

## 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 25 年 6 月 20 日現在

機関番号：50104

研究種目：基盤研究（C）一般

研究期間：2010～2012

課題番号：22560400

研究課題名（和文）メタヒューリスティクスを用いた到来方向推定に関する研究

研究課題名（英文）Study on Direction-of-Arrival Estimation with Metaheuristics

研究代表者

大島 功三 (OSHIMA KOHZOH)

旭川工業高等専門学校・電気情報工学科・教授

研究者番号：10310971

研究成果の概要（和文）：本研究では、メタヒューリスティクスを用いて高分解能な多重波伝搬推定を実現することを目的として、遺伝的アルゴリズム（GA）、免疫アルゴリズム（IA）、粒子群最適化（PSO）に注目して、到来方向推定に適用することを試みた。従来の到来方向推定では、波源は十分遠方にあり、平面波が入射している場合を想定していたが、波源が近傍にあり、入射波が球面波になる場合について従来手法との比較・検討を行い、その有効性を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：In this research, we tried to apply Genetic Algorithm, Immune Algorithm and Particle Swarm Optimization to high resolution direction of arrival estimation. When the incident wave in the near field sources becomes a spherical wave, the complex calculation is needed with the MUSIC method though the incident wave was assumed to be a plane wave in conventional ways of DOA estimation. As results of simulations, we confirmed the accuracy of direction of arrival estimation with metaheuristics and have shown its effectiveness.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
2012 年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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：到来方向推定, MUSIC 法, 遺伝的アルゴリズム, 免疫アルゴリズム

粒子群最適化

### 1. 研究開始当初の背景

移動体通信においては電波の伝搬路が見通しとなることはほとんどなく、建物や壁によって反射・回折・散乱した多数の電波が到来する多重波伝搬環境となり、高速通信になるほど誤り率特性の劣化が顕著となる。そのため、アダプティブアレーアンテナ等を用いて対策を施すことが不可欠となり、多重波到来方向を推定する技術が求められている。また、

基地局や無線 LAN におけるアクセスポイントの効率的な配置や不法電波の発信源を特定するためにも電波の到来方向を正確に推定する技術が望まれている。近年、複数のアンテナを並べたアレーアンテナによって得られた測定データに信号処理を施すことによって、各到来波の信号パラメータを推定することが研究の対象となっており、アレー相関行列の固有値解析に基づくスーパーレゾリューション法 (Multiple Signal Classification,

MUSIC 法や Estimation of Signal Parameters via Rotation Invariance Techniques, ESPRIT 法等) を用いた推定について数多くの研究がなされてきた。しかしながら、これらの手法は、適用条件にいくつかの制約があり、その条件を逸脱した場合の特性劣化が問題となり、改善のための手法が検討されてきている。

メタヒューリスティックスは、最適化問題を解くための経験的手法 (heuristics) を有機的に結合させたものであり、特定の問題に限定されず、どのような問題に対しても汎用的に対応できるように設計されたアルゴリズムの基本的な枠組みのことである。

## 2. 研究の目的

第3世代以降の携帯電話や高度道路交通システム (Intelligent Transport Systems, ITS) など高度なシステムを実現する上で多重波伝搬環境を把握することが重要となっている。

本研究では、適用環境・条件にとらわれずに到来方向推定を行うことを目的として、メタヒューリスティックスに着目し、高分解能な到来方向推定を実現する。

## 3. 研究の方法

メタヒューリスティックスの手法の中から遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm, GA), 免疫アルゴリズム (Immune Algorithm, IA), 粒子群最適化 (Particle Swarm Optimization, PSO) に注目し、各手法を到来方向推定に用いた場合について計算機シミュレーションにより種々の検討を行った。到来方向推定に関しては、1次元アレーによる方位角の推定、2次元アレーによる方位角、仰角の推定を行い、電力推定についても検討を行った。

また、メタヒューリスティックスの到来方向推定以外への応用としてアンテナの自動設計に関する基礎検討も行った。

## 4. 研究成果

本研究では、主に以下の5つの項目について研究を行い、種々の成果を得た。

### (1) メタヒューリスティックスを用いた到来方向推定

到来方向推定にメタヒューリスティックスを用いた場合について検討を行った。

#### ① 遺伝的アルゴリズムによる到来方向推定

交叉の手法(平均交叉, 算術交叉,

BLX-alpha) の違い (図1), 個体数, 世代数, 交叉率, 突然変異率の变化による推定精度, 演算量について明らかにした。また, 2次元アレーとして推定パラメータ数を増加させても1次元アレーと同等の推定精度が得られることを明らかにした。

