

令和 3 年 6 月 20 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04135

研究課題名(和文) 自動運転に向けた車載MIMOレーダにおける仮想センサアレーの多次元化

研究課題名(英文) Application of Multi-Dimensional Virtual Sensor Array in Automotive MIMO Radars for Self-Driving

研究代表者

菊間 信良 (Kikuma, Nobuyoshi)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40195219

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、自動運転を支える車載MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) レーダの送受信に、空間領域、角度領域等の送信ダイバーシチ技術と仮想アレー化技術を導入し、ターゲット推定性能について検討を行った。その結果、複数の送信ダイバーシチ技術を併用することにより、ターゲット方向推定精度が向上し、ターゲットの角度広がり推定も可能になることを示した。さらに受信側で仮想アレーを適切に構築することにより、ターゲットの角度分解能が向上することを確認した。また、圧縮センシングと最尤推定法を用いることにより1スナップショットの受信データで高精度な推定が出来ることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高齢化社会において、車の自動運転は必要性の高い技術である。その自動運転を支える電波技術としてMIMOレーダがあり、ターゲットの位置推定、複数ターゲットの分離推定が期待されている。本研究は、MIMOの送受信に多次元化技術を導入し、MIMOレーダとしての性能を向上させるものである。本研究の成果のみならず、実施してきた研究の過程で得られた様々な知見は、自動運転に資するものとして学術的にも社会的にも意義が大きいと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Target-sensing performance of automotive MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) radars for self-driving has been researched. The critical technology considered is utilizing multiple transmission diversity schemes, such as space and angle regions, and constructing virtual receiving arrays effectively. As a result, it is shown that the combined use of transmission diversity schemes makes it possible to obtain higher direction estimation accuracy of targets and also estimate the angular spread of individual targets. Furthermore, it is confirmed that we can enhance the angle resolution capability of multiple targets. On the other hand, it is found that the simultaneous use of compressed sensing and maximum likelihood estimation method enables us to realize high accuracy in estimating target directions by using one-snapshot received array data.

研究分野：無線通信工学

キーワード：車載MIMOレーダ 自動運転 ターゲット方向推定 角度広がり推定 複合送信ダイバーシチ 多次元仮想アレー 圧縮センシング 最尤推定法

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

ミリ波レーダは波長が数ミリメートルの電波（ミリ波）を使って対象物からの反射波を測定し、相対距離や速度等を検知する装置である。近年、自動車の ACC (Adaptive Cruise Control)・自動ブレーキシステムなどに用いるために、76GHz 帯の車載レーダが前方監視レーダとして国内外で実用化され始めており、自動運転の方向へと着実に技術が進化している。今後の安全・安心な車社会の実現に向けたこれらシステムの普及には、車載レーダの高信頼性が急務であり、このためには電波センサであるアンテナと高速かつ高機能信号処理技術の開発が必須である。

一方、近年、地上デジタル放送、スマートフォン、電子キー等さまざまな無線機器の使用が日常化してきており、伝搬特性測定の必要性が高まってきている。特に、マルチパスによりコヒーレントな複数波が同時に入射する電波環境や、波源と受信アンテナとの距離が短く、波源を近傍波源として取り扱う必要がある場合がある。無線電力伝送においても、受電装置の位置が分かれば効率的に電力を送ることができる。このように、広い周波数で電波源や電波反射体の位置推定あるいは方位推定を行う方法が強く求められている。

そこで本研究では、MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) レーダの送受マルチアンテナを用いてターゲットの位置と広がりを検出するための高精度・高分解能・高効率なセンシング技術を研究開発する。例えば、走行中の車の運転手が進路を決定するためには、瞬時に、前方を走る車の位置と大きさを推定することが不可欠となることが理解できるであろう。したがって、MIMO レーダを用いたターゲットの位置と広がり推定が可能となれば、その有用性・有効性はかなり高いと言える。

