

平成22年5月20日現在

研究種目：若手研究(B)
研究期間：2007 ～ 2009
課題番号：19760247
研究課題名（和文） アレー補間と適応信号処理技術に基づく超分解能到来波推定システム
研究課題名（英文） Super-Resolution Direction of Arrival Estimation System Based on Array Interpolation and Adaptive Signal Processing Technique
研究代表者
市毛 弘一（ICHIGE KOICHI）
国立大学法人横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号：10313470

研究成果の概要（和文）：

本研究では、「アレー補間」と呼ばれる高精度電波伝搬環境推定技術の高精細化・高精度化を目的としている。まず、仮想アレーをリニアアレーとして配置し、拡張 Root-MUSIC 法を用いることで、最も高精細に電波伝搬環境推定を行うことが可能であることを検証した。また、アレー補間から発展した形で、ダミー素子を用いた新たなブラインドキャリブレーション技術を考案した。さらに、アレー補間法および拡張 Root-MUSIC 法において、空間平均と同様の前処理をアレーステアリングベクトルに適用することで、電波伝搬環境推定精度が改善されることを検証した。

研究成果の概要（英文）：

We study on the Super-Resolution Direction of Arrival (DOA) Estimation Method Based on Array Interpolation and Adaptive Signal Processing Technique. DOA estimation accuracy is improved by applying spatial smoothing-like preprocessing to array steering vector. Furthermore, we newly proposed a novel blind calibration method of array antenna using dummy array elements.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,200,000	0	1,200,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	600,000	3,800,000

研究分野：移動体通信

科研費の分科・細目：情報通信工学

キーワード：アレーアンテナ，到来波推定

1. 研究開始当初の背景

ワンセグ放送受信や高速楽曲ダウンロードなど、携帯電話サービスの多様化に対応するための高速移動体通信技術への注目度がより一層高まっている。高速通信を可能にする基盤技術のひとつとして、携帯電話の基地局では、到来する複数の電波の中から所望波と妨害波を識別し、妨害波を抑圧して所望信号のみを効率よく取り出すビームフォーミングおよび信号分離技術が重要となる。

所望信号抽出のために、複数のアンテナ素子を持つ多重受信アンテナである「アレーアンテナ」や、送受信ともにアレーアンテナを配した「MIMO（多入力多出力）システム」に関する研究が盛んに行われている。MIMOシステムは屋内無線 LAN など既に実用化が始まっているが、携帯端末側にも複数のアンテナおよび受信器を必要とすることから、消費電力を低く抑えたい携帯電話向けの技術としては不向きである。そのため、携帯端末のアンテナは1個に限定し、基地局にのみ複数のアンテナおよび受信器を配置し、多重受信信号から所望の携帯端末の信号のみを抽出する適応アレー信号処理技術が重要となる。

アレーアンテナのキャリブレーションに関する研究は多くの研究機関で盛んに行われているが、アレー補間に関する研究は国内ではほとんど行われていない。反面、海外では、信号処理に関する世界最大の国際会議 ICASSP (IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing) においてほぼ毎年論文が発表されており、アレー信号処理分野でも特に注目を集めている研究課題である。

2. 研究の目的

本研究は、アレー補間技術を包括的に捉えて、様々な条件下で適用可能な電波伝搬環境

推定技術の確立と、そのシステム実証を目指すものである。適応アレー信号処理の分野に信号補間および信号合成の考え方を導入することに特徴がある。

本研究では、アレーアンテナによる適応信号処理技術、特に「アレー補間」と呼ばれる高精度化技術に焦点を絞り、フレキシブルでかつ包括的な電波伝搬環境推定技術の確立を目指すとともに、実際にシステムを構築してその性能を検証することを目的としている。

