

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2005～2008

課題番号：17360177

研究課題名 (和文)

環境適応通信のための MIMO ソフトウェアアンテナに関する研究

研究課題名 (英文)

Study on MIMO Software Antenna for Adaptive Communication Systems

研究代表者

唐沢 好男 (KARASAWA YOSHIO)

電気通信大学・電気通信学部・教授 40313407

研究成果の概要：

「環境認識機能」と「それに基づくアルゴリズムの適応変身機能 (アルゴリズムダイバーシチ)」が具備されている環境適応型 MIMO 通信システム (MIMO ソフトウェアアンテナ) の概念構築を行った。3つの無線、「ソフトウェア無線」「コグニティブ無線」「ベースバンド無線」が一体化したシステムを、未来の「環境適応通信システム」と捕らえ、主要な役割を担う MIMO を対象に、伝搬理論、チャネルモデル、アンテナ構成、MIMO 伝送方式、適応信号処理の研究を行い、後の研究論文リストにあるように、多くの研究成果を得た。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	3,900,000	0	3,900,000
2006年度	3,400,000	0	3,400,000
2007年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2008年度	2,800,000	840,000	3,640,000
年度			
総計	13,400,000	1,830,000	15,230,000

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：アンテナ、電波伝搬、MIMO、環境適応通信、ソフトウェアアンテナ

1. 研究開始当初の背景

移動通信では、第3世代のシステム開発が終了し、次の時代 (Beyond 3G) のシステムコンセプトが生まれようとする時期であった。また、21世紀の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技術の重要性も認識されつつあった。そのためには、システムが環境適応性に優れた機能を具備しておく必要があり、そのような通信系として送受信の両方にアレーアンテナを用いて多機能・高性能な情報伝送を可能とする

MIMO (Multi-Input Multi-Output) 構成のシステム研究に期待が高まってきた時期であった。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いた。本研究では、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 ソフトウェアアンテナを提案し、その理論及び実験的研究を行なうにタイミングのよい時期であった。

2. 研究の目的

MIMO システムは、アダプティブアレーやダイバーシチ技術を高度化したものであり、二つの伝送技術、1) 高スループット伝送を実現する空間分割多重伝送（マルチストリーム伝送）と、2) 高信頼性の伝送を実現する時空間符号化伝送（シングルストリーム伝送）、が核になっている。しかしこの二つの要素技術は系譜が異なるものであり、研究もそれぞれの分野で独立に行われている。ここでは、ソフトウェアアンテナの概念を取り入れ、複数の伝送方式（上記二つの方式を両極端とする多様な伝送方式）が伝搬環境の変化に対して連続的に切り替えられてゆく（すなわち適応変身する）MIMO ソフトウェアアンテナのイメージを構築する。このイメージを実現するのに重要な電波伝搬測定やプロトタイプシステムによる基礎実験をおこなう。最終的には、ここで得られる知識に基づく新しいワイヤレス情報通信システム：環境適応通信システムを提案する。

3. 研究の方法

(1) MIMO 伝搬チャネルモデリングの理論研究
研究代表者のグループでこれまで積み重ねてきた MIMO 伝搬チャネルモデリングの研究をさらに深め、学問体系としてまとめられるような理論基盤の構築を行なう。具体的には、屋内環境・屋外環境での、多重波伝搬理論に基づく伝搬チャネルの統一的表現法、特に、行列で表される送受信アレー間のチャネル応答特性の統計的性質（空間相関特性など）の理論構築に取り組む。

(2) 多機能 MIMO アンテナの試作

MIMO 伝送の特徴、すなわちマルチパス環境で、その機能を十分に発揮する新しいアンテナを考案する。具体的には、多重偏波の特性を利用するコンパクトアンテナを目指す。

(3) 伝搬実験環境の構築、伝搬実験の実施

MIMO の伝送は、マルチパス環境での運用を対象にする。一つの極限環境として、十分な数のマルチパスで構成される電波環境を実現する電波反射箱（Reverberation Chamber）を構築する。試作の後、この環境の特性を定量的に評価すると共に、アンテナや伝送の特性を評価する手段として、積極的に活用する。