2. 研究の目的

(1) 本研究の特色の一つは同一の目標物（ターゲット）からの到来波群をひとかたまりとして認識し、その中心角と角度幅を推定するところである。パラメータ推定法を用いるが、それらをパラメータとしてモデル化するところが従来とは異なるところである。推定アルゴリズムとしては Capon 法、MUSIC 法、ESPRIT 法、DOA-Matrix 法など高分解能アルゴリズムとして知られている既存の手法を用いるが、これらの組み合わせにより、遠方波源から近傍波源までシームレスな推定の実現を図る。また、送信ダイバーシチ技術を複合的に導入することによって得られるターゲット推定に対する効果について検討し、加えて、受信側で仮想アレーを多次元化することによる効果検証を行う。

(2) 本研究のもう一つの特徴として上げられるのは、高速処理のためにアレーのスナップショット（データサンプル）を多く取れないところである。通常、十分多くのスナップショットを取得し、処理をするのであるが、車の走行環境のように変化が速い場合には処理に時間がかけられない。そこで、1 スナップショットで推定が可能である圧縮センシングを導入し、MIMO レーダにおける性能を検証する。さらに最尤推定法と併用することにより性能向上を図る。

(3) 本研究は車載レーダを一つの研究対象としているが、近傍波源位置推定を含め、これらの技術は ITS で使用が考えられているレーダ全て（例えば交差点監視レーダ、踏切監視レーダ等）に十分適用が可能である。すなわち、交差点などでは、横断歩行者等の検出が可能となる。昨今、移動通信のみならず、災害時の探索機等の無線制御、工場内の諸機器の無線制御、車のワイヤレスハーネス化、無線電力伝送システム、ホームセキュリティや介護の遠隔支援等において、極めて信頼性の高い無線制御システムの実現への期待が大きくなってきている。それ故に、本研究の意義、波及効果は示していく。

3. 研究の方法

(1) 車載 MIMO レーダ用推定アルゴリズムの高性能化

車載レーダにおいてターゲット（例えば、前方を走る車）を検出する際、ターゲットからの反射波はその複雑な形状に依存して、大きさ、位相の異なる複数の波（素波）から構成される。これらは角度広がりのある電波となり、一般に推定が困難な到来波となる。一つの解決方法として、アンテナ数を増やしアレー化して角度分解能を上げ、これらの電波をすべて分解することが考えられる。しかし、車載の場合、そのスペースは限られており、また素子数が増えると共に演算負荷が増大するため、素子数を増やす方法は現実的ではない。そこで、各ターゲットからの反射波の到来中心角とその角度広がりを推定する方法を検討する。この方法が可能であれば、一つのターゲットからの反射波はひとかたまりの波と捕らえられ、素波を分解する必要がなくなるので、素子数を増やす必要もなくなる。それ故、車載レーダ用の推定手法としては大きく期待される技術である。本研究では、MIMO レーダ用推定アルゴリズムとしてパラメータ探索型の Capon 法や MUSIC 法、および非探索型の ESPRIT 法や DOA-Matrix 法に基づく推定手法を提案し、その基本特性を明確にする。また必要に応じて改良を加える。一方で、1 スナップショットで推定可能な圧縮センシングの適用可能性、および最尤推定法との併用の可能性について検討する。

(2) 近傍波源の位置と大きさ推定の実現

近傍の電波源（反射物）を推定する方法としては、球面波モードベクトル MUSIC 法を用い

ることが多い。しかし、この手法では波源が存在すると想定されるパラメータ空間を探索する必要があるため、方位と距離のように空間の次元が増えると膨大な探索時間がかかり効率的ではない。本研究では、この問題を解決する方法として MIMO レーダに近傍界 DOA-Matrix 法 (DOA-Matrix 法を近傍波源推定用に改良したもの) を用いた推定法について検討する。また角度広がり推定から電波源の大きさの推定も試みる。この方法を用いるとパラメータ空間の探索をせずとも数値演算のみで直接波源位置と大きさが導出されるので、大いに期待されることである。