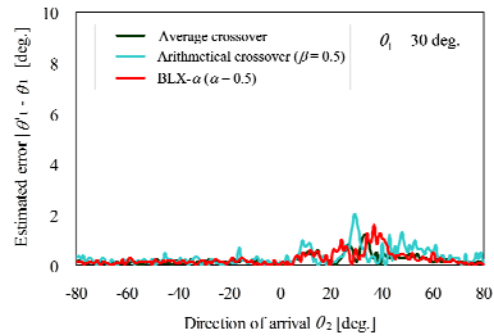


図1 GAの交叉手法の違いによる推定精度

#### ② 免疫アルゴリズムによる到来方向推定

遺伝的アルゴリズムは推定パラメータが増加すると演算量も増加する。遺伝的アルゴリズムの拡張である免疫アルゴリズムを用いることにより、遺伝的アルゴリズムに比べ、推定精度の向上, 演算力の削減を実現することができることを明らかにした (図2)。

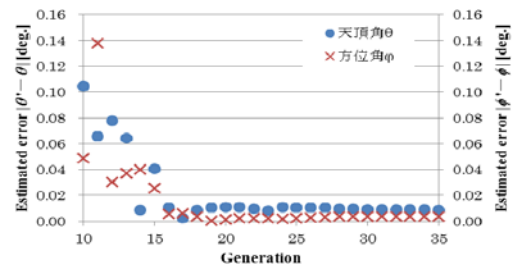


図2 IAの2次元到来方向推定精度

#### ③ 粒子群最適化による到来方向推定

免疫アルゴリズムを用いることによる演算量を削減することができるが、更に高速化を図りたい場合には不十分である。粒子群最適化を用いることにより、遺伝的アルゴリズムや免疫アルゴリズムと同等の推定精度を維持しつつ、演算量を大幅に削減できることを明らかにした (図3)。

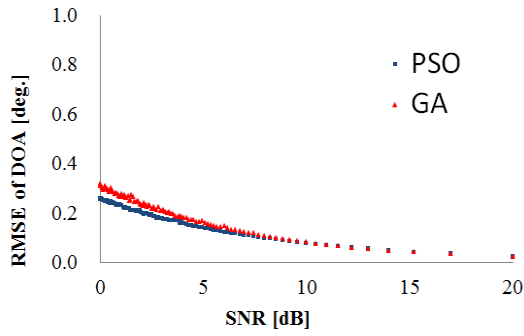


図3 PSOによる到来方向推定精度

(2) 球面波入射

従来の MUSIC 法などの到来方向推定法は、波源が遠方にあり平面波が入射することを前提に考えられているため、波源が近傍にある場合には入射波は球面波となり推定精度に劣化が生じることになる(図4)。球面波が入射した場合の従来法での推定精度の検討、球面波モードベクトルを用いることによる推定精度の改善を行った(図5)。また、球面相関波が到来する場合には MUSIC 法では計算が複雑となるため、2次元アレーにおける球面波入射モデル(図6)に関してメタヒューリスティックスを用いた手法により高分解能な球面波の到来方向推定が可能となることを明らかにした。