3. 研究の方法

以下の各事項について検討を行う。

- ・ アレー補間において、仮想アレーの配置によらずに高い推定精度を実現する手法、さらに、予想される到来方向から最適な仮想アレー配置を自動的に決定する手法を検討する。
- ・ 最小2乗規範以外の近似規範の導入、仮想アレー素子数制限の緩和などにより、高精度な信号合成技術を検討する。
- ・ アレー素子位置誤差の影響、補正の効果などを定量的に検証し、拡張 Root-MUSIC法の推定精度の限界を検証する。
- ・ アレー補間とアレーキャリブレーション技術との関連を踏まえて、キャリブレーションを含めた形での拡張を検討する。アレー補間とキャリブレーションの共通事項、相異事項の比較検討を行う。
- ・ アレー補間の枠組みにキャリブレーション手法を導入し、適応信号処理的な手法でアプローチする。最終的には新しいアレー補間の概念の構築を目指す。

4. 研究成果

(1) 基礎検討

まず、アレー補間における仮想アレー配置方法、仮想受信信号の導出方法、推定精度の検証を行った。仮想アレー配置、仮想受信信号の導出については、多くのシミュレーションの結果から、仮想アレーをリニアアレーとして配置することが、拡張 Root-MUSIC 法の手法を用いることが最も精度よく電波伝搬環境推定を行うことが可能であることを確認した。状況に応じて仮想素子位置が変わることによって全方位推定が可能となっていること、仮想アレーの受信信号から実アレーでの受信信号を逆合成するという拡張 Root-MUSIC 法の考え方が有効に機能していることを確認した。こうした検討を踏まえて既に電波暗室での実験的検証を行った。

また、アレー補間の考え方を踏まえて、アレー受信信号の信号相関、特に位相相関を用いた電波伝搬環境推定手法を考案し、その推定精度の高さを検証した。従来の電波伝搬環境推定技術はいずれもアレー受信信号間の相互相関を用いていたのに対し、振幅情報を排除した位相相関を採用することでより高精度な推定が可能となっていることを確認した。

(2) アレー補間の展開とアレーアンテナのキャリブレーション

次に、アレー補間とキャリブレーションの関連、拡張を検討し、キャリブレーションを包含する形でアレー補間の理論を展開していくことを目的としていた。まず、アレー補間の理論および電波伝搬環境推定性能に関して、新たな手法として提案されていた Conjugate ESPRIT 法が、信号相関抑圧のための空間平均法の特殊な場合と同等であることを数学的に証明した。さらに、アレー補間から発展した形でブラインドキャリブレーション技術に関する検討を行い、この技術の推定精度が既存の MUSIC 法よりも高精度であることを実験的に検証した。さらに、関

連した研究課題として、アレー受信信号の位相情報に着目した電波伝搬環境推定技術に関する検討を行い、位相情報とその微分およびフェーズアンラッピング法を用いることで有用性が増すことを確認した。

(3) アレーステアリングベクトルにおける空間平均前処理の適用

さらに、アレー補間法および拡張 Root-MUSIC 法について、相関抑圧のための空間平均処理と同様の前処理をアレーステアリングベクトルに適用することで、到来波推定精度が改善されることをシミュレーションと実験の双方から確認した。

ステアリングベクトルのマッピングにおける誤差を低減できていると結果として到来波推定の精度を改善しているものと考察される。また、アレー補間法や拡張 Root-MUSIC 法が仮想アレーの素子数に制限があったことに対し、提案法ではそうした制限がなく、より広範な拡張が今後期待できる手法であると言える。

また、キャリブレーションを包含する形でアレー補間の理論を展開していくことを目的として、アレー補間から発展したブラインドキャリブレーションについての検討を行った。従来、リニアアレーでは適用が難しいと考えられていた手法を、ダミー素子を用いて結合の影響度を均一化することにより適用可能とした。さらに、複雑な行列演算を排除して特異値によるスペクトルで代替が可能であること、その推定精度および演算量がともに従来法よりも優れていることを実証した。

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 1 件)

- ① K. Ichige, K. Saito, H. Arai, "High Resolution DOA Estimation Using Unwrapped Phase Information of MUSIC-based Noise Subspace", IEICE Trans. Fundamentals., 査読有, vol. E91-A, no. 8, pp. 1990-1999, Aug.

