、限られた無線リソースで低複雑な受信機構成において、環境変化に追従したセンサ情報集約を可能にする新たな無線センサネットワークの構築が必要不可欠である。

2. 研究の目的

本研究課題では、イベントにより急激な環境変化が生じた場合にも、必要なセンサ情報を必要な粒度で集約できる新たなセンサネットワークを確立する。本研究者は、無線物理量変換一括集約型センサネットワーク (PhyC-SN) の検討を進めてきた。PhyC-SN では、センサ情報に対応して無線物理量である、無線搬送波の周波数や送信時間を切り換えることで、ネットワーク配下の全センサのセンサ情報を一度の無線アクセスにより受信する。受信信号は、多数の無線搬送波の合成波となるが、合成波の周波数広がりなどを捉えることで、アクセスした全センサが通知した情報の統計分布の検出が可能になる。ここで、PhyC-SN の受信波形には、無線送信機が生成する搬送波形の微小な変動が含まれる。この微小変動は端末固有の特徴であり、送信した無線機の特に利用できる。加えて、送信情報の傾向が PhyC-SN の受信波形に直接現れる。よって、無線機固有の搬送波の微小な変動や、送信情報の傾向を受信信号である複数搬送波の合成信号から検出する方法を確立できれば、PhyC-SN では実現できなかった各センサのセンサ情報の識別を可能にする。その結果、従来の無線センサネットワークに迫るような、センサ情報の空間的な広がりや示すヒートマップの形成を可能にし、イベントの認識精度の向上や関連して環境認識精度の向上を実現する。本研究課題では、PhyC-SN で多数のセンサから通知された搬送波の合成波形から、個々のセンサ情報を識別する方法を合成波形識別と定義し、合成波形識別により観測環境に適応したセンサ情報集約を実現する環境適応型のセンサネットワークを確立する。

環境適応型のセンサネットワークの実現に向けて、調査及び検証を進めた結果、当初提案書に記載した機能を修正し、次の三機能の確立に向けて集中して検討を進めた。

1. PhyC-SN の受信合成波形から送信センサ数を高精度に識別できる受信信号処理
2. イベント推定に基づく環境適応型の動的周波数リソース割り当て法
3. PhyC-SN によるヒートマップと受信合成波形との対応を利用したイベント位置推定法

3. 研究の方法

環境適応型のセンサネットワークの実現に必要な三機能について並行して研究を進めた。

1. PhyC-SN の受信合成波形から送信センサ数を高精度に識別できる受信信号処理

無線機の同発発信器では、送受信機間の中心周波数差である周波数オフセットが発生する。特に廉価なセンサでは、無線機の温度変化等に伴い中心周波数が安定せず、大きな周波数オフセットが生じる場合がある。周波数オフセットは、受信機の周波数分解能未達の周波数遷移が生じ、さらに個々のセンサで周波数オフセットの大きさが異なるため、端末を特定する識別子として受信信号に内在している。そこで、PhyC-SN における複数センサが同じ搬送波を選択して送信する同時アクセスにおいて、周波数オフセットを利用したアクセス端末数の識別方法を確立する。

周波数オフセットは搬送波の位相を時間軸方向の遷移として捉えられる。そこで、検出時刻の異なる搬送波の位相差を計測する遅延検波を用いることで周波数オフセットを検出する方法を用いる。複数のセンサが同時にアクセスしたとき、各センサのアクセスチャネルでは独立した無線通信路状態を通過する。その結果、各センサの搬送波の位相は統計的に独立に変動する。一方、受信機では、遅延検波を適用することで、通信路で生じた位相変動を打ち消すことができる。しかし、複数のセンサが同時アクセスした場合には、異なる位相を有する信号が合成する。その結果、受信信号の遅延検波による位相差が一定ではなくなる。図1に、アクセス端末数が1と2の場合における受信信号点の例を示す。この評価では、受信機に複数アン

