

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 5 月 21 日現在

機関番号：10106

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22760260

研究課題名（和文） 高性能アンテナ開発を目的とした最適設計システムに関する研究

研究課題名（英文） Research on the development of optimal design system for high performance antennas

研究代表者

田口 健治 (TAGUCHI KENJI)

北見工業大学・工学部・准教授

研究者番号：60435485

研究成果の概要(和文):本研究では、高性能アンテナ開発を目的とした最適設計システムに関する研究として、主に 1)自動最適設計システムの構築、2)最適化手法の検討、3)アンテナ放射パターン最適化のための電界パターン距離依存性の解明、4)実環境における電波伝搬特性解析を行った。その結果、アンテナ自動最適設計システムに関する新たな知見、技術並びに有用な数値データが得られた。

研究成果の概要(英文):In this research, the development of optimal design system for high performance antennas was carried out. In particular, the following items are investigated; 1) development of automatic optimal design system, 2) optimization technique, 3) distance dependence of electric field pattern for general antennas, 4) radio wave propagation in actual environments. As a result, new knowledge and technologies, significant numerical data for the system development were obtained.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	1,600,000	480,000	2,080,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：通信・ネットワーク工学

キーワード：情報通信工学、シミュレーション工学、アンテナ、電波伝搬、移動体通信、ユビキタス社会

1. 研究開始当初の背景

情報社会の急速な発展に伴い、次のステージであるユビキタス社会の実現へ向けて様々な研究が行われている。ユビキタス社会のキーワードである「どこでも」を実現するためには無線通信が必要不可欠である。近年、無線通信の高

品質化及び高速化が要求されており、それを実現するための高効率アンテナの開発及び設計が盛んに行われている。特に、今後の移動体データ通信の核となる第4世代携帯電話、LTE (Long Term Evolution)及びWiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)、ITS (Intelligent Transport Systems)を目的とした車車

間通信等ではアンテナの開発が急務である。

これまでのアンテナの設計では、まず設計者が経験に基づく直感と理論的考察から基本構造を決定し、次にアンテナ各部位の寸法を実験及びシミュレーションの結果に基づきカットアンドトライによって最適化する場合が多かった。しかしながら、この方法では一般的に所望の特性を有するアンテナを創成することは難しい。特に、マルチバンド及び広帯域アンテナの開発ではそれが顕著となる。また、近年の高周波数化及びアンテナの小型化が開発をより複雑化させている。更に、製品開発の現場においては金銭的・時間的・人的なコストダウンが要求されており、何度も試作品を製作する事が難しくなっている。これらの理由から、従来の方法に代わる効率的な新しいアンテナ設計手法の登場が望まれている。

一方、機械系の分野においては素子の各寸法では無く、全体の形状を最適化するトポロジー最適化と呼ばれる最適設計法が存在する。この手法をアンテナ設計に応用すれば、従来の常識を逸した高性能なアンテナが創造される可能性がある。

トポロジー最適化では、設定した目的関数に対して材料物性値の空間分布を最適化する。この時、材料物性値の感度解析が必要となるが、その計算負荷が非常に高いため大きな問題となっていた。近年、従来の差分感度解析法と比較して高速且つ効率的に感度解析が可能な随伴変数法 (AVM: Adjoint variable method) が提案されトポロジー最適化が現実的となって来ている。

2. 研究の目的

本研究の最終目的はユビキタス社会を支える高性能アンテナ開発を目的とした汎用的最適設計システムを構築する事にある。具体的には、FDTD (Finite Difference Time Domain) 法及び AVM を用いた最適設計システムの構築、システムの汎用性拡大、高速化及び高精度化を行う。

更に、次世代のアンテナ最適設計システムを見据えて、MIMO (Multi-Input Multi-Output) 技術等を用いた高性能アンテナ最適化に必要な移動体通信環境における電波伝搬特性についても調査する。

3. 研究の方法

本研究では、高性能アンテナ開発を目的とした汎用的最適設計システムをコンピュータ内部に構築する。従って、前述の研究目的は全てコンピュータプログラムによって現実化される。また、移動体通信環境の電波伝搬特性については FDTD 法及びレイトレーシング法などの電磁界シミュレーションを用いてその特性を明らかにする。

4. 研究成果

本研究では次の 4 項目を柱として研究を行った。

(1) 自動最適設計システムの構築

感度解析手法である AVM、汎用的電磁界解析手法の一つである FDTD 法及び最適化手法である最急降下法の 3 つを組み合わせた自動最適設計システムの構築を行った。本システムを図 1 に示す誘電体装荷導波管に適用し、AVM 及び本システムの有効性を確認した。但し、トポロジー解析手法である AVM を用いた最適設計システムでは、図 2 に示す様に最適解は初期値に依存する場合は有る。

