

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4月1日現在

機関番号：13903

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2011

課題番号：22760274

研究課題名（和文）アレー受信機における雑音の相関とその影響の評価

研究課題名（英文）

研究代表者 平山 裕 (HIROSHI HIRAYAMA)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：70372539

研究成果の概要（和文）：

アレー信号処理を実用化するためには、受信機における雑音の相関が問題となる。本研究は、実際のアレー受信機を用いることにより雑音の相関による到来方向推定精度への影響を評価した。さらに、遺伝的アルゴリズムを用いることにより、このような実際の環境下において最適な到来方向推定アルゴリズムを生成する方法を提案した。

研究成果の概要（英文）：In the use of array antennas in a real environment, correlation of noise in the array receiver becomes problem. In this research, effect of noise correlation on direction-of-arrival estimation error was investigated. Furthermore, a novel method using genetic algorithm to generate optimum angle-spectrum function in a specific environment was proposed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2011年度	600,000	0	600,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	810,000	4,110,000

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、遺伝的アルゴリズム

1. 研究開始当初の背景

これまでの科学研究費補助金、および民間助成により、アレー受信機システム、およびデジタル変調信号送信機を構築してきた。さらに、研究室には電波暗室が備えられており、自由空間を模擬した環境での到来方向推定実験を行うことができる。これまでの研究はアレーの素子位置誤差およびアンテナの相互結合による誤差をキャリブレーションにより補正する方法を提案することを目的と

してきた。一方、研究の過程において、雑音の相関行列が実際には単位行列にはならないことが明らかになった。この原因を追及し、理想的な受信機を構成する方法を考案することも一つの方法であるが、この場合、アレー受信機が複雑になり、高価格化して、実用化の妨げになる可能性がある。そのため、最終的にはソフトウェアによりアレー受信機の雑音の相関の影響をキャリブレーションし、低価格なハードウェアで到来方向推定精

度を高める方法を提案したいということが、本研究の着想の経緯である。

2. 研究の目的

- a. 実際のアレー受信機の雑音の相関がどのようになっているか。受信機のブロックごとの雑音の相関への寄与、局部発振の位相雑音の影響を明らかにする。温度特性の影響は本研究の対象外とする。
 - b. 雑音の相関が到来方向推定精度に与える影響はどの程度であるか。到来波の到来角、角度広がり、複数の到来波間の相関による影響を調べる。解析は数値的に行い、統計的に評価する。解析的に行うことは今後の課題とする。
 - c. アレー受信機の雑音を、シミュレーションモデルで表現するとどのようになるのか。シミュレーションモデルの雑音の相関の統計的な性質が、実際の受信機の雑音の相関の統計的な性質と一致するようにする。シミュレーションモデル中において、個々の受信機は、いくつかのパラメータによりより特徴付けられる。統計的に見たマクロなモデルとし、ミクロなモデルとはしない。
- 以上三点が、本研究期間内に明らかにしたいことである。
- また、雑音の相関をキャリブレーションする方法を提案することは、本研究期間終了後の課題とする予定である。

3. 研究の方法

初年度は、本補助金を用いてアレー受信機のハードウェアを構築し、実際の受信機における雑音を取得する。さらに、受信機のコンポーネントを単独で動作させたときの雑音を観測することにより、受信機のどの部分でどの程度の雑音の相関が発生しているかを定量的に評価する。

次年度は、初年度に取得した雑音データを用いて到来方向推定シミュレーションを行うことにより、アレー受信機の雑音の相関が、到来方向推定結果にどのような影響を及ぼすかを定量的に評価する。さらに、アレー受信機の雑音を表現するモデルを作成し、実際の受信機に即した雑音を、シミュレーションに組み込むことができるようにする。

これらの研究結果をふまえて、雑音の相関による到来方向推定精度の悪化をキャリブレーションにより除去する方法を提案していく予定である。

科学研究費補助金により16チャンネルA/Dコンバーターを購入し、既存のアレーアンテナシステムに組み込む。現在もA/Dコンバーターは保有しているが、雑音を研究の対象にするためにはサンプリングレート、電圧分解能が不足しているため、新たに購入する。このシステムのハードウェア・ソフト

ウェアを構築し、実験を行うことができるように環境を整える。さらに、構築したシステムを稼働させ、実際の雑音波形を取得して、アレー受信機の雑音の相関の定量的な評価を行う。受信機をブロックごとに動作させてデータを取得することにより、受信機の内部のどの部分でどのような雑音の相関が発生しているかを明らかにする。特に、局部発信器は一つの信号源の出力がアレーの全素子で共通して使用されているために、この部分を重点的に調べる。また、アンテナの相互結合や、受信機内部の配線の電磁誘導結合・静電誘導結合が雑音の相関の原因になっていないかも調査する。