(3) 複合送信ダイバーシチ技術と仮想センサアレーの多次元化

MIMO レーダの送信側で、空間領域、周波数領域、角度領域、符号領域など多次元にわたるダイバーシチ技術を導入することを検討する。これにより受信側の観測データ (仮想センサアレー) を多次元化でき、より高い効率と精度で推定できることが期待される。本研究ではこのように多次元化された仮想センサアレーによるターゲットの 2 次元方向 (方位角と仰角)、距離、速度などの情報をターゲット毎に速やかに推定する高効率なアルゴリズムを開発する。また、MIMO の特徴を活かして、信号の独立性を利用したブラインド信号処理 (例えば、独立成分分析) を MUSIC 法などの前段階として使用することも有効であると考えているので、その特性検討も行う。合わせて、従来の SIMO (Single-Input Multiple-Output) と MIMO とのハイブリッド方式 (切替方式) の動作確認と性能向上の可能性についても検証する。更には、送信側のマルチアンテナに適応ビーム形成機能をもたせることにより、個々のターゲットの大きさなどの特徴抽出をより精度良く行うことができるので、その有効性を示す。

4. 研究成果

(1) 拡散符号を用いた送信ダイバーシチ平均手法 (TCDS) を適用した場合、拡散利得と平均効果により、ターゲットからの受信角推定もターゲットの反射係数推定も推定精度の向上することが確認できた。また、マルチビームを用いた送信ビームダイバーシチ (TBD) を適用した場合、マルチビームを形成する方向次第では、角度分解能が変化しターゲット推定が困難になる場合があることが分かった。特に、適切にビーム形成すると角度領域のダイバーシチと送信電力の有効活用の効果により、従来の MIMO レーダより受信角推定の推定精度が明らかに高くなることが示された。さらに、TCDS と TBD を組み合わせた複合送信ダイバーシチ技術 (TBCDS) を MIMO レーダに導入した場合は、ターゲットの受信角推定の更なる推定精度の向上が確認された。

(2) ターゲットの角度広がりの推定においては、積分型モードベクトルを用いた推定手法 (例えば Capon 法) に複合送信ダイバーシチ技術 (TBCDS) を導入することにより、ターゲット推定 (中心角度と角度広がり) の性能が向上することを示した。特に低 SNR における改善効果が大きいことも確認した。

(3) 同一信号切替方式を用いた MIMO レーダでは送信信号に位相誤差 振幅誤差が発生する。本研究では、その MIMO レーダの仮想アレーにおいてオーバーラップ素子を用いた誤差の補正法を検討した。またアルゴリズムの工夫によってターゲット方向推定精度の向上を図った。固有ベクトル補正法、ESPRIT 補正法、および補正なし ESPRIT 法の 3 つの推定手法を比較した結果、ESPRIT 補正法、補正なしの ESPRIT 法が優れた性能を示した。続いて、2 ターゲットの分離特性を比較した結果、補正なし ESPRIT 法の分離精度が最も高いことが示されたが、ターゲット方向推定精度に関しては、ESPRIT 補正法の方が高いことが確認された。

(4) 圧縮センシングを MIMO レーダに用いることで、受信アレーの 1 スナップショットによるターゲット方向推定の実現と精度向上を図った。圧縮センシングの代表的アルゴリズムである ISTA、FISTA、FOCUSS の性能を評価するために、MUSIC 法などの従来法と比較検討した。さらに、素子配置として一様配置 (ULA) と最小冗長配置 (MRA) の比較を行った。その結果、圧縮センシングでは ULA より MRA の方が、高い推定精度を得られることが確認できた。更に、角度スペクトラム、推定精度、演算時間、ターゲット検知確率の全ての点から、FOCUSS の分離性能が最も高いことが示された。