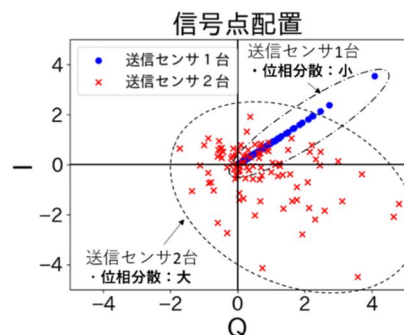


図1 位相遷移量

テナを設置し、各アンテナの受信信号点を示す。図より、センサ数が1の場合は、各アンテナの受信信号の位相遷移が同一であるのに対して、センサ数が2の場合には、受信信号が不規則に散在する。これは、受信機では一つの局発発信器で周波数変換するため、受信信号で検出される周波数オフセットに起因する位相遷移は各アンテナで同じになる。一方、センサ数が2以上においては、搬送波信号の合成により位相遷移が変動する。そして、各無線機と各アンテナ間の通信路状態が異なるため、各アンテナで観測される位相遷移は不規則となる。そこで、位相遷移の複数の受信アンテナにおける広がりを示す値として、位相遷移量の分散を計測する方法を確立した。具体的には、位相遷移量の分散が小さい傾向にある場合には、アクセスしたセンサ数が1と認識し、反対に、位相遷移量の分散が大きい傾向にある場合には、アクセスしたセンサ数が2以上と認識する。提案法では、位相遷移量の分散に加えて、受信した信号電力を規範値として併用し、機械学習の一つであるサポートベクタマシン(SVM)により判断する方法を確立した。複数の識別子を併用することで、様々な状況において安定した高精度識別が可能になる。

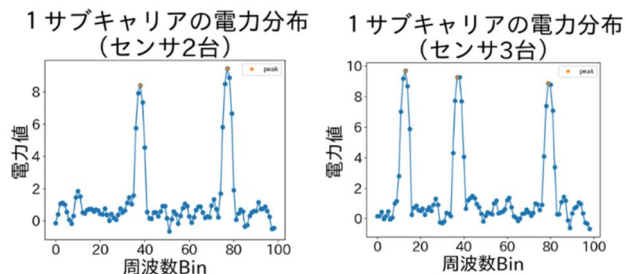


図2 受信周波数スペクトル

さらに、センサ数の識別できる種類を増やすため、受信信号の周波数スペクトルに着目した。図2に、受信機の周波数分解能を拡大し、周波数オフセットに起因する周波数遷移を捉えた結果を示す。センサ数に応じて、瞬時的な高い電力であるピーク値が存在し、このピーク値の数がアクセスしたセンサ数として推定できる。そこで、受信機における周波数分解能を拡大する方法を検討した。まず、搬送波検出時間を拡大することで、周波数分解能の粒度を拡大する。その際、検出した搬送波時間の拡大に応じて、窓関数の時間長を拡大するように改良した。これにより、検出時間途中の窓関数の歪を回避でき、鋭い周波数スペクトルが得られ、周波数分解能を高めることができる。また、周波数スペクトルのピークを捉えるため正規分布モデルを適用し、正規分布が内在する数や正規分布の類似性を評価する歪度、劣度を取り入れ、複数種類の同時アクセスセンサ数を推定する方法を確立した。

2. イベント推定に基づく環境適応型の動的周波数リソース割り当て法

合成波形識別により同じチャンネルを選択してアクセスしたセンサの数を識別できる精度は、センサ数の拡大に伴い高い受信電力が求められる。そのため、常時安定したセンサ数の識別を実現するためには、同時アクセスをするセンサの数を少なく抑える方法が求められる。また、過去の検討では、アクセスセンサ数が2以下においては、各センサの周波数オフセットがセンサを特定するIDとして利用できる方法を確立しており、PhyC-SNにおいても通知したセンサ情報源の特定に利用できる。

本課題では、センサの同時アクセスを最小限に抑えるため、周波数リソース割り当て方法の改良を進めた。これは、PhyC-SNでは、無線物理量と送信するセンサ情報の対応関係を表(マッピング)で形成している。そこで、このマッピングを切り替えることで、周波数リソースの割り当てを変更できる。PhyC-SNで情報源を特定できる場合には、マッピングを情報源であるセンサ毎に設定できる。無線物理量の選択は、センサが伝送する情報に依存する。そこで、センサ情報の統計的傾向を過去の集約結果により各センサ情報の発生確率を推定し、センサ情報と無線物理量の対応であるマッピングに対応させることで、各無線物理量を選択する確率を推定できる。無線物理量の選択確率を事前に推定することで、複数のセンサが同じ物理量を選択する確率である衝突確率を推定できる。そこで、衝突確率が数式で表現できる任意の二つのセンサが同じ物理量を選択する二センサ衝突確率を導出し、それを最小化するマッピングを数理最適により導出した。これにより、衝突確率を最小に抑え、センサの識別から高い情報収集精度を実現できる。

