

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 3月31日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560390

研究課題名（和文） 1 受信アンテナ MIMO-OFDM システムの研究

研究課題名（英文） Research on Single Receive Antenna MIMO-OFDM System

研究代表者

眞田 幸俊 (Yukitoshi Sanada)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：90293042

研究成果の概要（和文）：

高効率の無線通信を達成するには、送受信機において複数のアンテナ素子による MIMO 伝送を用いることが必要である。MIMO 伝送では、送信機側で M 本のアンテナを用いて通常の M 倍の伝送速度を達成する。MIMO 伝送の問題点は複数のアンテナを端末に搭載する必要があることである。本研究では 1 受信アンテナ素子のみで MIMO 伝送を達成する復号および復調方式を提案し、その特性を実験および計算機シミュレーションで評価した。

研究成果の概要（英文）：

Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) transmission achieves high spectrum efficiency. The MIMO system requires implementing multiple antenna elements in a transmitter and a receiver. However, the form factor of a mobile terminal prohibits the use of multiple receive antenna elements. This research proposes a joint demodulation scheme and a joint decoding scheme for the MIMO system in which only 1 receive antenna element is assumed. The performance of the proposed schemes is evaluated through experiments and computer simulation.

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	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：通信・ネットワーク工学

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：MIMO OFDM 分数間隔サンプリング

1. 研究開始当初の背景

高速移動中でも高画質の動画鑑賞等ができる第4世代移動通信システム (IMT-Advanced) は、2015年頃の実現に向け

て、国際電気通信連合を中心とした国際標準化活動や研究開発等が積極的に進められている。その要求条件としては高速移動時に 100Mbps 以上、低速移動時に 1Gbps 以上の通

信速度が規定されている。他方，IMT-Advanced に割り当てられる帯域幅は最大 100MHz 程度と考えられており，10b/s/Hz の周波数利用効率が必要である。このような高効率の通信を達成するには送受信機において複数のアンテナ素子を用いる MIMO 伝送を用いることが必要である。送信機側ではM本のアンテナを用いて異なるM個のデータを同時に送信する。受信アンテナはM本の送信アンテナからの信号をそれぞれ同時に受信し，受信データを信号処理によって分離することにより通常のM倍の伝送速度を達成する。

2. 研究の目的

MIMO 伝送の問題点は複数のアンテナを端末に搭載する必要があることである。特に基地局から移動局へ伝送する下りリンクは，インターネットアクセス等のデータ通信の要求から必要とされるデータ伝送速度が高くなるが，小型の端末に複数のアンテナを搭載することは難しい。

一方1アンテナ素子で受信ダイバーシチを達成する分数間隔サンプリング方式が提案されている。分数間隔サンプリング方式では通常のサンプリング速度のG倍の速度でサンプリングを行い，マルチパスを分解する。そしてG並列復調処理を行うことにより仮想的にG個のアンテナ素子を実現する。本研究ではこの方式を MIMO 伝送に適用し，1受信アンテナ素子で MIMO 伝送を実現する。

さらに送信側で誤り訂正符号を用いて複数の信号間に相関を持たせ，それらを異なるサブキャリアに送信することによって1受信アンテナで MIMO 伝送を実現する方式も検討した。符号化によりシンボル間に相関が発生し，周波数軸上に仮想的なアンテナを実現する。

3. 研究の方法

図1(a)は従来のMIMO伝送の概念図である。また図2(a)は提案する分数間隔サンプリングMIMO-OFDM受信機概念図であり，図2(b)は符号化信号によるMIMO伝送方式の概念図である。

研究は計算機シミュレーションおよび高周波信号を使った実験により行った。計算機シミュレーションによりベースバンドモデルにおける提案システムの特性を評価し，その有効性および通信路容量の改善度を確認した。計算機シミュレーションでは無線チャネルを典型的な統計モデル(Rayleigh分布等)により表現するが，屋内伝搬環境では必ずしも典型的な性質を示さない。そこで実験システムを用いて屋内実伝搬環境における通信路容量の改善度の限界を検討した。

