

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月15日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360184

研究課題名（和文） 電波波源の位置と広がりを検出する車載レーダ／センサ用
高分解能波源推定技術研究課題名（英文） HIGH-RESOLUTION AUTOMOTIVE RADAR/SENSOR TECHNIQUES FOR
DETECTING LOCATION AND ANGULAR SPREAD OF RADIO SOURCES

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

研究成果の概要（和文）：本研究では、車載レーダ（アレーアンテナ）において目標物の位置と広がりを検出するための高分解能波源推定技術について研究開発を行った。また波源が近傍にある場合、その位置を効率よく特定する手法についても検討した。その結果、簡易な方法で到来波の到来角と広がり角を推定することができることを確認した。また、近傍波源の位置推定では、波源が広帯域信号であっても推定ができるように改良を行い、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 (array antenna) has been researched and developed. Also, the technique for efficiently specifying the position has been investigated when there is an emitter source in the near field. As a result, it has been confirmed that both the angle of arrival and the angular spread of each incoming wave can be estimated by a simple method. Moreover, the near-field source localization method is improved so as to be available even when the emitter source is a broadband signal, and its effectiveness is shown.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	4,500,000	1,350,000	5,850,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学，通信・ネットワーク工学

キーワード：アレーアンテナ，レーダ，電波波源推定，位置と広がり，高分解能，近傍波源

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、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とミリ波送受信モジュールの小型・低コスト化が必須である。

(2) 車室内においても地上デジタル放送、携帯電話、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、伝搬特性測定の実用性が高まってきている。しかし、車室内は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環境であり、また波源とセンサの距離が短く近傍波源として取り扱う必要がある。このように、周波数帯は異なるが、車室内で近傍の電波波源の位置推定を行う方法が強く求められている。

2. 研究の目的

(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センサ到来波となる。1つの解決方法として、センサアレーの素子数を増や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を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もなくなる。FMCW方式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、この種の推定手法を提案し、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) 車室内の電波波源を推定する方法として、球面波モードベクトル MUSIC法を用いる。MUSIC法はもともとコヒーレント波には対応していないため、前もって空間平均法等を用いて波源相関を低減する必要がある。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。本研究では、波源相関を低減するために、信号を広帯域化して各周波数成分の平均（周波数平均法）を用いることを考える。この際、異なる周波数のアレー応答ベクトルを同じ周波数のものに変換し、アレー応答ベクトルの周波数差を低減して推定精度の向上を図る。これはCSS (Coherent Signal-Subspace)法と呼ばれ、アレー形状に拠らないため、近傍波源に対しても適用可能である。また、空間平均法のように平均化処理による開口面積の減少が発生しないため、アンテナ素子数が削減できることとなり、特に平面アレーにおいては素子数削減効果

が大きい。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、CSS法を適用した球面波モードベクトルMUSIC法によりコヒーレントな近傍電波波源の位置推定を行い、その手法の有効性を示す。

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を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、ESPRIT法であり、必要に応じて改良を加える。

(2) 遠方から到来する到来波の到来方向と角度広がりを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推定実験を行う。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実験を行う。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MUSIC法、ESPRIT法、DOA-Matrix法、最尤推定法を用いる。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、探索型から非探索型へとアルゴリズムの改良を行っていく。

(4) パーソナルコンピュータ上での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、送受信アンテナと周波数変換器を製作し、実験的に波源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、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。

4. 研究成果

(1) 従来の到来方向推定法であるCapon法に積分型モードベクトルを導入し、方向のみならず角度広がりも正確に推定する方法を提案した。計算機シミュレーションにより入力SNRが高い場合において非常に精度良く推定ができることを確認した。さらに、MUSICアルゴリズムを用いて簡易に到来波の到来角と広がり角を推定するアルゴリズム

ムについて検討を行った。ビームスペース方式を導入することによって広がり角の推定精度はまだ十分に得られていないが、到来角については高い推定精度が得られることを確認した。また、積分型モードベクトルを用いる従来法と比較し、ほぼ同程度の特性が得られることを確認した。