マッピングの設計には、センサ情報の発生確率の事前計測が必要になる。しかし、環境変化によって、センサ情報の発生確率が変化する。そこで、センサ情報の発生確率の変化に追従できる環境適応性を備える必要がある。本課題では、センサ情報の集約事例の一つとして、電波センサによる受信電解強度(RSSI)を測定し、電波環境を観測するシステムに注目した。このシステムでは、RSSIは電波源が発射した位置に応じて、各センサが観測するRSSIの傾向が異なる。そこで、電波源が発生した位置を推定することで、RSSIの確率分布の変化を捉える。そして、それに対応してマッピングを修正することで、環境変化に追従して安定した情報集約が可能になる。確立する環境適応型のマッピングでは、電波源を一定範囲に区切ったエリア単位で位置を推定する方法とした。そして、過去のエリア内で電波が発生した傾向を分析することで、RSSIの発生確率をモデル化し、それをエリア別に形成する。そして、電波源の位置推定によりエリアを特定して、そのエリアに対応したRSSIの発生確率を用いてマッピングを形成した。これによって、電波源の位置推定精度の誤差をエリアの範囲内まで許容でき、また、電波源が早い速度で異動する場合にも広範囲にエリアを設定することで滞在時間を拡大することで、設計したマッピングが有効となる時間が長くなり、安定した収集を可能にする。

3. PhyC-SN によるヒートマップと受信合成波形との対応を利用したイベント位置推定法

2で検討を進めた環境適応型の無線集約では、環境に変化を与えるイベントの位置を正確に推定する必要がある。環境に作用するイベントの例として熱源や音源、電波源などは、イベントを中心として空間的に広域に波及する。そして、その波及効果は、空間に存在する建物や障害物の影響を受け、センサが観測する情報が場所毎に異なると考えられる。このようなイベントの波及効果の場所固有性を利用し、あらかじめ各センサが観測した値をデータベースに構築することで、実際にイベント源が発生したときの位置推定に利用する方法が検討されている。これを、位置指紋法という。この位置指紋法を PhyC-SN によるセンサ情報集約に応用する。イベント位置推定時には、マッピングの最適設計に誤差が生じ、複数センサが同じ物理量を選択する衝突が頻発する懸念がある。よって、イベント位置推定時においては、衝突が生じた場合にも安定したイベント位置推定が実現できる必要がある。