(4) MIMO 伝送方式の研究

MIMO は様々な環境で運用されるため、環境適応性を重視する伝送方式が求められる。本研究では、広帯域伝送システムを対象に、周波数選択性フェージングで発生する符号間誤りに強い伝送方式を提案する。また、高速変動（fast fading）に強い伝送方式の提案

も行う。これらの提案システムの効果の検証は主に計算機シミュレーションで行うが、上記(3)の伝搬環境での評価も、可能なものについては実施する。

(5) 環境適応情報通信システム：

MIMO ソフトウェアアンテナの提案

上述の要素技術の検討結果を踏まえ、環境の変化に対してシステムそのものが柔軟に適応変身できるような「環境適応通信」あるいは「ソフトウェア無線システム」をイメージし新しいワイヤレス情報通信のコンセプトを提案したい。

4. 研究成果

(1) MIMO 伝搬チャネルモデリングの理論研究

MIMO の伝送特性評価では、行列で表現される伝搬環境の固有値の把握が重要と認識し、この確率分布の理論推定法や、近似評価法を確立した。この成果は MIMO の理論に新たな解釈を与えるものとして、誌上論文発表（雑誌論文リスト欄の[1], [9], [14]）すると共に国際会議の招待発表やチュートリアル講演（Short Course Lecture）での啓蒙活動を行った。

また、電波の不感地帯解消に有望な MIMO リレーシステムに着目し、この回線設計に資するチャネルモデル「マルチキーホールモデル」を確立した[5], [11]。図1はこのイメージ図である。

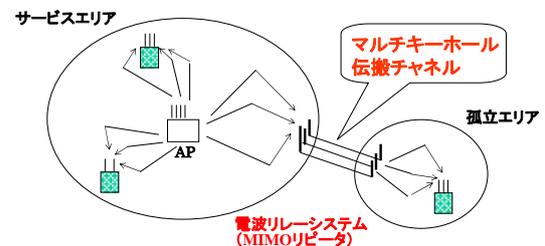


図1 MIMO リレーシステムと

マルチキーホール伝搬チャネルモデル

(2) MIMO 3 偏波アンテナ

マルチパス環境で、その機能を十分に発揮する新しいアンテナとして多重偏波の特性を利用する MIMO 3 偏波アンテナを考案し、その特性を明らかにした[16]。図2に構成図を示す。一つのアンテナで、3素子アレーの機能を持つことが特徴で、非常にコンパクトな実用性の高いアンテナが生み出された。

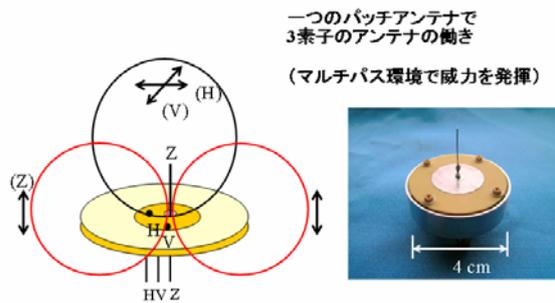


図2 MIMO用3偏波アンテナ (5GHz で試作)

(3) 伝搬実験環境の構築、伝搬実験の実施

マルチパスリッチ環境での端末特性評価を可能とする電波反射箱 (Reverberation Chamber) を構築した[17]。これまで、測定環境構築に関する研究は手薄で、MIMO 端末評価に非常に有効な測定環境を実現する第一歩を踏み出した。レイリー分布、空間相関特性、遅延特性については理想的な環境になっている。また、遅延スプレッドも電波吸収シートを用いることにより、容易に制御できることを明らかにした。今後は、測定の標準環境構築を目指して、動的に変化するフェージングを発生する環境にするべく研究を継続してゆきたい。図3は、電波反射箱の外観図である。



図3 試作した電波反射箱 (4mx2mx2m)

(4) MIMO 伝送方式の研究

上記(2)で試作したアンテナを用いて、多重偏波利用の伝送特性を明らかにした[4], [16]。また、広帯域情報伝送の方式として、帯域分割型 MIMO アダプティブアレーや STBC での伝送方式提案を行い、計算機シミュレーションにより効果の検証を行った[3], [6], [7], [13]。さらに、高速フェージングに強い PSAM (Pilot Symbol-Assisted Modulation) タイプの伝送方式を提案し、その効果も明らかにした[12]。