明らかにしたアレー受信機の雑音の相関が、到来方向推定精度にどのような影響を与えるかを定量的に評価する。実際に観測した雑音データを用いて到来方向推定シミュレーションを実行する。特に、複数の到来波がある場合に、それらの到来波間の相関による到来方向推定精度の影響が、アレー受信機の雑音の相関によってどのように変化するかを明らかにする。

以上の研究は、我々の研究室にある特定のアレー受信機の場合の研究であったが、これを一般化させるために、アレー受信機の内部雑音のシミュレーションモデルを構築する。個々のアレー受信機をいくつかのパラメータで特徴付け、そのパラメータにより、到来方向シミュレーションにアレー受信機の内部雑音を正確に模擬できるようにする。

4. 研究成果

アレー信号処理のシミュレーションにおいて、多くの場合雑音が無相関であると仮定している。しかしながら、これまでの申請者の研究で、実際の受信機では雑音に相関があることが明らかになった。本研究は、実際のアレー受信機を用いることにより雑音の相関発生メカニズムを明らかにし、雑音の相関による到来方向推定精度への影響を評価した。その上で、受信機の雑音の相関など、現実的な条件下で、最適な電波到来方向推定アルゴリズムを自動的に探索する方法を提案した。

新しい提案法は、進化論的手法である遺伝的アルゴリズムを用いて、電波到来方向推定の開発を自動化することが目的である。電波到来方向推定アルゴリズムとして遺伝的アルゴリズムを用いるのではなく、新しい電波到来方向推定アルゴリズムを開発するための手段として遺伝的アルゴリズムを用いることが特徴である。電波到来方向推定アルゴリズムは、使用される環境により、低SNR、低サンプル数、高相関など、要求される条件が異なる。そのため、それぞれの環境に最適な電波到

来方向推定アルゴリズムが存在する。生物が、それぞれの環境において適したものが生存し、進化してきたように、要求される条件下で最適な電波到来方向推定アルゴリズムを開発するための手法を確立し、計算機デモンストレーションにより効果を検証した。

提案法の概要を図1に示す。まず、遺伝的アルゴリズムから受け取ったビット配列をポーランド記法を用いて電波到来方向推定アルゴリズムに変換する。遺伝子に対する演算子・パラメータの割り当ての例を表1に、代表的な角度スペクトル関数の遺伝子表現を図2に示す。次に、このアルゴリズムを用いて、設定した条件下における電波到来方向推定シミュレーションを行い、そのアルゴリズムの良さを推定誤差として定量化する。受信機の誤差に関する条件などは、この段階で提案アルゴリズムに組み込まれる。この誤差を遺伝的アルゴリズムに返すことにより、設定した条件下における最適な到来方向推定アルゴリズムが生成される。提案法の実行結果、最適化されたスペクトル関数の特性を図3、4に示す。従来法より優れた特性を有していることが確認できる。

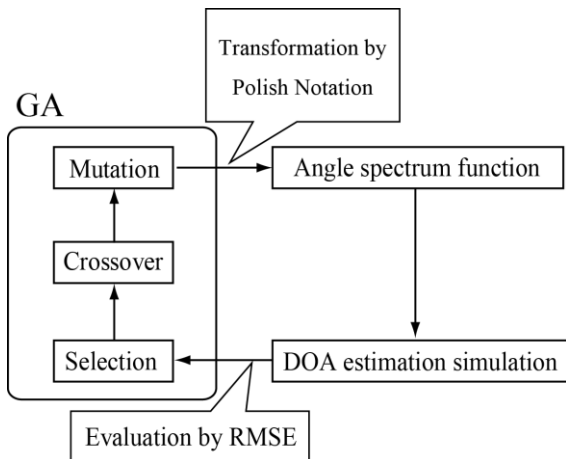


図1：提案法の概要

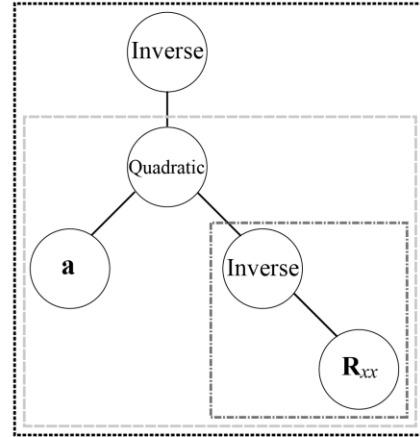
Gene	Parameter or Operator
0	$f(A) = A^{-1}$:Inverse
1	$f(A, B) = A^H B A$:Quadratic
2	R_{xx} :Correlation Matrix
3	$a(\theta)$:Mode Vector
4	$f(A) = A^H A$
5	$f(A, B) = A/B$:Quotient (B is scalar)
6	1 :Unity
7	Blank