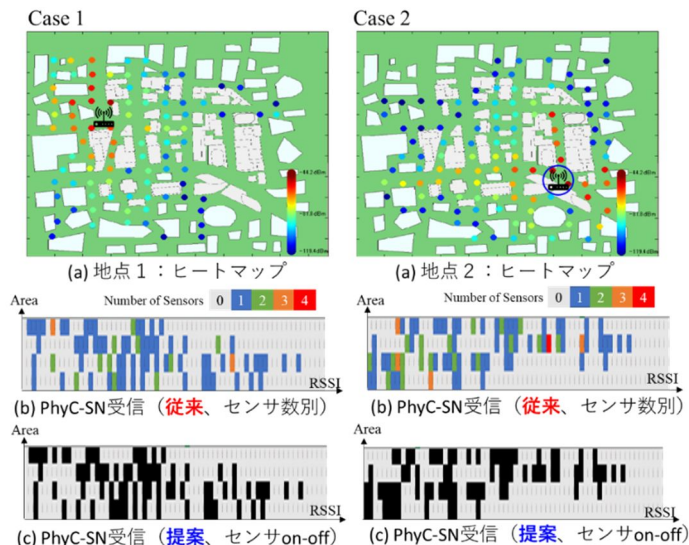


図3 ヒートマップと受信結果の関係

図3(a)に、二種類のレイトレーシングシミュレーションを用いた電波源の位置と各電波センサが観測したRSSIを面上に示したヒートマップを示す。また、図3(b)には同時にPhyC-SNで集約した場合の無線物理量である周波数と搬送波送信時間タイミングの二次元で集約した結果を示す。図3(a)より、電波源の位置に応じてヒートマップが異なることが認められる。この変化は、図3(b)にあるPhyC-SNの集約結果にも差として認められる。ただし、図3(b)のような受信結果の違いを正確に把握するためには、同一の無線物理量を選択したセンサ数を正確に捉える必要があり、状況に応じてセンサ数の識別が困難な場合がある。そこで、各無線物理量を1つ以上のセンサが選択した場合といずれのセンサも選択しなかった場合のみを区別する、on-offで判断した場合の結果を図3(c)に示す。図3(c)においても、空間的な広がり固有性は保持されており、電波源の位置を区別することは一定精度可能であると考えられる。そこで、本課題では、PhyC-SNにおける情報集約において、各無線物理量のアクセスの有無を示すon-off識別により電波源の位置を推定した場合の位置推定精度を明らかにした。

4. 研究成果

各課題で確立した方法の有効性明らかにするため実験を実施した。各結果は次の通りである。

1. PhyC-SNの受信合成波形から送信センサ数を高精度に識別できる受信信号処理

周波数オフセットを利用した、衝突検知法の有効性を計算機シミュレーションにより明らかにした。本シミュレーションでは、無線通信路としてレイリーフェージング通信路、周波数オフセットを周波数間隔で正規化したオフセット量で-0.4から0.4の一様分布に従う乱数でモデル化した。センサ間の平均受信電力は等しいと想定している。送信センサ数は1あるいは2のいずれかが選択的に送信され、受信機で推定する。受信アンテナ数は10である。また、隣接チャネルへのスペクトル漏洩を抑制するため、二種類の窓関数を適用している。評価結果を図4に示す。図より、位相遷移量の分散とエネルギー量を併用し、ブラックマン窓を用いる提案法が、検出誤り0.01以下を達成しており、提案法の優位性を確認できる。また、正規分布の歪度・劣度を併用した検出法では、識別率90%以上を達成し、高い検出精度を達成した。

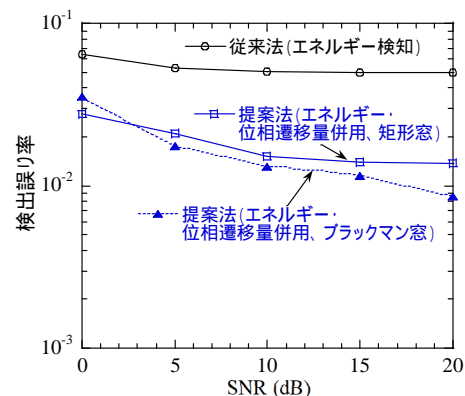


図4 PhyC-SN 検出誤り率

2. イベント推定に基づく環境適応型の動的周波数リソース割り当て法

提案するリソース割り当て法を429MHz帯

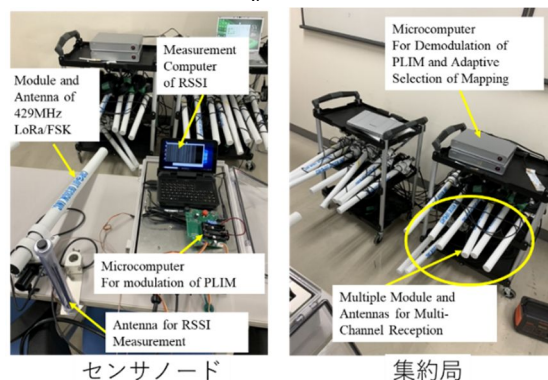
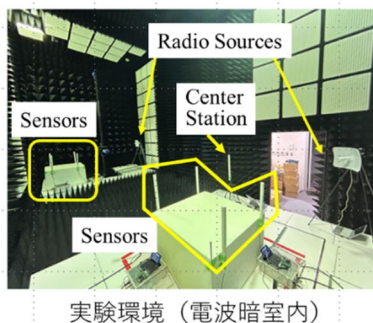