このようにして、環境適応通信の要素技術となる種々の伝送方式を提案することがで

きた。

(5) 環境適応情報通信システムの提案

電波環境は次のように分類される。1) 送受信双方においてパスの角度広がり大きいマルチパスリッチ環境、2) パスの角度広がり小さくアンテナブランチ間に信号相関を有するマルチパス環境、3) 伝搬路の途中に (等価的な意味で) キーホールのある環境、4) 複数のアンテナで中継する環境に対応するマルチキーホール環境、などである。また、システムパラメータとの関連では、5) 広帯域信号で問題になる周波数選択性フェージング環境であるかどうか、6) ドップラー広がりの影響として現れる時間選択性フェージング環境であるかどうか、さらには、7) 両者が複合して現れる周波数・時間ダブル選択性フェージング環境であるか、である。さらには、利用形態により、8) シングルユーザシステムか、9) マルチユーザシステムか、に分類される。これらの特長が、通信目的・通信環境の具体化によって単独、あるいは複合的に現れる。4年間の研究を通じて、上記の個々の特徴を明らかにし (リストに挙げている大部分の論文)、また、これらの成果に基づく環境適応型無線システムの概念構築を行うことができた[15]。それゆえ、本項目のみならず、研究テーマ全体に対して十分な成果が得られたと確信する。

上述の研究成果に基づき、上記を体系的に整理し、「環境認識機能」と「それに基づくアルゴリズムの適応変身機能 (アルゴリズムダイバーシチ)」が具備されている環境適応型 MIMO 通信システムの概念構築を行った。環境適応性に優れたハードウェアとして「ソフトウェア無線」の概念があり、これはソフトウェアプログラミングによって、必要とする機能を実現する装置である。パソコンにアンテナがついたイメージである。近年、電波の有効利用の観点から、電波の利用環境を自己認識して、干渉を生み出さない前提条件で、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」の概念も近年関心が高まっている。さらに、研究代表者らは、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」の概念を提唱、本研究で検証を行った[15]。ここで提示した、3つの無線、「ソフトウェア無線」「コグニティブ無線」「ベースバンド無線」が一体化したシステムが、まさに、「環境適応通信システム」といえるであろう。本研究対象の MIMO はそのシステ

ムをよりフレキシブルにするものである。図4は、ワイヤレス環境適応通信をひとつのイメージ図としてまとめたものである。

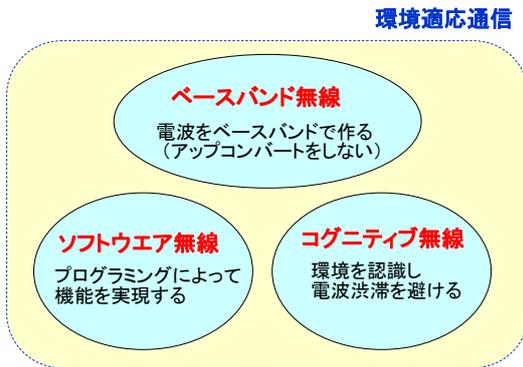


図4 3つの無線の統合：環境適応通信

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 28 件) [全て査読有]