2008.

[学会発表] (計 13 件)

1. 有田竜也, 市毛弘一, 新井宏之, "ダミー素子を用いたアレーアンテナのブラインドキャリブレーション", 電子情報通信学会デジタル信号処理シンポジウム, no. B9-4, 鹿児島, Nov. ,27, 2009
2. R. Arita, K. Ichige, H. Arai, "On the Accuracy of DOA Estimation via Blind Calibration", Proceedings of Asia-Pacific Signal and Information Processing Association 2010 Annual summit and Conference (ISAP), no. FE3-2, Bangkok, Thailand, Oct., 23, 2009.
3. P. Chumchong, K. Ichige, H. Arai, "Spatial-Smoothing-Like Processing of Array Steering Vectors for High Resolution DOA Estimation", Proceedings of European Microwave Week 2009 (EuMW), no. 421, Rome, Italy, Oct.,1, 2009.
4. 有田竜也, 市毛弘一, 新井宏之, "ブラインドキャリブレーションを用いた到来方向推定手法における推定精度の実験的検証", 電子情報通信学会総合大会, no. B-1-217 , 愛媛, Mar. , 19, 2009.
5. チャムチョンブッタラット, 市毛弘一, 新井宏之, "アレー補間におけるモードベクトルの拡張とその到来方向推定への応用", 電子情報通信学会技術報告, vol. 108, no. SIP2008-200, pp. 201-206, 岐阜, Mar., 3, 2009.
6. K. Ichige, H. Arai, "On The Use of Phase Characteristics for Signal Source Localization", Proceedings of 13th IEEE Digital Signal Processing Workshop (DSP-WS), pp. 630-633, Marco Island, Florida, U.S.A., Jan.,7 2009.
7. K. Ichige, H. Arai, "Modified Phase Correlation for High Resolution DOA Estimation", Proceedings of IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), no. WE-IS04, Taipei, Taiwan R.O.C, Oct., 29, 2008.
8. P. Chumchong, K. Ichige, H. Arai, On the Effect of Spatial Smoothing and Conjugate Processing to DOA Estimation Accuracy of Coherent Signals for UCA", Proceedings of IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), no. 1645289, Taipei, Taiwan R.O.C, Oct. ,28, 2008.
9. 市毛弘一, 新井宏之, "High Resolution DOA Estimation Using Unwrapped Phase Information of MUSIC-based Noise Subspace ", 電子情報通信学会技術報告, vol. 108, no. SIP2008-77, pp. 1-6, 広島, July, 25, 2008.
10. K. Ichige, Y. Ishikawa, H. Arai, "High Resolution 2-D DOA Estimation Using Second-Order Partial-Differential of MUSIC Spectrum", Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), no. A7P-Q.5, Seattle, WA, USA, May, 19, 2008.
11. チャムチョンブッタラット, 市毛弘一, 新井宏之, "拡張 Root-MUSIC 法による到来方向推定性能の評価実験", 電子情報通信学会総合大会, no. A-4-27 , 福岡, Mar. , 21, 2008.
12. 齋藤和彦, 市毛弘一, 新井宏之, "到来方向推定における相関関数と推定精度との関係についての基礎検討", 電子情報通信学会デジタル信号処理シンポジウム, no. P3-7, 宮城, Nov. , 8, 2007.
13. K. Saito, K. Ichige, H. Arai, "High Resolution DOA Estimation Using Phase Information of MUSIC Spectrum", Proceedings of the International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), no. 2D3-1, Niigata, Japan, Aug., 22, 2007.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

市毛 弘一 (ICHIGE KOICHI)
国立大学法人横浜国立大学・大学院工学研究
院・准教授
研究者番号：10313470

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