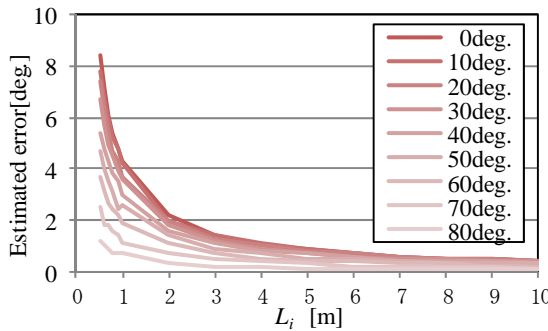


図4 波源距離による推定誤差

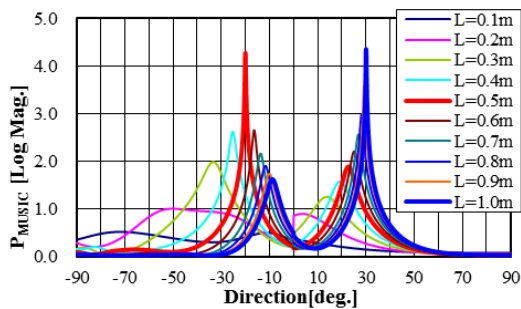


図5 球面波モードベクトルを用いた到来方向推定結果

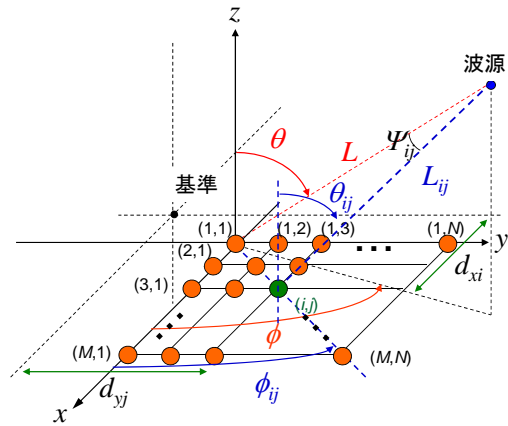


図6 球面波入射モデル

(3) 従来法に関する検討

交差点の電磁波伝搬シミュレーションにおいて MUSIC 法を用いた到来方向推定を行い、その電磁波伝搬構造の解析を行った。

また、極めて近接した波が到来した場合に、MUSIC 法等により推定された到来方向のわずかな誤差により、信号電力推定精度が著しく劣化する場合がある。その誤差について検証するとともに、誤差軽減のための手法を提案し、到来方向と信号電力の推定誤差を同時に軽減できることを計算機シミュレーションにより明らかにした(図7)。

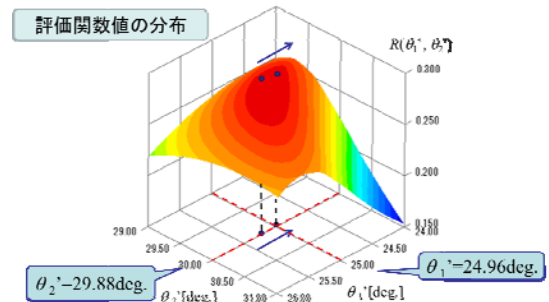


図7 近接波の推定電力補正

(4) アンテナの自動設計

本研究で到来方向推定に適用してきたメタヒューリスティックスの中で、パラメータ設定の必要がなく、適用が容易なパラメータフリーGA (PfGA) をアンテナの自動設計に適用することを試みた。基礎検討の段階ではあるが、計算機シミュレーションにより、その有効性を示した(図8)。

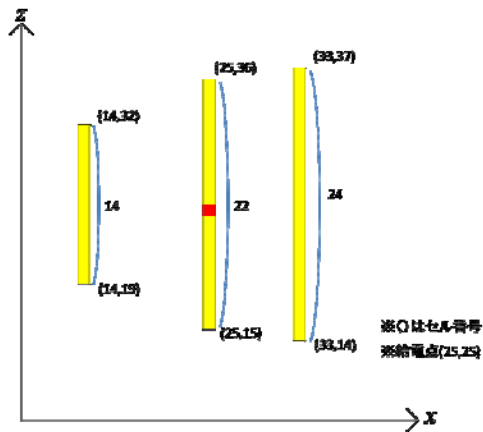


図 8 設計されたアンテナ

## 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.Taguchi, S.Imai, T.Kashiwa, K.Ohshima, T.Kawamura, "FDTD analysis of radio wave propagation at intersection surrounded by concrete block walls in residential area for inter-vehicle communications using 720 MHz band," IEICE Trans. Electronics, vol.E95-C, no.1, pp.79-85, Jan. 2012.

[学会発表] (計 19 件)

- ① 村本充, 古川真衣, 大島功三, 高井悠稀, 大宮学, "Jet-FDTD による電磁界解析およびアンテナ設計," 第 62 回理論応用力学講演会, OS22-07, March 2013.
- ② 三原基, 大島功三, 村本充, 今井卓, 田口健治, 柏達也, "MUSIC 法を用いた近接波推定における精度改善に関する一検討," 平成 24 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会(札幌), 91 Oct. 2012.
- ③ 高橋祥崇, 大島功三, 村本充, 今井卓, 田口健治, 柏達也, "免疫アルゴリズムを用いた近傍波源到来方向推定に関する一検討," 平成 24 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会(札幌), 90 Oct. 2012.
- ④ 松村卓哉, 大島功三, 村本充, 今井卓, 田口健治, 柏達也, "PSO を用いた到来方向推定に関する一検討," 平成 24 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会(札幌), 89 Oct. 2012.

- ⑤ 高井悠稀, 大島功三, 村本充, "PfGA によるアンテナ自動設計に関する一検討," 平成 24 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会(札幌), 88 Oct. 2012.

- ⑥ 青山良輔, 今井卓, 田口健治, 柏達也, 大島功三, 川村武, "家屋塀で囲まれた住宅地交差点における 720MHz 帯の 3 次元 FDTD 電波伝搬シミュレーション," 電気学会電磁界理論研究会, EMT2011-11-121, pp.91-94, Nov.2011.

- ⑦ K. Taguchi, S. Imai, T. Kashiwa, K. Ohshima, and T. Kawamura, "FDTD simulation of radio wave propagation at intersection surrounded by concrete block walls in residential area for inter-vehicle communications using 720 MHz band," ISAP, Paper ID: C02-1002, Jeju, Korea, Oct. 2011.

