

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 27 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560451

研究課題名(和文) MIMOアンテナを用いた電波波源の位置と広がりを検出する高性能波源推定技術

研究課題名(英文) High-Performance Radio Source Estimation Techniques Using MIMO Antennas for Detecting Position and Spread of Each Radio Source

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) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、車載レーダ等において目標物からの反射波の到来角とその角度広がりを推定する方法、さらに目標物の位置を推定する方法について検討を行った。システムは、MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) アンテナ構成で、高性能到来波推定アルゴリズムとしてはSAGE-DOA-Matrix法を適用した。検討の結果、遠方から到来する到来波の到来方向と角度広がりを同時推定するための手法を考案し、その有効性を確認した。また、電波源が近傍にある場合、到来波が球面波であることを利用して電波源の位置を効率よく推定するアルゴリズムの改良法を提案し、その有効性を示した。

研究成果の概要(英文)：High-resolution emitter source estimation technique to detect both the position and extension of the target in the automotive radar has been researched and developed. The system consists of MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) antennas, and employs SAGE-DOA-Matrix method for high-resolution estimation algorithm. As a result, it has been confirmed that both the angle of arrival and the angular spread of each incoming far-field wave (plane wave) can be estimated simultaneously by a proposed method. Moreover, the near-field source (spherical wave) localization method is improved, and its high efficiency and effectiveness in source localization have been shown.

研究分野：工学

キーワード：MIMOアンテナ 到来方向推定 角度広がり推定 近傍波源位置推定 車載レーダ SAGE-DOA-Matrix法

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、自動車の ACC (Adaptive Cruise Control)・車間距離警報システム、更には自動運転などに用いるために、ミリ波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、また衝突予知による衝撃緩和システムへの応用も進められている。今後の安全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・低価格化が望まれており、このためには心臓部である高速かつ高機能信号処理技術の開発が必須である。

(2) 家電機器、スマートフォン、電子キー等に見られるように、さまざまな無線機器の使用が日常化してきており、使用される環境での電波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。このように、コヒーレント波や近傍波源の位置推定を正確かつ効率よく行う方法が求められている。

(3) また、今話題の無線電力伝送においても受電装置の位置が分かれば高い伝送効率で無駄なく電力を送ることができる。このように、様々な周波数帯および広い用途で、電波波源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。

(4) 一方、MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) と呼ばれるマルチアンテナ技術が通信やレーダの分野で注目されており、電波の到来方向推定や電波波源の位置推定のための高性能波源推定システム構成として期待されている。

2. 研究の目的

本研究では、アレーアンテナあるいは MIMO などのマルチアンテナを用いて目標物の位置と広がりを検出するための高分解能・高性能波源推定技術を研究開発する。MIMO のようなマルチアンテナを用いた目標物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。本研究の具体的な研究目的を以下に記す。

(1) 車載レーダにおいて目標物（例えば、前方を走る車）を検出する際、目標物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。1 つの解決方法として、アンテナ数を増やして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、各目標物からの反射波の到来中心角とその角度広がり推定する方法を検討する。この方法が可能であれば、1 つの目標物からの反射波は 1 つの波と捕らえられ、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、Capon 法や MUSIC 法に基づく推定手法を提案し、計算機シミュレーションにより、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。

(2) 近傍の電波波源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 アンテナに近傍界 DOA-Matrix 法を用いた推定法について検討する。この方法を用いると波源空間の探索をせずとも数値演算のみで直接波源位置が導出されることが期待される。また既存の MIMO レーダ技術の利用により高性能化が期待できる。更に波源間に相関性がある場合の対策として最尤推定法の一つである EM/SAGE アルゴリズムを併用することを考える。通常、相関の高いコヒーレント波に対応するためには、前もって空間平均法を用いて波源相関を低減する。ところが、球面波を受信した場合には等間隔アレーであるにも関わらず、素子ごとの位相差が異なる仮想的な不等間隔アレーとして処理することになるため、等間隔アレーを前提としている空間平均法をそのまま適用することはできない。その上、空間平均法を適用できたとしても、平均化処理によって実質のアレー開口面積が減少し、方位分解能が低下してしまう。本研究では、計算機シミュレーションと電波暗室内の実験により、MIMO システムをベースにした近傍界 DOA-Matrix 法と EM/SAGE アルゴリズムを併用するコヒーレント近傍電波波源の位置推定について詳細検討し、提案法の有効性を示す。