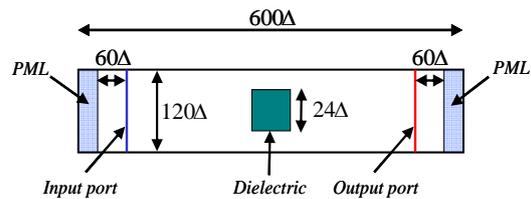
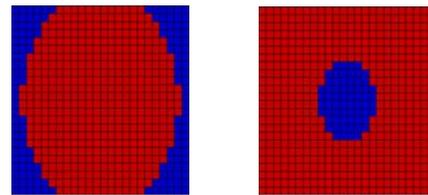


図 1 検証モデル



(a) 初期値 $\epsilon_r = 1.1$ (b) 初期値 $\epsilon_r = 6.0$

図 2 最適化された誘電体形状

(2) 最適化手法の検討

AVM を用いた最適設計システムでは、電磁素子の最適形状が初期値に依存する場合は有る。そのため、汎用的且つ高精度な自動最適設計システムを構築するためには他の最適手法の検討も必要である。

本研究では、最適設計においては感度解析を用いた手法以外にメタヒューリスティックアルゴリズムの一つである GA (Genetic Algorithm)、IA (Immune Algorithm) 及び PSO (Particle Swarm Optimization) を用いた最適化に関する研究を行い、アンテナ最適設計システムへの適用の可能性を見出した。本研究では、GA の高速化を目的とした各種交叉手法の比較検討、及び複数の最適化手法の精度及び速度の比較等を行った。

(3) アンテナ放射パターン最適化のための電界パターン距離依存性の解明

AVM を応用した最適設計システムではアンテナ放射パターンを最適化する場合、放射電力を

観測するための閉曲面をアンテナの外側に設置する必要がある。その閉曲面、即ち観測面ではアンテナ形状をパラメータとしてFDTD計算によって得られた放射電力から目的関数が計算される。しかし、一般的にアンテナの近傍で観測された放射パターンは無限遠方で観測されるそれと異なる。そのため、アンテナからどの程度離れば無限遠方と同等の放射パターンが得られるか把握する事が重要となる。

本研究では、図3に示す一般的なセダントタイプの普通乗用車をターゲットとして、自動車搭載UHF帯アンテナにおける有限距離と無限遠方の電界パターン差 δ の距離特性を定量的に調査した。図4に電界パターン差 δ の距離特性を示す。

今後、この数値データを放射パターン最適化システムにフィードバックする予定である。

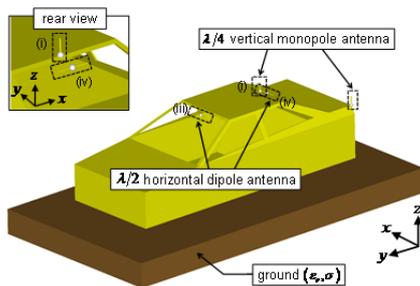
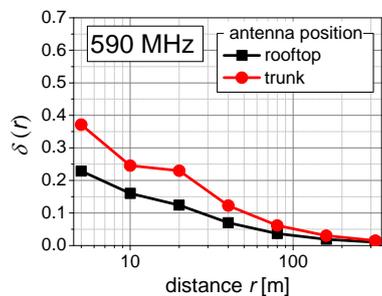
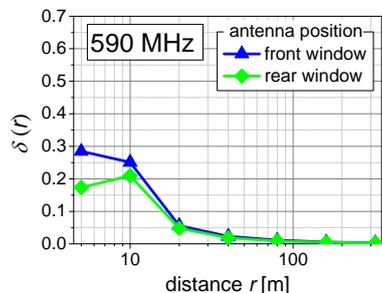


図3 自動車及びアンテナモデル



(a) 垂直モノポールアンテナ



(b) 水平ダイポールアンテナ

図4 有限距離と無限遠方における電界パターン差 δ の距離特性

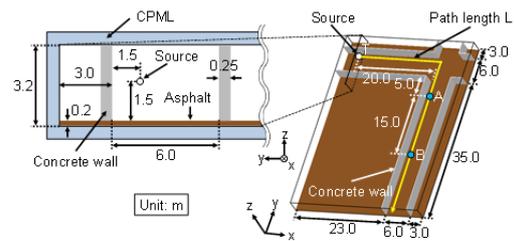
(4) 実環境における電波伝搬特性解析

近年の高性能アンテナでは MIMO 技術が用いられておりその開発及び評価においては、リターンロス、放射パターン等の基本的なアンテナパラメータだけではなく、実際の移動体通信環境におけるマルチパスフェージング、電力遅延プロファイル等を考慮した設計が重要となる。