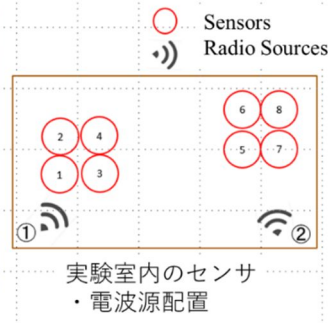
図5 環境適応 PLIM 実装



図 6 PLIM の受信例



実験環境 (電波暗室内)



実験室内のセンサ・電波源配置

図 7 電波暗室内実験

LoRa/FSK に実装した。PhyC-SN はまだ無線規格として定められていないため、電波発射による実験を実施するためには免許申請が必要になり、実施までの時間に多くを要する。そこで、センサ情報をパケットの送信周波数と送信タイミングに置き換えて伝送する、パケットレベルインデックス変調 (PLIM) を利用した。PLIM はパケットフォーマットを保持できるため、無線規格に準拠でき、パケットのアクセス周波数と時間は、PhyC-SN の搬送波送信周波数と時間に対応できるため、等価的に評価できる。

図 5 に、無線機の構成を示す。伝送可能なチャンネル数を 4 とし、送信時間タイミングを複数設けることで、搬送波の無線物理量として等価的を用いる。図 6 は、実際の PLIM による伝送をスペクトログラムにより信号の周波数と時間分析をした結果である。高い電力スペクトルが現れている個所はパケットの送信を示し、PhyC-SN と同様に送信情報に応じて、パケットの送信する時間や周波数が切り替わることが確認できる。

観測対象の電波発射に限定して観測するため、電波暗室内において有効性を検証した。電波の観測対象は 5GHz 帯の WiFi とし、電波源を 2 か所設定して、電波の発射を切り換えることで、電波源の移動を模擬した。実験の様子を図 7 に示す。結果として既存法では復調成功率は 42.5% であるのに対して、提案法では最大 83.0% を達成し、約 2 倍程度の復調成功率の改善を実現しており、提案法の有効性を確認した。

3. PhyC-SN によるヒートマップと受信合成波形との対応を利用したイベント位置推定法

920MHz 帯の LPWA の電波発射源を観測対象として屋外実験を実施した。信州大学キャンパス内に、920MHz 帯の LPWA である LoRa 規格のセンサネットワークを確立した。実験の様子を図 8 に示す。ネットワークモデルは、一つの集約局に対して各センサが通信するモデルとし、集約局に到着したパケットから RSSI を測定した。ここで、測定した RSSI は電波の対称性から、集約局が発した電波を各センサが受信し、RSSI を測定した結果と等価とした。よって、集約局の位置を各センサが発したパケットの RSSI が特定する方法としている。位置指紋法における、電波源の位置を既知とした学習用のデータ点を 74、評価用のデータ点を 35 としている。測定した結果は、PhyC-SN で通知することを想定しているが、簡単化のため、PhyC-SN による RSSI の伝送は理想的とした。もし、PhyC-SN において、同じ RSSI を観測したセンサは同じ無線物理量を送信するが、受信機側では、通知したセンサの数は誤りなく推定できるとした。一方、提案法のアクセスセンサの有無で判断する方法では、いずれのセンサも送信していない場合と、一つ以上のセンサが通知した場合の二つの状態を識別するとし、誤りなく識別できるとした。

図 9 に評価結果を示す。「Ideal」は、最寄りの事前電波源の位置を特定した場合、「Conventional」は、パケット通信で RSSI 集約した場合、「PhyC-SN with counting sensors」は、PhyC-SN で RSSI を集約し、センサ数を識別して受信した場合、「PhyC-SN without counting sensors」は、PhyC-SN で RSSI を集約し、アクセスの有無を識別する on-off 識別である。図より、PhyC-SN の on-off 識別が従来のパケット通信で集約した場合と同等の測位誤差を達成しており、提案法の有効性を確認した。