表1：遺伝子に対する演算子とパラメータの割り当て

Chromosome

$$g = [0 \ 1 \ 3 \ 0 \ 2]$$

Tree structure



Angle spectrum function

$$1 \cdot a^H(\theta) R_{xx}^{-1} a(\theta)$$

図2：代表的な角度スペクトル関数の木構造表現と遺伝子表現

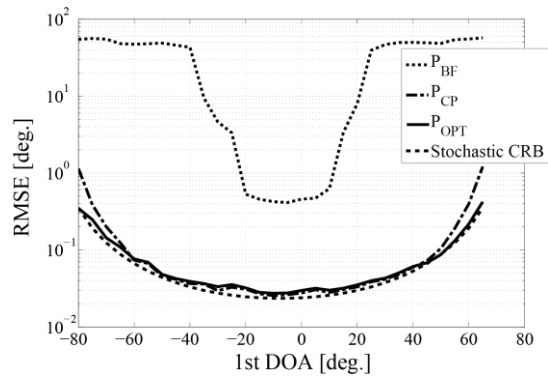


図3：提案法により最適化されたスペクトル関数の特性(1)

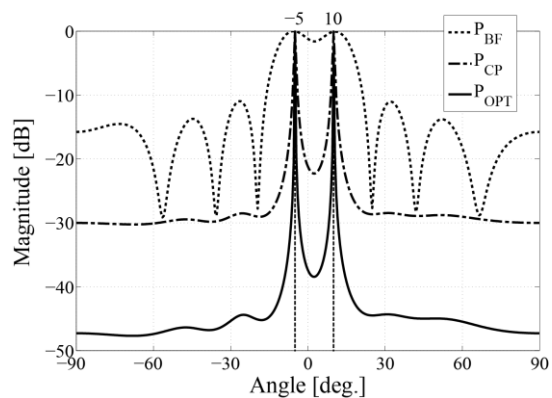


図4：提案法により最適化されたスペクトル関数の特性(2)

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2件)

[1] Hiroshi Hirayama, Gen Matsui, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara, "Channel Capacity Improvement in Short-range MIMO Using Side and Back Reflectors", IEICE Trans. on Commun. Vol. E94-B, No. 2, pp.1280-1283, 査読有, DOI 10.1587/transcom.E94.B.1280

[2] Hiroshi Hirayama, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara, "A New Scheme to Avoid Null Zone for HF-band RFID with Diversity Combining of Loop Antennas", IEICE Trans. on Commun., Vol. E93-B, No. 05, pp. 2666-2669, 査読有, DOI 10.1587/transcom.E93.B.2666

〔学会発表〕(計21件)

[1] Hiroshi Hirayama, Tomohiro Amano, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara, "A Consideration of Open- and Short-End Type Helical Antennas for Magnetic-Coupled Resonant Wireless Power Transfer," EuCAP2012, 2012年3月27日, チェコ・プラハ

[2] 天野智博, 平山裕, 菊間信良, 榊原久二男, "結合共振型無線電力伝送用ヘリカルアンテナの等価回路解析による検討," 電子情報通信学会総合大会, 2012年3月22日, 岡山大学

[3] 吉村俊祐, 平山裕, 菊間信良, 榊原久二男, "遺伝的アルゴリズムを用いた最適なDOA推定法の自動生成," 電子情報通信学会総合大会, 2012年3月20日, 岡山大学

[4] 小松佳奈子, 平山裕, 菊間信良, 榊原久二男, "結合共振型無線電力伝送におけるスパイラルアンテナの電界, 磁界結合係数に関する検討," 電子情報通信学会総合大会, 2012年3月20日, 岡山大学

[5] Hiroshi Hirayama, Tomohiro Amano, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara, "Transmission loss of self-resonant type magnetic-coupled resonant wireless power transfer," ISETS2011, 2012年12月10日, 名古屋大学