- [1] Y. Karasawa, "MIMO propagation channel modeling," IEICE Transaction on Communications, vol. E88-B, no. 5, pp. 1829-1842, May, 2005.
- [2] Y. Karasawa, N. Gejoh, and T. Izumi, "Modeling and analysis of OFDM transmission characteristics in Rayleigh fading environment in which the delay profile exceeds the guard interval," IEICE Transaction on Communications, vol. E88-B, no. 7, pp. 3020-3027, July, 2005.
- [3] T. Taniguchi, H. H. Pham, N. X. Tran, and Y. Karasawa, "Design of MIMO communication systems using tapped delay line structure in receiver side," IEICE Transactions on Fundamentals, vol. E89-A, no. 3, pp. 670-677, March, 2006.
- [4] N. Das, M. Shinozawa, N. Miyadai, T. Taniguchi, and Y. Karasawa, "Experiments on a MIMO system having dual polarization diversity branches," IEICE Transactions on Communications, vol. E89-B, no. 9, pp. 2522-2529, September, 2006.
- [5] 鶴田誠, 唐沢好男, "MIMOリピータシステムのためのマルチキーホールモデル," 電子情報通信学会論文誌(B), vol. J89-B, no. 9, pp. 1746-1754, September, 2006.
- [6] N. Bin Ramli, X. Nam Tran, T. Taniguchi, and Y. Karasawa, "Subband adaptive array for space-time block coding," IEICE Transactions on Fundamentals, vol. E89-A, no. 11, pp. 3103-3113, November, 2006.
- [7] H. H. Pham, T. Taniguchi, and Y. Karasawa, "Spatial-temporal adaptive MIMO beamforming for frequency-selective fading," IEICE Transactions on Communications, vol. E90-B, no. 3, pp. 578-585, March 2007.
- [8] 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, March 2007
- [9] Y. Karasawa, "Innovative antennas and propagation studies for MIMO systems," IEICE Transaction on Communications, vol. E90-B, no. 9, pp. 2194-2202, September 2007 (invited).
- [10] T. Taniguchi, S. Sha, Y. Karasawa, and M. Tsuruta "Simple approximation of largest eigenvalue distribution in MIMO channels under Nakagami-Rice fading," IEICE Transactions on Fundamentals, vol. E90-A, no. 9, pp. 1862-1870, September 2007.
- [11] M. Tsuruta, T. Taniguchi, and Y. Karasawa, "On statistical distribution of eigenvalues of channel correlation matrix in MIMO multi-keyhole environment," IEICE Transactions on Communications vol. E90-B, no. 9, pp. 2352-2359, September 2007.
- [12] S. Annanab, T. Taniguchi, and Y. Karasawa, "MIMO STBC adaptive array for fast fading channel," IEICE Transactions on Communications, vol. E90-B, no. 9, pp. 2321-2329, September 2007.
- [13] T. Taniguchi, H. H. Pham, N. X. Tran, and Y. Karasawa, "Broadband MIMO communication systems using spatio-temporal processing in transmitter and receiver sides," IEICE Transactions on Fundamentals, vol. E90-A, no. 11, pp. 2423-2430, November 2007.
- [14] T. Taniguchi, S. Sha, Y. Karasawa, "Analysis and approximation of statistical distribution of eigenvalues in i.i.d. MIMO channels

- under Rayleigh fading,” IEICE Transactions on Fundamentals, vol. E91-A, no. 10, pp.2808-2817, 2008.
- [15] 唐沢好男、笹木亮平、谷口哲樹、”環境適応型ベースバンド無線：概念提案と機能実証実験,” 信学論B vol. J91-B, no. 11, pp.1359-1368, 2008.
- [16] 篠沢政宏、N. K. Das、谷口哲樹、唐沢好男、”MIMO小型3偏波アンテナの提案とマルチパスリッチ環境における伝送特性,” 信学論(B), vol. J92-B, no.1, pp.262-270, 2009.
- [17] 佐々木克守、(3名)、谷口哲樹、唐沢好男、”電波吸収シートによる電波反射箱内の伝搬環境制御,” 信学論(B) (in review).

[学会発表] (計 92 件) (査読有 3 7 件、査読無 5 5 件)

- [1] Y. Karasawa, M. Tsuruta, and T. Taniguchi, ”Multi-Keyhole model for MIMO radio relay systems,” European Conf. Antennas Propagat. (EuCAP2007), Edinburgh, UK, Nov. 11-16, 2007. (invited).

[図書] (計 3 件)

- [1] K. Fujimoto and J. R. James (Ed) : Mobile Antenna Systems Handbook (3rd Edition), Artech House, (Y. Karasawa, 2.2 Fundamentals in Land Mobile Propagationsを担当執筆) (2008.11).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

唐沢 好男 (KARASAWA YOSHIO)
電気通信大学・電気通信学部・教授
研究者番号：40313407

(2) 研究分担者

富田 正治 (TOMITA MASAJI)
電気通信大学・電気通信学部・准教授
研究者番号：80180173

谷口 哲樹 (TANIGUCHI TETSUKI)
電気通信大学・電気通信学部・
産学官連携研究員
研究者番号：50283099

(3) 連携研究者