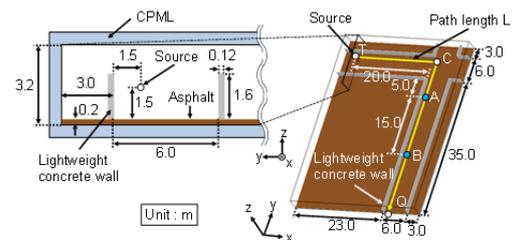
本研究では、具体的な見通し外環境として以下の2つに関して解析を行った。今後、これら数値データをアンテナ最適化システムにフィードバックする予定である。

① 市街地及び住宅地交差点における 700MHz 帯電波伝搬特性

700MHz 帯車間通信のための市街地及び住宅地交差点における電波伝搬特性を解析した。解析手法はFDTD法を用いた。図5に市街地及び住宅地の交差点モデル、図6に交差点における電波伝搬特性を示す。その結果、各々の交差点によって特性が大きく異なる事が明らかとなった。

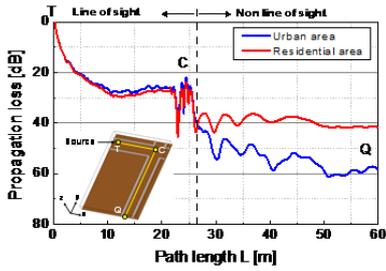


(a) 市街地交差点

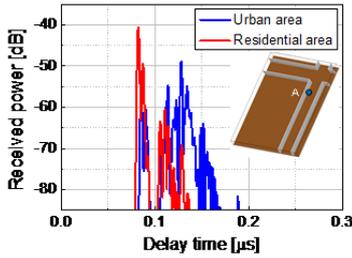


(b) 住宅地交差点

図5 交差点モデル



(a) 経路 TCPQ における伝搬損失



(b) 観測点 A における電力遅延プロファイル

図 6 交差点における電波伝搬特性

② 市街地道路上における UHF 帯電波伝搬特性

地上波デジタル放送のための市街地道路上における UHF 帯電波伝搬特性の解析を行った。解析手法はレイトレーシング法を用いた。図 7 に市街地道路モデル、図 8 に市街地道路上における電波伝搬特性を示す。その結果、市街地道路上における受信波の到来方向分布は必ずしも Jakes モデルにならずクラスタ形状となり、電界強度の確率分布レイリー分布には厳密に一致しない事が明らかとなった。

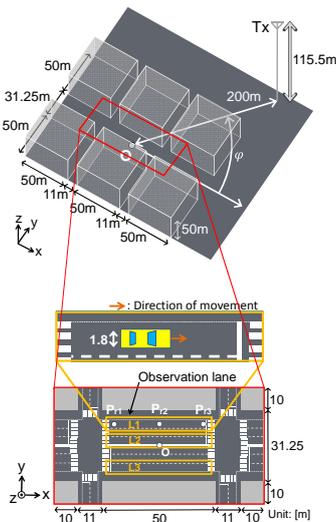
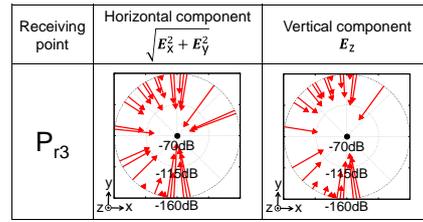
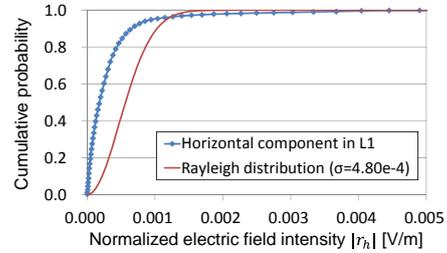


図 7 市街地道路モデル



(a) 観測点 P_{r3} における到来方向分布



(b) 観測車線 L1 における累積確率分布

図 8 市街地道路上における電波伝搬特性

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① K. Taguchi, S. Imai, T. Kashiwa, H. Kuribayashi, and S. Komatsu “Distance dependence of electric field pattern for an antenna mounted on a car in UHF band,” *Microwave and Optical Technology Letters*. (査読有り、採録決定)
- ② 今井卓, 田口健治, 柏達也, 栗林裕, 小松寛, “地上デジタル放送波における市街地道路上の電波伝搬特性,” *電子情報通信学会論文誌 C*, vol. J96-C, no. 6, June 2013. (査読有り、採録決定)
- ③ K. Taguchi, S. Imai, T. Kashiwa, K. Ohshima, and 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. Electron.*, vol. E95-C, no. 1, pp. 79-85, Jan. 2012. (査読有り)
- ④ K. Taguchi, T. Kashiwa, K. Ohshima, and T. Kawamura, “Propagation Analysis of Electromagnetic Waves in 700 MHz Band at Intersection for Inter-Vehicle Communications Using the FDTD Method,” *IEICE Trans. Electron.*, vol. E94-C, no. 1, pp. 18-23, Jan. 2011. (査読有り)