[6] Shunsuke Yoshimura, Hiroshi Hirayama, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara, "Generation of Optimum DOA Estimation Algorithm by Using Genetic Algorithm," ISAP2011, 2011年10月27日, 韓国・済州島

[7] Yuki Okuyama, Hiroshi Hirayama, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara, "Estimation of Far-field Emission of

Magnetic Coupled Resonant Wireless Power Transmission Using Equivalent Circuit Model," ISAP2011, 2011年10月26日, 韓国・済州島

[8] 天野智博, 平山裕, 菊間信良, 榊原久二男, "無線電力伝送用短絡型, 開放型ヘリカルアンテナに関する検討," 電子情報通信学会無線電力伝送時限研究会, 2011年10月11日, かながわ女性センター

[9] Hiroshi Hirayama, Syun Asakura, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara, "On a shielding effect of magnetic-coupled resonant wireless power transfer," EMD2011, 2011年9月21日, ポーランド・ビアリストク

[10] 天野智博, 平山裕, 菊間信良, 榊原久二男, "無線電力伝送のヘリカル型アンテナに関する一検討," 電子情報通信学会ソサエティ大会, 2011年9月15日, 北海道大学

[11] Hiroshi Hirayama, "Basic theory of magnetic-coupled-resonant wireless power transfer and recent progress," APEMC2011, 2011年5月16日, 韓国・済州島

[12] Hiroshi Hirayama, Yuki Okuyama, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara, "Equivalent Circuit of Induction Fed Magnetic Resonant WPT System," IWPT2011, 2011年5月13日, 京都大学

[13] Hiroshi Hirayama, Yuki Okuyama, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara, "A Consideration of Equivalent Circuit of Magnetic-Resonant Wireless Power Transfer," EuCAP2011, 2011年4月14日, イタリア・ローマ

[14] 朝倉俊, 平山裕, 菊間信良, 榊原久二男, "磁界共振型無線電力伝送のシールド効果," 2011年電子情報通信学会総合大会, 2011年3月17日, 東京

[15] 奥山祐樹, 平山裕, 菊間信良, 榊原久二男, "間接給電型磁界共振無線電力伝送の等価回路表現," 2011年電子情報通信学会総合大会, 2011年3月16日, 東京

[16] Gen Matsui, Hiroshi Hirayama, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara, "A Consideration of Channel Capacity of Near-Field MIMO Using Parasitic Element," ISAP 2010, 2010年11月25日, マカオ・中国

[17] 平山裕, 菊間信良, 榊原久二男, "802.11g/nにおけるICMPパケットの伝搬遅延時間に関する実験的検討," 2010年度第2回高信頼制御通信研究会, 2010年11月1日, 名古屋

[18] 奥山祐樹, 平山裕, 菊間信良, 榊原久二男, "磁界共鳴型無線電力伝送の導電率を考慮した等価回路," 無線電力伝送研究会, 2010年10月15日, 岩手

[19] Hiroshi Hirayama, Yuki Okuyama, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara, "Undesired emission from Magnetic-resonant wireless power transfer," EMC Europe 2010, 2010年9月15日, ヴロツワフ・ポーランド

[20] Hiroshi Hirayama, Yuki Okuyama, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara, "An consideration on equivalent circuit of wireless power transmission," Antem 2010, 2010年7月5日, オタワ・カナダ

[21] Hiroshi Hirayama, Gen Matsui, Nobuyoshi Kikuma, Kunio Sakakibara, "Improvement of channel capacity of near-field MIMO," EuCAP 2010, 2010年4月12日, スペイン・バルセロナ

〔図書〕(計2件)

[1] Hiroshi Hirayama, et al. Wireless Energy Transfer based on Electromagnetic Resonance: Principles and Engineering Explorations(Chap.6 を分担), Intech Press, ISBN 978-953-307-1127-4, 2012

[2] 平山裕、他, ワイヤレス・エネルギー伝送技術の最前線(2.1.1節を分担), NTS 出版, ISBN 978-4860433512, 2011

〔産業財産権〕

○出願状況(計1件)

[1]

名称: Power Transmission system and power supply device for vehicles

発明者: Hiroshi Hirayama, et al.

権利者: 同上

種類: 特許

番号: PCT/IB2011/000019

出願年月日: 23年1月10日

国内外の別: 国外

〔その他〕

ホームページ等

http://researcher.nitech.ac.jp/html/175_ja.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者 平山裕

(HIROSHI HIRAYAMA)

名古屋工業大学 大学院工学研究科・助教

研究者番号: 70372539