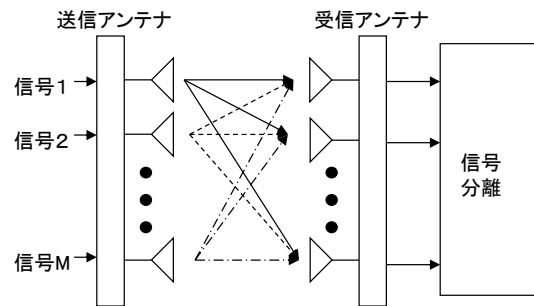
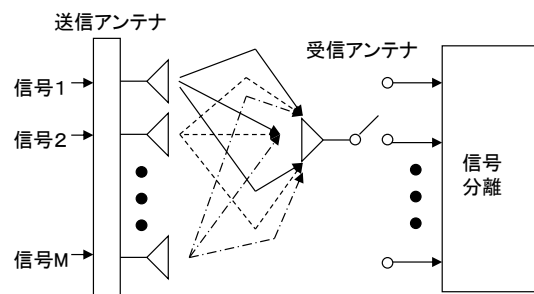
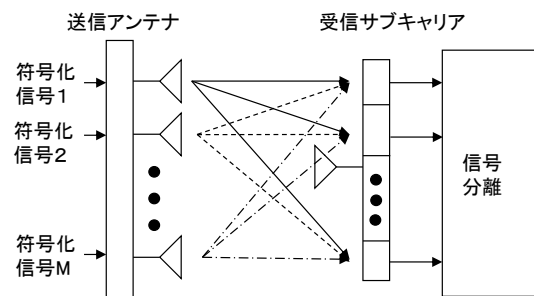


図1 従来型 MIMO 伝送



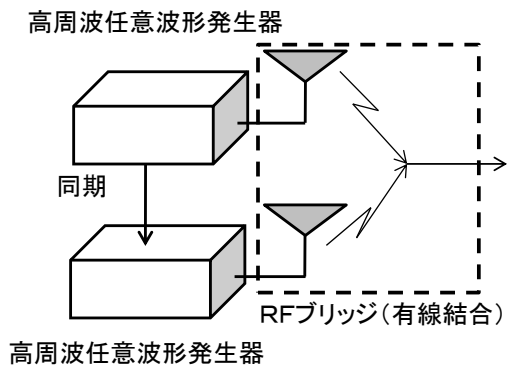
(a) 提案する MIMO 受信方式 1



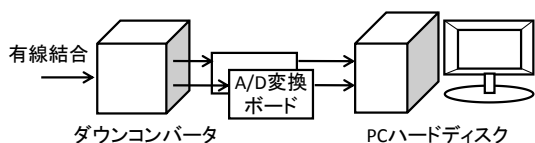
(b) 提案する MIMO 受信方式 2

図2 MIMO 伝送の概念図

図3は実験システムの構成である。図3(a)のように送信側は2アンテナを想定して高周波任意波形発生器2台を同期させながら2系統の高周波信号を出力する。出力はRFブリッジにより結合する。図3(b)のように受信側は1アンテナ(有線結合)で受信しダウンコンバータに入力する。ダウンコンバータは高周波信号をベースバンド信号に変換する。変換されたアナログベースバンド信号はA/D変換ボードに入力され，デジタル信号化され，パーソナルコンピュータのハードディスクに格納される。その後復調プログラムで復調される。計算機シミュレーションも図3と同様の構成をプログラムに実装し，無線チャネルとして Rayleigh フェージングモデルを用いて評価した。