[学会発表](計 49 件)

- ① K. Taguchi, S. Imai, T. Kashiwa, H. Kuribayashi, and S. Komatsu, "Distance Characteristics of Electric Field Pattern for an Antenna Mounted on a Car in UHF Band," IEEE AP-S Int. Symp., IF420, Orlando, Florida, July 2013. (発表決定)
- ② R. Aoyama, K. Taguchi, S. Imai, T. Kashiwa, H. Kuribayashi, and S. Komatsu, "Distance Property of Electric Field Patterns for an Antenna Mounted on a Car in UHF Band," PIERS, p. 477, Taipei, Taiwan, Mar. 2013.
- ③ K. Taguchi, R. Aoyama, S. Imai, and T. Kashiwa, "Three-dimensional FDTD Analysis of Radio Wave Propagation at Intersection Surrounded by Compound Walls in Residential Area for Inter-vehicle Communications Using 720MHz band," ISAP, pp. 640-643, Nagoya, Japan, Oct. 2012.
- ④ S. Imai, K. Taguchi, T. Kashiwa, H. Kuribayashi, and S. Komatsu, "Analysis of Multipath Propagation Characteristics for Digital Terrestrial Broadcasting in UHF Band on Urban Street Using Ray Tracing Method," ISAP, pp. 644-647, Nagoya, Japan, Oct. 2012.
- ⑤ 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.
- ⑥ 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.
- ⑦ R. Aoyama, K. Taguchi, S. Imai, and T. Kashiwa, "Three-Dimensional Propagation Analysis for 720MHz Band at Intersection Surrounded by Walls Using the FDTD Method," IWMST2012, Paper ID: 00002, Tokyo, Japan, Aug. 2012.
- ⑧ K. Taguchi, R. Aoyama, S. Imai, and T. Kashiwa, "FDTD Simulation of Radio Wave Propagation at Intersection Surrounded by Compound Walls in Residential Area for Inter-Vehicle Communications Using 720 MHz Band," IEEE AP-S Int. Symp., IF26.2, Chicago, IL, July 2012.
- ⑨ 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(高岡), EMT-11-121, pp. 91-94, Nov. 2011.
- ⑩ 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.
- ⑪ 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.
- ⑫ 青山良輔, 今井卓, 田口健治, 柏達也, 栗林裕, 小松寛, "自動車搭載 UHF 帯アンテナの近傍界・遠方境界解析," 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(長崎), EST2011-64, pp. 1-4, Oct. 2011.
- ⑬ 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, 光・電波ワークショップ(北見), EST2011-63, pp. 263-266, July 2011.
- ⑭ 池田, 大島, 村本, 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.
- ⑮ 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.
- ⑯ 中島, 今井卓, 田口健治, 柏達也, "AVM を用いた導波管回路における誘電体構造の最適設計," 平成 22 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会(札幌), 106 Oct. 2010.
- ⑰ 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, Japan, Sept. 2010.
- ⑱ K. Taguchi, S. Imai, T. Kashiwa, K. Ohshima, T. Kawamura, "FDTD Simulation of Electromagnetic Wave Propagation in 700MHz Band at Intersection for Inter-Vehicle Communications," IWMST2010, Paper ID: 00005, Kitami, Japan, Sept. 2010.
- ⑲ Y. Nakajima, K. Taguchi, S. Imai, T. Kashiwa, "Optimal Design of Microwave

Circuits Using Adjoint Variable Method,”
IWMST2010, Paper ID: 00007, Kitami,
Japan, Sept. 2010.

- ⑳ 森下隆司, 今井卓, 田口健治, 柏達也,
川村武, 大島功三, 栗林裕, 小松寛,
“UHF 帯における自動車搭載アンテナの
近傍界・遠方界に関する一検討,” 電子情
報通信学会, アンテナ伝播研究会(北見),
AP2010-44, pp. 37-40, July 2010.

他 29 件

6. 研究組織

(1)研究代表者

田口 健治(KENJI TAGUCHI)
北見工業大学・工学部・准教授
研究者番号:60435485