3. 研究の方法

(1) リニアアレーアンテナを用いて遠方から到来する到来波の到来方向と角度広がり推定するための解析モデルを構築する。そしてこのモデルを用いたパラメータ推定法を考案し、その特性を計算機シミュレーションにより検討する。基本アルゴリズムは Capon 法、MUSIC 法であり、角度広がり推定が精度良くできるように改良を加える。

(2) 遠方から到来する到来波の到来方向と角度広がり推定するためのアルゴリズムの検証のために、電磁波解析ソフトウェアを用

いたシミュレーション実験を行う。このソフトウェアはモーメント法により電磁界問題を解くもので、目標物の電磁界分布を計算するために用いる。電磁波解析ソフトウェアをインストールした解析専用コンピュータを用いて現実に近い環境でシミュレーションを行う。その結果から、提案手法の有効性を確認し、また問題点を探る。そして提案手法の改良へとフィードバックする。

(3) リニアアレーアンテナまたは平面アレーアンテナを用いて近傍から到来する到来波の位置を推定する解析モデルを構築する。そしてこのモデルを用いたパラメータ推定法を考案し、その特性を計算機シミュレーションにより検討する。基本アルゴリズムとしては DOA-Matrix 法と最尤推定法 (EM/SAGE) を用いる。波源位置を表すスペクトラムのピークを探す探索型の場合、位置の特定にかなりの時間がかかるため、非探索型のアルゴリズムの考案が望まれる。従って、非探索型アルゴリズム中心に検討を行い、MIMO 技術を導入しながら改良を行っていく。

(4) 近傍波源位置推定の検討においては、パーソナルコンピュータ上での MATLAB 計算機シミュレーションに加えて、2.4GHz 帯で電波暗室内実験を行う。それ故、製作した送受信アンテナと周波数変換器を必要に応じて再調整し、測定のための治具を製作した後、実験的に近傍波源位置推定法の検証を行う。また、実験結果から、提案手法の有効性を確認し、また問題点を探る。そして、提案手法の改良へとフィードバックする。さらに、金属板でコヒーレント電波環境をつくり、実際の環境を想定した実験を通して総合評価を行う。また、必要に応じて推定アルゴリズムの改良を行っていく。

4. 研究成果

(1) リニアアレーアンテナを用いて遠方から到来する到来波の到来方向と角度広がりを見積もるための手法を考案し改善を行った。基本アルゴリズムは本研究室で考案した非探索型の DOA-Matrix 法と SAGE アルゴリズムを併用したもの (SAGE-DOA-Matrix 法) で、更に SLS (Structured Least Squares) という最小 2 乗法を導入して、推定精度の改善を行った。

(2) 電波源がアレーアンテナの近傍にある場合、到来波が球面波であることを利用して電波源の位置を推定する手法について検討した。アルゴリズムには本研究室で考案した近傍界 SAGE-DOA-Matrix 法を用い、推定精度改善のために空間平均法を新たに導入し、さらに SAGE アルゴリズムを良好に収束させる初期値設定法を考案し、その有効性を示した。

(3) 送受で複数のアンテナを利用した MIMO レーダの性能改善について検討を行った。アルゴリズムとしては、目標物の角度広がりを見積もるために積分型の Capon 法と MUSIC 法を用い、比較検討を行った。その結果、どちらも良好に目標物の方向と角度広がりを推定できることが示され、積分型 MUSIC 法の精度が若干ではあるが高いことも確認された。

(4) MIMO レーダの送信信号としてデジタル変調信号を用い、その周期定常性 (サイクリック相関) を利用して干渉波のある電波環境で選択的に所望の電波源からの到来方向のみを見積もる手法について検討した。複数のサイクリック相関を同相合成することにより、受信信号の SN 比を向上させる手法を提案し、その有効性を確認した。

(5) モノポールアンテナから成る 3 素子アレーアンテナを製作し、到来方向推定のためのキャリブレーション手法について検討し、実環境での有効性を確認した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

奥野将士、菊間信良、平山裕、榊原久二男、DOA-Matrix 法と SAGE アルゴリズムを併用した到来電波の到来方向と角度広がり同時推定、電子情報通信学会論文誌 B、査読有、Vol. J98-B, No.2, 2015, 162 - 171,

http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j98-b_2_162&category=B&year=2015&lang=J&abst=

