

環境適応型 MIMO 情報伝送システムに関する研究 (051203006)

Research on Environment-Adaptive MIMO Communication System

研究代表者

唐沢 好男 電気通信大学 電気通信学部

Yoshio Karasawa, The University of Electro-Communications

研究分担者

早川 正士[†] 安藤 芳晃[†] 谷口 哲樹[†] 川村 雅彦^{††} 河井 伸一^{††} 吉敷(佐納) 由起子^{††}
塩見 崇峰^{††} 梶原 飛鳥^{††}

M. Hayakawa[†], Y. Ando[†], T. Taniguchi[†], M. Kawamura^{††}, S. Kawai^{††}, Y. Sanoh Kishiki^{††}
T. Shiomi^{††}, A. Kajiwarara^{††}

[†]電気通信大学 電気通信学部 ^{††}株式会社構造計画研究所 環境技術部

[†]The University of Electro-Communications ^{††}Kozo Keikaku Engineering Inc.

研究期間 平成 17 年度～平成 19 年度

本研究開発の概要

新世代ワイヤレス情報通信への適用を目的として、環境適応性に優れた MIMO 情報伝送システムの研究開発を行う。具体的には①多様な伝搬環境の中で、その環境変化に応じて伝送方式が適応変身する MIMO 環境適応伝送システムのコンセプト提案と新世代移動通信への応用、②多重波伝搬理論に基づく統計的伝搬モデル、電磁界解析を通じたサイトスペシフィックな伝搬モデル、屋内・構内・市街地を対象とした MIMO チャンネルモデルの構築、③上記の研究成果に基づく MIMO 伝送特性評価シミュレータの開発、を挙げる。

②、③はその成果を①の研究に取り入れるとともに、論文発表を積極的に行って、学術的な貢献に努める。MIMO の技術開発はこれまで欧米先行で進められてきたが、本研究開発を通じて、オリジナリティの高い日本発の技術を構築する。

Abstract

The aim of this research is the development of fundamental technologies on adaptive MIMO systems which are characterized by their flexibility depending on propagation environments. Our foci are to establish the concept of the environment-adaptive MIMO system, to develop the MIMO channel models including stochastic models for the multipath radio propagation, site-specific models based on the computational electromagnetics, and experimental studies in 5GHz-band.

1. まえがき

新世代モバイル情報通信では、通信環境や電波環境のダイナミックな変化に追従して、通信機能自身も適応変身するような環境適応性に優れた機能が重要になる。そのため、システムにはダイナミックな環境変化に対してスマートに適應できるフレキシビリティ(しなやかさ)が求められる。近年、高スループットを実現する情報伝送システムとして送受信の両方にアレーアンテナを用いる MIMO (Multiple-Input Multiple-Output)構成のシステムに期待が高まり、その研究が盛んになっている。一方、研究代表者はソフトウェア無線の要素技術として適応変身の機能を有するアレーアンテナ:ソフトウェアアンテナのコンセプト提唱を行ってきた。本研究開発では、ソフトウェアアンテナのコンセプトを MIMO 伝送システムに取り入れた MIMO 環境適応伝送システムを提案し、その理論及び実験的研究を行なった。

図 1 は、本研究開発の 3 つの研究項目の関係を示している。MIMO の研究開発はこれまで欧米先行になっていたが、本研究開発を通じてオリジナリティの高い日本発の技術の確立を目指した。

2. 研究内容及び成果

2.1 各種伝送方式の比較検討と提案

「伝搬環境に適應して変化する MIMO 伝送方式」の確立に向けて、シミュレーションによって各種伝送方式の特徴を把握するための基礎的検討を行った。周波数選択性フェージングに対応する方法としては、空間フィルタリング



図 1: 3 研究項目の相互連携

のみを用いる方法と、時空間処理による高性能な手法の 2 種類を提案した。時空間処理を用いた後者の手法の演算量を減らすため、広帯域信号をいくつかのサブバンドに分けて適應処理を行う手法についても提案した。端末が高速で移動することによる時間相関劣化に伴って問題が発生する高速フェージング対応では、パイロット信号と伝送信号を一体化させて符号化する MIMO-STBC アダプティブアレーの構成を提案した。

また、MIMO の高機能サービスとして、MIMO リレーシステム(図 2)を提案し、この評価のためのチャンネルモデル「マルチキーホールモデル」を構築し、このモデルを用いてリレー部のアンテナ数と伝送特性の関係など、基本伝送特性を明らかにした。さらに、小型端末での MIMO

適用で問題となるアレーアンテナ間のカップリングの影響把握の研究にも取り組んだ。

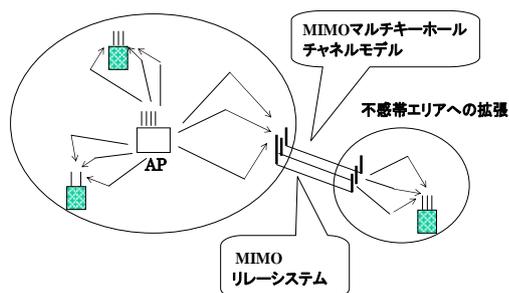


図 2 : MIMO リレーシステム

2. 2 伝搬実験とチャンネルモデル

伝搬実験としては、当初は既存の 2.2GHz 4x8 MIMO 実験装置を用いた電波暗室内マルチパス環境での基本実験を行い、固有値分布の確認や固有モード伝送・時空間ブロック符号化伝送等の実験を行った。次に 5GHz 帯での測定系を構築を行った。伝搬環境としては、理想的なマルチパスリッチ環境や後述のキーホール環境を得るために、完全遮蔽型電波反射箱(4m×2m×2mの金属で囲まれた箱)の製作を行った。5GHz 帯送受信系により電波反射箱の伝搬特性を測定し、屋内や市街地の伝搬環境に相当するマルチパス伝搬環境(指数関数型遅延プロファイルを有する理想状態に近い Rayleigh フェージング環境)であることを確認した。この伝搬環境で、独自に開発した 5GHz 帯多重偏波アンテナ(直交 3 偏波アンテナ: 図 3)の伝送特性を明らかにした。これらの測定に基づく MIMO チャンネルモデルを構築した。