(5) 受信側で信号分離のためにマッチトフィルタを用いた MIMO レーダでは、有限のサンプル数が原因で信号の分離が完全に行われておらず、推定精度が低下することがある。本研究では、MIMO レーダの仮想アレーにおいて圧縮センシング技術の導入やアルゴリズムの工夫によってターゲット方向推定精度の向上を目指した。高分解能推定法である MUSIC 法と Capon 法および圧縮センシングの M-FOCUSS (複数スナップショットが扱える FOCUSS) によるターゲット方向推定特性の比較検討を行った結果、MUSIC 法では、信号部分空間の次元を大きくすることにより高い受信 SNR 領域で推定精度を向上させることができ、Capon 法では常に安定して高い推定精度が得られることが示された。一方の M-FOCUSS では、複数ターゲットの場合に推定精度が他の手法よりも高くなり、ターゲットが複数存在する場合に優位であることが確認された。

(6) MIMO レーダにおいて、圧縮センシングの一つで、1 スナップショット推定が可能な FOCUSS と、最尤推定法の 1 手法である SAGE アルゴリズムを併用することにより、ターゲット方向推定の推定精度の向上および演算時間の短縮を図った。推定精度および演算時間を評価した結果、受信 SNR が 15dB 以上で平均角度誤差が 0.5 度程度で横ばいとなり、下げ止まり状態となることがわかった。これに対し、SAGE アルゴリズムの導入により、推定精度が大きく向上した。演算時間については、SAGE アルゴリズムを導入したことで演算時間の増加が見られたが、全演算時間としては他のアルゴリズムより短いことが確認された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Nobuyoshi Kikuma, Kentaro Nishimori, Takefumi Hiraguri	4. 巻 E101-B
2. 論文標題 Effect of User Antenna Selection on Block Beamforming Algorithms for Suppressing Inter-User Interference in Multiuser MIMO System	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 1523-1535
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transcom.2017CQI0001	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49件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 28件）