(a) 実験システム送信側



(b) 実験システム受信側

図3 MIMO 実験送受信システム

4. 研究成果

(1) 分数間隔サンプリングを用いた1アンテナ MIMO-OFDM システムの受信特性

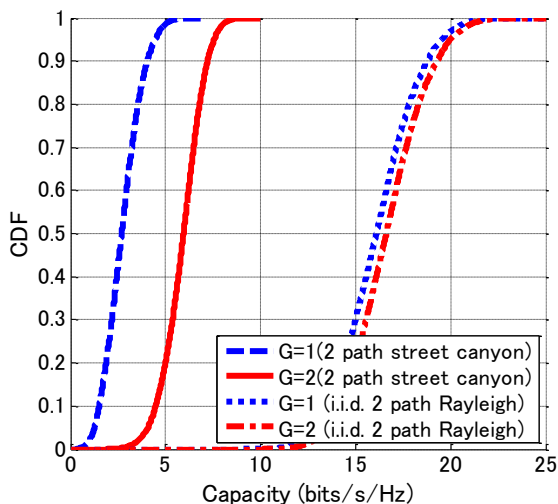


図4 分数間隔サンプリングによる1受信アンテナ MIMO-OFDM システムの受信特性

図4に分数間隔サンプリングを用いた1受信アンテナ MIMO-OFDM システムの計算機シミュレーションによる通信路容量特性を示す。通信路は2パス Street Canyon モデルおよび参考として2パス Rayleigh フェージングモデルを想定した。図より2パス Street Canyon モデルにおいて分数間隔サンプリング次数Gを1から2に増加した場合、システ

ムの通信路容量は約3.0bps/Hz改善していることが明らかである。これより分数間隔サンプリングがパスダイバーシチを実現し、1受信アンテナでも MIMO 伝送を達成することがわかる。

(2) 誤り訂正符号を用いた1受信アンテナ MIMO-OFDM システムの受信特性

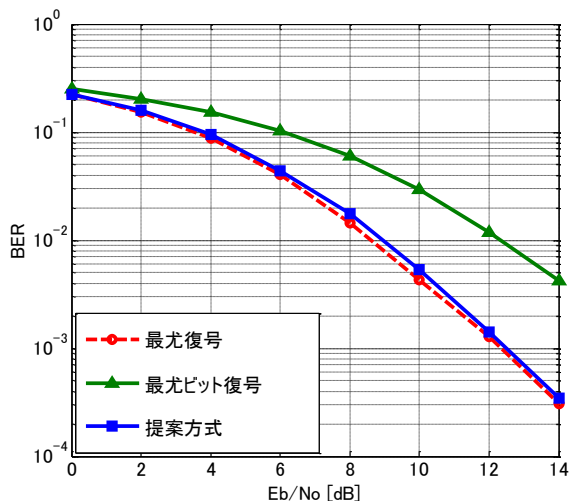


図5 誤り訂正符号による1受信アンテナ MIMO-OFDM システムの受信特性

図5に誤り訂正符号を用いた場合の1受信アンテナ MIMO-OFDM システムの計算機シミュレーションによるビット誤り率特性を示す。通信路は8パス Rayleigh フェージングチャンネル、信号帯域幅は20MHz、変調方式としては64サブキャリア BPSK-OFDMを想定し、4信号ストリームを多重している。図5より提案方式はビットごとに最尤判定を行う最尤ビット復号よりも4dB特性を改善し、ほぼ最尤復号と同等の特性を示している。他方本研究で提案する復号方法は、復号に必要な計算量を最尤復号に対して約1/170に低減することができた。

(3) 誤り訂正符号を用いた1受信アンテナ MIMO-OFDM システムの実験結果

図6に誤り訂正符号を用いた場合の1受信アンテナ MIMO-OFDM システムの実験によるビット誤り率特性を示す。送信周波数は2.422GHz、信号帯域幅は20MHz、64サブキャリア BPSK-OFDM 変調を想定している。図6より実験値は計算機シミュレーションよりも約4dB特性が劣化している。これはチャンネル推定精度および量子化誤差に起因している。また2信号ストリームの実験結果は1信号ストリーム時の特性とほぼ同等である。これにより1受信アンテナでも信号分離が実現されていることが明らかである。

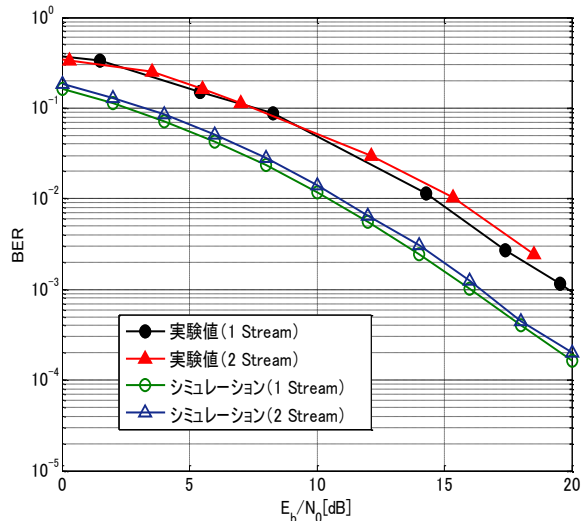


図6 誤り訂正符号による1受信アンテナ MIMO-OFDM システムの実験結果

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2件)