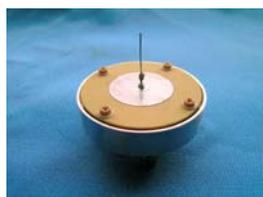


図 3 : 5GHz 帯 3 偏波アンテナ(直径 4cm)

2. 3 電波伝搬に適した電磁界解析の研究

決定論的な電波伝搬解析のための電磁界解析手法として、波長に比べ空間離散化が粗くても精度劣化を起ささない Constrained Interpolation Profile(CIP)法について調査を行った。CIP 法を電波伝搬解析に用いるための要素技術として、1)吸収境界条件として、高性能の吸収性能を有する Perfectly Matched Layer (PML)の開発、2) 平面波入射をシミュレーションするための条件として Total-Field/Scattered-Field 境界の開発、3) 伝搬に関する誤差評価としての数値分散関係式の導出を行った。これによって、CIP 法を用いて電波伝搬のシミュレーションが可能となった。

2. 4 MIMO 伝送特性評価シミュレータの開発

レイトレース計算のシミュレータに MIMO 通信の特性評価の機能を盛り込み、またあらゆる環境をモデリング可能とするため、計算領域縮小による高速化の検討を行った。まず、MIMO 機能の特性評価については、チャンネル応答行列や固有値分解を行い、マルチストリームかシングルストリーム伝送が最適なかを判断する機能を追加、またアンテナを含めたチャンネル応答行列や、更に最適なウェイトを求め、アンテナヘフィードバックする機能の基本設計を行った。一方、可視化機能においては、エリア評価機能を設け、その環境においての度数分布や累積分布を確認できるようにした。また車車間通信での研究も想定し、移動

している車同士が通信できるようなシーンの概念を盛り込んだ。

高速化については、主に計算領域を送信点と受信点を焦点とする楕円により縮小を行い、複数のモデルにおいて、その精度評価を行った。具体的には送受信間距離に依存した楕円長径を推定する方法を提案し、伝搬損失および MIMO で重要なパラメータである角度・遅延スプレッドに着目した精度の評価を行い、提案した推定方式の妥当性を検討した。

3. むすび

3 年間の研究を通じて、上記の成果に基づく環境適応型 MIMO 通信システム概念の構築を行うことができた。環境適応性に優れた「ソフトウェア無線」、電波の利用環境を自己認識して、空いている周波数帯を適応的に活用する「コグニティブ無線」、さらにデジタル信号処理によって得たベースバンド信号を、アップコンバートして高周波に変換するのではなく、電波そのものをデジタル信号処理によって作り出す「ベースバンド無線」の 3 つの無線を融合した「環境適応通信システム」の概念を打ち立てた。

本研究計画の期間を通し、実験・数値シミュレーションによる基礎的データの収集から、環境適応 MIMO 伝送システムの概念構築、それらに関わる周辺技術の開発、またシミュレータへの応用も達成されており、十分な成果が得られたものといえる。

【誌上発表リスト】

- [1]Y. Karasawa, “Statistical multipath propagation modeling for broadband wireless systems (invited survey paper)”, IEICE Transactions on Communications, Vol.E90-B No.3 pp.468-484 (平成 19 年 3 月)
- [2]Y. Karasawa, “Innovative antennas and propagation studies for MIMO systems (invited)”, Vol.E90-B No.9 pp.2194-2202 (平成 19 年 9 月)
- [3]塩見崇峰、川村雅彦、吉敷由起子、梶原飛鳥、唐沢好男、“レイトレーシング法における計算対象建物エリアの楕円近似による効果的判定方法に関する研究[2] ～楕円長径に関する指標の考察～”, 電子情報通信学会技術報告 AP2007-115 (平成 19 年 12 月 13 日)

【申請特許リスト】

- [1]唐沢好男他、通信装置及び通信システム、日本、H17.9.15.
- [2]唐沢好男他、受信装置、日本、H17.12.14.
- [3]唐沢好男他、無線通信装置、日本、H18.3.24.

【受賞リスト】

- [1]唐沢好男、平成 17 年度国際コミュニケーション基金(ICF) 優秀研究賞、“次世代の移動通信システム用電波伝搬モデルに関する研究”、平成 18 年 4 月 25 日
- [2]井上 隆、唐沢好男、第 22 回電気通信普及財団賞「テレコムシステム技術賞(奨励賞)」、レイリーフェージング環境における広帯域信号のレベル変動に関する理論解析(電子情報通信学会論文誌(B), vol.J88-B, no.9、2005)、平成 19 年 3 月 19 日
- [3]Y. Karasawa, Best Tutorial Paper Award 電子情報通信学会通信ソサイエティ、“Statistical Multipath Propagation Modeling for Broadband Wireless Systems”、平成 19 年 9 月

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://radio3.ee.uec.ac.jp/>
<http://www4.kke.co.jp/raplab/>