(2) 現在ある有力な到来方向推定法は到来波数が既知であるという前提をおいている。しかしながら到来波数推定は電波環境次第では非常に困難となる。そこで本研究では従来から存在する幾つかの到来波数推定法の長所・短所を整理し、改善への糸口を探った。計算機シミュレーションを通して具体的な検討をし、まずは重要な知見を得た。そして到来波数推定も処理に含めた総合的推定法の検討を行い、固有値展開を行わない計算負荷の小さい推定法の優位性を示すことができた。

(3) 多重波環境ではコヒーレント波の推定が必要となる。本研究では最尤推定法の一つである EM/SAGE アルゴリズムにビームスペース方式や非探索アルゴリズムを導入して改善を図った。計算機シミュレーションの結果、提案法が非常に高精度で高効率なアルゴリズムであることを示すことができた。

(4) 入力データからパラメータ探索をせずとも波原位置推定ができる DOA-Matrix 法と最尤推定の一つである SAGE アルゴリズムを組み合わせることにより、複数の近傍波源の位置を効率よく推定できる手法を提案した。計算機シミュレーションを通して提案法の有効性が確認できた。さらに、波源が広帯域信号であっても推定ができるようにするなど、実用性を高めるための改良を行った。

(5) 円形アレーを含む任意形状（任意素子配列）アレーに高効率アルゴリズムを適用するためにアレー形状変換手法について検討をした。その結果、コヒーレント部分空間法 (CSS) に基づくアレー形状変換を任意形状アレーに施すと、リニアアレーに変換でき、ESPRIT 法などの高効率アルゴリズムの適用が可能になることを示した。さらに、推定精度を高めるためにアレー校正法について検討した。その結果、これまでの提案法にフーリエ変換と補間法を新たに導入することによって、複数波の到来方向を高効率・高精度に推定することが可能となった。

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 8 件）

- ① 菊間信良, 山下祐希, 平山裕, 榊原久二男, DOA-Matrix 法と SAGE アルゴリズムを併用した複数の近傍波源の位置推定, 電子情報通信学会論文誌 B, 審査有, Vol. J94-B, No. 9, 2011, 1046–1055
- ② 古賀健一, 菊間信良, 平山裕, 榊原久二男, 河村大輔, 岩下明暁, 水野善之, 狭帯域近傍波源に対するコヒーレント信号部分空間法適用時の位置推定特性改善に関する検討, 電子情報通信学会論文誌 B, 審査有, Vol. J93-B, No. 10, 2010, 1445–1455
- ③ 石黒靖博, 菊間信良, 平山裕, 榊原久二男, SAGE アルゴリズムを用いた高分解能電波到来方向推定のための方形重み付きアレーアンテナ校正法, 電子情報通信学会論文誌 B, 審査有, Vol. J93-B, No. 2, 2010, 303–311
- ④ 小川 勝, 菊間信良, 佐藤和夫, 平山裕, 榊原久二男, 積分型モードベクトルを用いた微係数拘束付き Capon 法による到来波の角度広がり推定, 電子情報通信学会論文誌 B, 審査有, Vol. J92-B, No. 6, 2009, 921–929

〔学会発表〕（計 26 件）

- ① Hiroki Inoue, DOA and Angular Spread Estimation of Clustered Waves by Using BeamSpace MUSIC Algorithm, 2011 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2011), 2011 年 10 月 27 日, Jeju (Korea)
- ② Ryota Ishizaki, 2-D DOA Estimation with Arbitrary Planar Antenna Array Using MS Technique in Combination with EM Algorithm, 2011 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2011), 2011 年 10 月 27 日, Jeju (Korea)
- ③ Shunsuke Yoshimura, Generation of Optimum DOA Estimation Algorithm by Using Genetic Algorithm, 2011 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2011), 2011 年 10 月 27 日, Jeju (Korea)
- ④ Masahiro Sato, DOA Estimation Using Adaptive BeamSpace EM Algorithm, 2010 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2010), 2010 年 11 月 25 日, Macao (China)
- ⑤ Takuya Ohara, Array Configuration Conversion Method Using CSS Processing for DOA Estimation, 2010 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2010), 2010 年 11 月 25 日, Macao (China)

- ⑥ Gen Matsui, A Consideration of Channel Capacity of Near-Field MIMO Using Parasitic Elements, 2010 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2010), 2010年11月25日, Macao (China)

[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]

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