- ① E. Sakai, H. Nishimura, M. Inamori, and Y. Sanada, "Adjacent Channel Interference Cancellation using Orthogonal Precoding for Fractional Sampling OFDM Receiver," *Wireless Personal Communications*, 査読有, published online in Jan. 2013. DOI:10.1007/s11277-013-1009-z
- ② Y. Nakagawa, M. Inamori, and Y. Sanada, "Improvement of Multipath Delay Resolution with Imaging Components on Separate Frequency Channel in Fractional Sampling OFDM," *IEICE Trans. on Fundamentals*, 査読有, vol. E95-A, no. 11, pp. 1971-1979, Nov. 2012.
http://search.ieice.org/bin/pdf.php?lang=E&year=2012&fname=e95-a_11_1971&abst=

[学会発表] (計10件)

- ① Y. Tanaka, M. Inamori, and Y. Sanada, "Timing Synchronization Scheme for OFDM Signal in General Purpose Processor Based Software Defined Radio Receiver," The

23rd IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2012年9月11日, Sydney (Australia).

- ② K. Eguchi, M. Inamori, and Y. Sanada, "Performance of Multiuser MIMO-OFDM System with Fractional Sampling in Street Canyon Area," The 76th IEEE Vehicular Technology Conference, 2012年9月5日, Quebec (Canada).
- ③ Y. Sanada, "Signal De-multiplexing in Branch Metric Calculation for Spatially Multiplexed MIMO System," The 75th IEEE Vehicular Technology Conference, 2012年5月9日, Yokohama (Japan).
- ④ 眞田幸俊, "トレリス符号化した空間多重信号の分離方法に関する一検討 ~1受信アンテナ MIMO-OFDM の検討~, "電子情報通信学会ソフトウェア無線研究会, 2012年3月8日, 横須賀.
- ⑤ 栗原宏季, 稲森真美子, 眞田幸俊, "Hamming符号化した空間多重信号の分離方法に関する一検討 ~1受信アンテナ MIMO-OFDMの提案~, "電子情報通信学会ソフトウェア無線研究会, 2012年3月8日, 横須賀.
- ⑥ 江口賢太, 稲森真美子, 眞田幸俊, "Street Canyon モデルにおける FS-Multiuser MIMO-OFDM のチャネル容量改善度評価," 電子情報通信学会通信方式研究会, 2011年11月18日, 北海道.
- ⑦ 眞田幸俊, "ブロック符号化した空間多重信号のメトリック計算時における分離方法に関する一検討," 電子情報通信学会ワイドバンドシステム研究会, 2011年10月21日, 新潟.
- ⑧ R. Nakamura, M. Inamori, and Y. Sanada, "Experimental Investigation of IEEE802.11n Reception with Fractional Sampling," in Proc. the Sixth International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, 2011年6月1日, Osaka (Japan).
- ⑨ R. Nakamura and Y. Sanada, "Experimental Investigation of IEEE802.11n Reception with

Fractional Sampling, " The 21st IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2010 年 9 月 29 日, Istanbul (Turkey).

- ⑩ 中村亮介, 稲森真美子, 眞田幸俊, "IEEE802.11n における Fractional Sampling の実験的検討, " 情報理論とその応用シンポジウム, 2010 年 12 月 1 日, 長野.

[その他]

ホームページ等

<http://www.snd.elec.keio.ac.jp/sndgw/RESEARCH/research.files/WLAN/MIMO/PIMRC2010.pdf>

<http://www.snd.elec.keio.ac.jp/sndgw/RESEARCH/research.files/WLAN/MIMO/CrownCom2011.pdf>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

眞田 幸俊 (SANADA YUKITOSHI)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号 : 90293042

(2) 研究分担者

稲森 真美子 (INAMORI MAMIKO)

慶應義塾大学・理工学部・助教

研究者番号 : 70571222