石崎亮多、菊間信良、平山裕、榊原久二男、EM アルゴリズムを用いた 2D-DOA 推定のためのアレー形状変換法 CSS 法に基づくアレー形状変換、電子情報通信学会論文誌 B、査読有、Vol. J96-B, No.9, 2013, 945 - 954,

http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j96-b_9_945&category=B&year=2013&lang=J&abst=

古賀健一、菊間信良、平山裕、榊原久二男、小池竜也、岩下明暁、水野善之、時分割多重を用いる単一受信機によるアダプティブアレーのスイッチ切り換え方法に関する検討、電子情報通信学会論文誌 B、査読有、Vol. J96-B, No.2, 2013, 149 - 162,

http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j96-b_2_149&category=B&year=2013&lang=J&abst=

新村剛士、菊間信良、平山裕、榊原久二男、QR 分解を用いた MENSE 法に基づく到来波数推定法の改善、電子情報通信

学会論文誌B, 査読有, Vol. J95-B, No. 9, 2012, 1185 - 1187,
http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j95-b_9_1185&category=B&year=2012&lang=J&abst=

〔学会発表〕(計40件)

Toshiki Iwai, Naoki Hirose, Nobuyoshi Kikuma, et al., DOA Estimation by MUSIC Algorithm using Forward-Backward Spatial Smoothing with Overlapped and Augmented Arrays, 2014 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2014), 2014年12月4日, Kaohsiung (Taiwan)

Yuya Aoki, Hisamichi Mori, Nobuyoshi Kikuma, et al., Performance Improvement of Obstacle Detection of Short Range MIMO Sensor Using Signal Subspace, 2014 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2014), 2014年12月4日, Kaohsiung (Taiwan)

Masahiro Mori, Nobuyoshi Kikuma, et al., A Consideration on Simple Decoupling Circuit without Three-dimensional Structure for MIMO Antennas, 2014 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2014), 2014年12月4日, Kaohsiung (Taiwan)

Kyohei Takeuchi, Nobuyoshi Kikuma, et al., Performance Improvement of Localization of Coherent Near-field Sources by Combined Use of DOA-Matrix Method and SAGE Algorithm, 2014 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2014), 2014年12月4日, Kaohsiung (Taiwan)

Tomomi Imai, Nobuyoshi Kikuma, et al., A Consideration of FastICA Algorithm Using Spatial Smoothing Preprocessing for Separation of Coherent Signals, Vietnam-Japan International Symposium on Antennas and Propagation, 2014年1月10日, Hanoi (Vietnam)

Kiyotoshi Sekine, Nobuyoshi Kikuma, et al., DOA Estimation Using Spatial Smoothing with Overlapped Effective Array Aperture, 2012 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2012), 2012年12月7日, Kaohsiung (Taiwan)

Kazuto Sugimoto, Nobuyoshi Kikuma, et al., Evaluation and Comparison of DOA Estimation Methods with Estimated Number of Signals, 2012 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2012), 2012年10月31日, Nagoya Congress Center (Nagoya, Japan)

Takahiro Hirano, Nobuyoshi Kikuma, et al., Location Estimation of Multiple Near-Field Broadband Sources by Combined Use of DOA-Matrix Method and SAGE Algorithm in Array Antenna Processing, 2012

International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2012), 2012年10月31日, Nagoya Congress Center (Nagoya, Japan)

Ken-ichi Koga, Nobuyoshi Kikuma, et al., A Switching Order Optimization for an Adaptive Array with a Single Receiver Using Time-Division Multiplexing, 2012 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2012), 2012年10月31日, Nagoya Congress Center (Nagoya, Japan)

Tatsuya Hayashi, Nobuyoshi Kikuma, et al., A Consideration of Performance Improvement of Location Estimation of Scatterers in MIMO Radar, 2012 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2012), 2012年11月1日, Nagoya Congress Center (Nagoya, Japan)

Yosuke Kajimura, Nobuyoshi Kikuma, et al., DOA Estimation Using Subspace Tracking Method for Coherent Waves, 2012 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2012), 2012年11月1日, Nagoya Congress Center (Nagoya, Japan)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕
ホームページ等
http://researcher.nitech.ac.jp/html/232_ja.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菊間 信良 (KIKUMA, Nobuyoshi)
名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 40195219