- ⑧ 青山良輔, 今井卓, 田口健治, 柏達也, 大島功三, 川村武, "住宅地交差点における 720MHz 帯の 3 次元 FDTD 電波伝搬解析," 平成 23 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会(函館), 107 Oct. 2011.

- ⑨ 佐藤亮人, 今井卓, 田口健治, 柏達也, 川村武, 大島功三, "FDTD 法を用いた住宅地交差点における 720MHz 帯及び 5.8GHz 帯電波伝搬特性解析," 平成 23 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会(函館), 106 Oct. 2011.

- ⑩ 高橋祥崇, 大島功三, 村本充, 今井卓, 田口健治, 柏達也, "GA を用いた近傍波源 2 次元到来方向推定に関する一検討," 平成 23 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会(函館), 96 Oct. 2011.

- ⑪ 内村隼一, 大島功三, 村本充, 今井卓, 田口健治, 柏達也, "MUSIC 法を用いた近傍波源到来方向推定の推定誤差に関する一検討," 平成 23 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会(函館), 95 Oct. 2011.

- ⑫ 青山良輔, 今井卓, 田口健治, 柏達也, 大島功三, 川村武, "FDTD 法を用いた住宅地交差点の 720MHz 帯 3 次元電波伝搬解析," 電子情報通信学会ソサイエティ大会(札幌), C-15-10, Sept. 2011.

- ⑬ 佐藤亮人, 今井卓, 田口健治, 柏達也, 大島功三, 川村武, "送信側自動車位置を考慮した住宅地交差点における 720MHz 帯及び 5.8GHz 帯 FDTD 電波伝搬解析," 電子情報通信学会ソサイエティ大会(札幌), C-1-10, Sept. 2011.
- ⑭ 佐藤亮人, 今井卓, 田口健治, 柏達也, 大島功三, 川村武, "軽量コンクリート塀で囲まれた住宅地交差点における 720MHz 帯及び 5.8GHz 帯 FDTD 電波伝搬解析," 電子情報通信学会, エレクトロニクスシミュレーション研究会(北見), EST2011-63, pp. 263-266, July 2011.
- ⑮ 青山良輔, 今井卓, 田口健治, 柏達也, 大島功三, 川村武, "軽量コンクリート塀で囲まれた住宅地交差点における 720MHz 帯の 3 次元 FDTD 電波伝搬解析," 電気学会電磁界理論研究会(北見), EMT2011-11-95, pp. 205-209, July 2011.
- ⑯ 宮井就平, 大島功三, 村本充, 今井卓, 田口健治, 柏達也, "GA を用いた到来方向推定における交叉手法の比較検討," 平成 22 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会(札幌), 102, Oct. 2010.
- ⑰ 池田和男, 大島功三, 村本充, 今井卓, 田口健治, 柏達也, "GA を用いた近傍波源における到来方向推定に関する一検討," 平成 22 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会(札幌), 79, Oct. 2010.
- ⑱ 内村隼一, 大島功三, 村本充, 今井卓, 田口健治, 柏達也, "MUSIC 法を用いた近傍波源における到来方向推定に関する一検討," 平成 22 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会(札幌), 78, Oct. 2010.
- ⑲ S. Miyai, K. Ohshima, M. Muramoto, S. Imai, K. Taguchi, T. Kashiwa, "On the Direction of Arrival Estimation Method Using an Genetic Algorithm," IWMST2010, Paper ID:00008, Kitami, Sep. 2010.

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

大島 功三 (OHSHIMA KOHZOH)  
 旭川工業高等専門学校・電気情報工学科・教授  
 研究者番号：10310971

### (2)研究分担者

村本 充 (MURASMOTO MITSURU)  
 苫小牧工業高等専門学校・文系・理系総合学科・准教授  
 研究者番号：30353220

小川 恭孝 (OGAWA YASUTAKA)  
 北海道大学大学院・情報科学研究科・教授  
 研究者番号：70125293

柏 達也 (KASHIWA TATSUYA)  
 北見工業大学・電気電子工学科・教授  
 研究者番号：30211155

田口 健治 (TAGUCHI KENJI)  
 北見工業大学・電気電子工学科・准教授  
 研究者番号：60435485

今井 卓 (IMAI SUGURU)  
 北見工業大学・電気電子工学科・助教  
 研究者番号：00584575

### (3)連携研究者

大鐘 武雄 (OHGANE TAKEO)  
 北海道大学大学院・情報科学研究科・准教授  
 研究者番号：10271636

西村 寿彦 (NISHIMURA TOSHIHIKO)  
 北海道大学大学院・情報科学研究科・助教  
 研究者番号：70301934