図 8 LPWA 測位実験

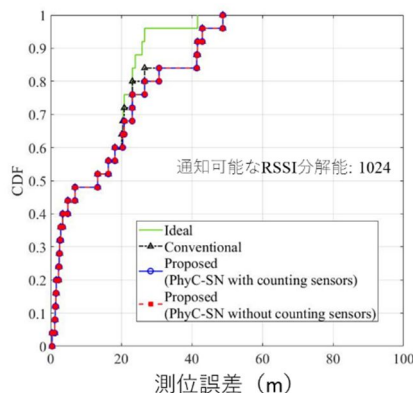


図 9 測位誤差評価

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 Ito Toshi, Oda Masafumi, Takyu Osamu, Ohta Mai, Fujii Takeo, Adachi Koichi	4. 巻 23
2. 論文標題 Three Level Recognition Based on the Average of the Phase Differences in Physical Wireless Parameter Conversion Sensor Networks and Its Effect to Localization with RSSI	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 3308 ~ 3308
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s23063308	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 Oda Masafumi, Takyu Osamu, Ohta Mai, Fujii Takeo, Adachi Koichi	4. 巻 11
2. 論文標題 Position Estimation of Radio Source Based on Fingerprinting With Physical Wireless Parameter Conversion Sensor Networks	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 12843 ~ 12857
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2023.3242611	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 Katagiri Keita, Sato Koya, Inage Kei, Fujii Takeo	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 -
1. 著者名 Gao Ying, Fujii Takeo	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 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Ito Toshi、Takyu Osamu、Ohta Mai、Fujii Takeo、Adachi Koichi
2. 発表標題 High-Sensitivity Detection Method for Signals in PhyC-SN
3. 学会等名 2022 Thirteenth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ying GAO and Takeo Fujii
2. 発表標題 Kriging-based Trust Nodes Aided REM Construction under Threatening Environment
3. 学会等名 IEEE VTC2022-Fall (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤利、田久修、太田真衣、藤井威生、安達宏一
2. 発表標題 物理量変換一括収集法における搬送波周波数オフセットの切り替えによる収集精度の向上
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 伊藤利、田久修、太田真衣、藤井威生、安達宏一
2. 発表標題 受信アンテナ選択による無線物理量変換一括収集法の衝突検知の高検出化
3. 学会等名 電子情報通信学会 ライジング
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤利、田久修、太田真衣、藤井威生、安達宏一
2. 発表標題 物理量変換一括収集法における信号の高感度検出法
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 山崎仁嗣, 増永佳論, 松浦弘樹, 太田真衣, 太郎丸真
2. 発表標題 実機による差動化PLIMのシンボル誤り率評価
3. 学会等名 2023年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小田雅史 田久修
2. 発表標題 物理量変換一括収集法による電波センサを用いた位置推定法の特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 技術研究報告 SR2021-35
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小田雅史 田久修
2. 発表標題 物理量変換一括収集法による電力検出器を用いた位置推定法の特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 技術研究報告 SR2021-72
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masafumi Oda Osamu Takyu
2. 発表標題 Position Estimation with Radio Sensor in Physical Wireless Parameter Conversion Sensor Networks
3. 学会等名 IEICE International Conference on Emerging Technologies for Communications 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masafumi Oda Osamu Takyu
2. 発表標題 Area Model for Position Estimation with Radio Sensor in Physical Wireless Parameter Conversion Sensor Networks
3. 学会等名 IEICE International Conference on Emerging Technologies for Communications 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤利 田久修 安達宏一 太田真衣 藤井威生
2. 発表標題 物理量変換一括収集法における周波数オフセットとエネルギー検知を併用した衝突検知
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会2022 B-17-12
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小田雅史 田久修
2. 発表標題 物理量変換一括収集法による位置推定の集約エリア分割法
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会2022 B-17-14
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Osamu Takyu, Masashi Oda
2. 発表標題 Data Gathering of Wireless Sensor Networks for Recognition of Event Position
3. 学会等名 IEICE International Conference on Emerging Technologies for Communications 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021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
3. 学会等名 電子情報通信学会 技術研究報告 SR2021-65
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	藤井 威生 (Fujii Takeo) (10327710)	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 (12612)	
研究分担者	太田 真衣 (Ohta Mai) (20708523)	福岡大学・工学部・助教 (37111)	

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