1. 発表者名 菊間信良
2. 発表標題 アレー信号処理における相関行列の物理的意味
3. 学会等名 電子情報通信学会2020年総合大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 關山桂太, 菊間信良, 榊原久二男
2. 発表標題 尖度最大化アルゴリズムを用いたアレーアンテナによるブラインド信号分離の特性解析
3. 学会等名 電子情報通信学会2020年総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 滝藤寛人, 菊間信良, 榊原久二男
2. 発表標題 PN相関法を用いた圧縮センシングによるマルチパス波のTOF推定
3. 学会等名 電子情報通信学会2020年総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林 朋樹, 菊間信良, 榊原久二男
2. 発表標題 サーキュラレーを用いた近傍波源位置推定と素子間相互結合の影響に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会2020年総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 片岡研人, 菊間信良, 榊原久二男
2. 発表標題 干渉波除去とBeamspace MUSICを用いた所望波到来方向推定のためのアレー校正評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 MIKA2019 (革新的無線通信技術に関する横断型研究会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤秀崇, 菊間信良, 榊原久二男
2. 発表標題 オーバーラップ素子を導入したMIMOレーダにおける固有ベクトルを用いた送信信号誤差補正
3. 学会等名 電子情報通信学会 MIKA2019 (革新的無線通信技術に関する横断型研究会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤友哉, 菊間信良, 榊原久二男
2. 発表標題 空間平均を用いた尖度に基づくFast ICAとRobust ICAの比較検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 MIKA2019 (革新的無線通信技術に関する横断型研究会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡辺圭亮, 菊間信良, 榊原久二男
2. 発表標題 分散アレーに近傍界DOA-Matrix法を適用した近傍波源位置推定
3. 学会等名 電子情報通信学会 MIKA2019 (革新的無線通信技術に関する横断型研究会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木許 肇, 菊間信良, 榊原久二男
2. 発表標題 MIMOレーダにおけるCapon法のターゲット方向推定特性に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 MIKA2019 (革新的無線通信技術に関する横断型研究会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 勝 大河, 菊間信良, 榊原久二男
2. 発表標題 OAM-MIMO通信における受信アレーの傾き角による特性影響に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 MIKA2019 (革新的無線通信技術に関する横断型研究会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲見将宏, 菊間信良, 榊原久二男
2. 発表標題 圧縮センシングを用いたDOA推定のSAGEアルゴリズムによる性能改善
3. 学会等名 電子情報通信学会 MIKA2019 (革新的無線通信技術に関する横断型研究会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小川純平, 菊間信良, 榊原久二男
2. 発表標題 ライスフェージング環境下でのMU-MIMO通信におけるブロック最大SNR法の特性解析
3. 学会等名 電子情報通信学会 MIKA2019 (革新的無線通信技術に関する横断型研究会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮本一樹, 菊間信良, 榊原久二男
2. 発表標題 高速フーリエ変換を用いた複数スナップショット圧縮センシングによるDOA推定の性能評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 MIKA2019 (革新的無線通信技術に関する横断型研究会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuki Miyamoto, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara
2. 発表標題 Performance Evaluation of DOA Estimation Using Compressed Sensing with Fast Fourier Transform
3. 学会等名 IEEE iWEM2019 (2018 IEEE International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taiga Katsu, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara
2. 発表標題 Performance Influence of Inclination Angle of Receiving Array in OAM-MIMO Communication
3. 学会等名 IEEE iWEM2019 (2018 IEEE International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hidetaka Kato, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara
2. 発表標題 Transmission Error Correction Using Eigenvectors in MIMO Radar with Overlapping Elements
3. 学会等名 2019 International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro Inami, Nobuyoshi Kikuma, and Kunio Sakakibara
2. 発表標題 Performance Improvement of DOA Estimation Using Compressed Sensing by SAGE Algorithm
3. 学会等名 2019 International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hajime Kimoto, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara
2. 発表標題 Target Direction Estimation Characteristics of Capon Algorithm in MIMO Radar
3. 学会等名 2019 International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuya Sato, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara
2. 発表標題 Comparative Study of Kurtosis-Based FastICA and RobustICA Using Spatial Smoothing Preprocessing
3. 学会等名 2019 International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kento Kataoka, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara
2. 発表標題 Array Calibration Effect for DOA Estimation of Desired Wave with Interference Canceler and Beamspace MUSIC
3. 学会等名 2019 International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keisuke Watanabe, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara
2. 発表標題 Localization of Radio Sources Using Near-field DOA-Matrix Method in Distributed Arrays
3. 学会等名 2019 International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Junpei Ogawa, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara
2. 発表標題 Performance Analysis of Block Maximum SNR Algorithm for MU-MIMO System under Rice Fading Environment
3. 学会等名 2019 International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉浦良幸, 菊間信良, 榎原久二男
2. 発表標題 電波ホログラフィと仮想アレー拡張を用いた電波源の2次元位置推定
3. 学会等名 電子情報通信学会2018年ソサエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菊間信良, 米津宏亮, 榊原久二男
2. 発表標題 マルチユーザMIMOにおけるブロックMSN法とMMSEチャネルインバージョン法の特性比較
3. 学会等名 電子情報通信学会2018年ソサエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤秀崇, 菊間信良, 榊原久二男
2. 発表標題 オーバーラップ素子を導入したMIMOレーダにおける固有ベクトルを用いた送信信号誤差補正
3. 学会等名 電子情報通信学会2019年総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小川純平, 米津宏亮, 菊間信良, 榊原久二男
2. 発表標題 ライスフェージング環境下でのMU-MIMO通信におけるブロック最大SNR法の特性解析
3. 学会等名 電子情報通信学会2019年総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲見将宏, 菊間信良, 榊原久二男
2. 発表標題 圧縮センシングを用いた反復型近傍波源位置推定の一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会2019年総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nobuyoshi Kikuma, Kousuke Yonezu, Kunio Sakakibara
2. 発表標題 Performance Analysis and Improvement of Block MSN Algorithm in Multi-user MIMO System
3. 学会等名 電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 那須俊哉, 菊間信良, 榊原久二男
2. 発表標題 圧縮センシングに基づく2段階探索方式を用いた電波到来方向推定の性能改善
3. 学会等名 電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中島祐翔, 菊間信良, 榊原久二男
2. 発表標題 サイクリック相関を導入した電波ホログラフィ法を用いるDOA推定法のSAGEアルゴリズムによる性能改善
3. 学会等名 電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshiya Nasu, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara
2. 発表標題 Performance Improvement of DOA Estimation Using Conjugate Gradient Method with Subtraction Scheme
3. 学会等名 IEEE iWEM2018 (2018 IEEE International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Masahiro Inami, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara
2 . 発表標題 Two-Step Localization of Near-Field Sources Using Compressed Sensing with Two Coordinate Systems
3 . 学会等名 IEEE iWEM2018 (2018 IEEE International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Kento Kataoka, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara, Rikako Yamano
2 . 発表標題 DOA Estimation of Desired Wave with Interference Rejection Using Circular Adaptive Array
3 . 学会等名 IEEE iWEM2018 (2018 IEEE International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Yoshiyuki Sugiura, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara
2 . 発表標題 Two-dimensional Source Localization Using Radio Holography and Virtual Array Extension
3 . 学会等名 IEEE iWEM2018 (2018 IEEE International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Sota Iwase, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara
2 . 発表標題 Angular Spread Estimation of MIMO Radar Using Transmission Beam Diversity
3 . 学会等名 IEEE iWEM2018 (2018 IEEE International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaya Yamada, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara
2. 発表標題 Distance Estimation between Base Station and User Terminal Using Multi-Carrier Signal and 4th Order Cumulants
3. 学会等名 IEEE iWEM2018 (2018 IEEE International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kosuke Yonezu, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara
2. 発表標題 Evaluation of Block MSN Algorithm Based on Transmission Rate in Multiuser-MIMO System
3. 学会等名 IEEE iWEM2018 (2018 IEEE International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuto Nakajima, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara
2. 発表標題 Reduction Effect of Snapshots in DOA Estimation Using Radio Holography by SAGE Algorithm
3. 学会等名 IEEE iWEM2018 (2018 IEEE International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hidetaka Kato, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara
2. 発表標題 Effect of Signal-Subspace Dimension on MIMO Radar with Transmission Signal Errors
3. 学会等名 IEEE iWEM2018 (2018 IEEE International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuya Sato, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara
2. 発表標題 Improvement of DOA Resolution Capability of VESPA by Using Multiple Guiding Sensors
3. 学会等名 IEEE iWEM2018 (2018 IEEE International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kosuke Yonezu, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara
2. 発表標題 Performance Comparison between Block Maximum SNR Algorithm and MMSE Channel Inversion Algorithm in Multiuser-MIMO Systems
3. 学会等名 2018 International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuya Sato, Nobuyoshi Kikuma, and Kunio Sakakibara
2. 発表標題 Improvement of Estimation Accuracy by Using Multiple Guiding Sensors in DOA Estimation of Radio Waves with VESPA Algorithm
3. 学会等名 2018 International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuto Nakajima, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara
2. 発表標題 Performance Improvement of DOA Estimation Using Radio Holography by SAGE Algorithm
3. 学会等名 2018 International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaya Yamada, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara
2. 発表標題 Distance Estimation between Base Station and User Terminal Using Multi-Carrier Signal
3. 学会等名 2018 International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hidetaka Kato, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara
2. 発表標題 Transmission Error Correction Using Overlapping Elements in Virtual Array of MIMO Radar
3. 学会等名 2018 International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sota Iwase, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara
2. 発表標題 Angular Spread Estimation of MIMO Radar Using Transmission Diversity
3. 学会等名 2018 International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshiya Nasu, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara
2. 発表標題 Performance Improvement by Two-Step Search Method in DOA Estimation Based on Compressed Sensing
3. 学会等名 2018 International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kento Kataoka, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara
2. 発表標題 DOA Estimation of Desired Wave with Interference Rejection Using Beamspace Root-MUSIC
3. 学会等名 2018 International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Inami, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara
2. 発表標題 Localization of Near-Field Sources Using Compressed Sensing
3. 学会等名 2018 International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4. 発表年 2018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
---------	---------