慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	1受信アンテナMIMO-OFDMシステムの研究
Sub Title	Research on single receive antenna MIMO-OFDM system
Author	眞田, 幸俊(Sanada, Yukitoshi) 稲森, 真美子(Inamori, Mamiko)
Publisher	
Publication year	2013
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2012.)
JaLC DOI	
Abstract	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.
Notes	研究種目：基盤研究(C) 研究期間：2010～2012 課題番号：22560390 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
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_22560390seika

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

様式Ｃ－１９

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 受信機の概念図であり，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．

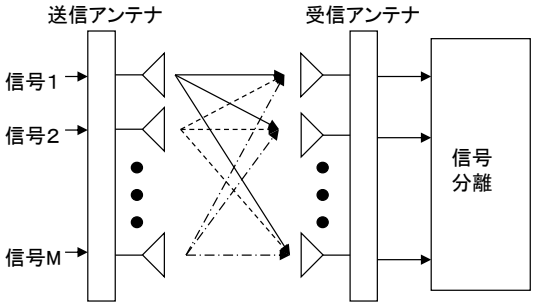
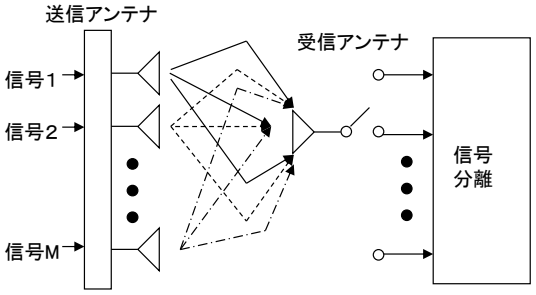
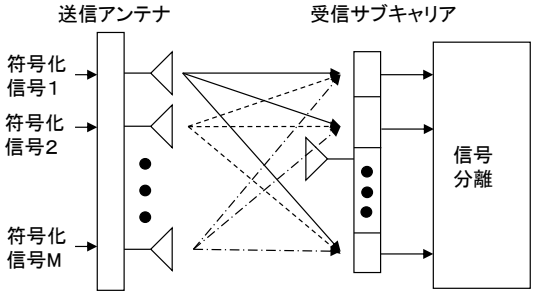


図１　従来型 MIMO 伝送



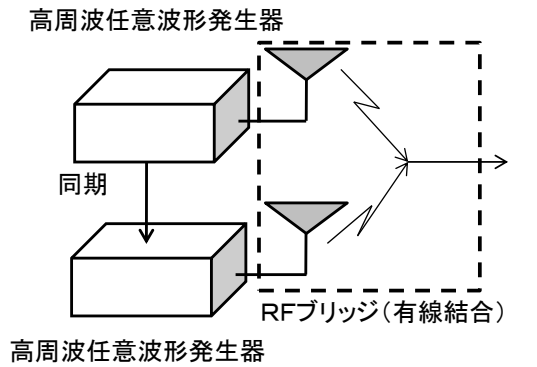
(a) 提案する MIMO 受信方式１



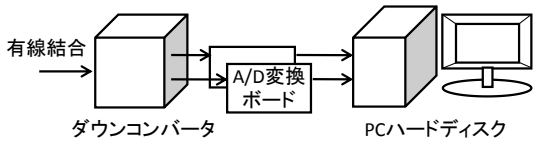
(b) 提案する MIMO 受信方式２

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，ディジタル信号化され，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

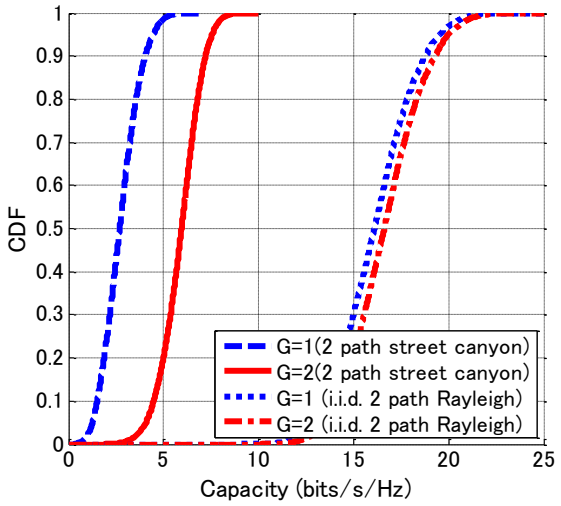


図４　分数間隔サンプリングによる１受信アンテナ MIMO-OFDM システムの受信特性

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

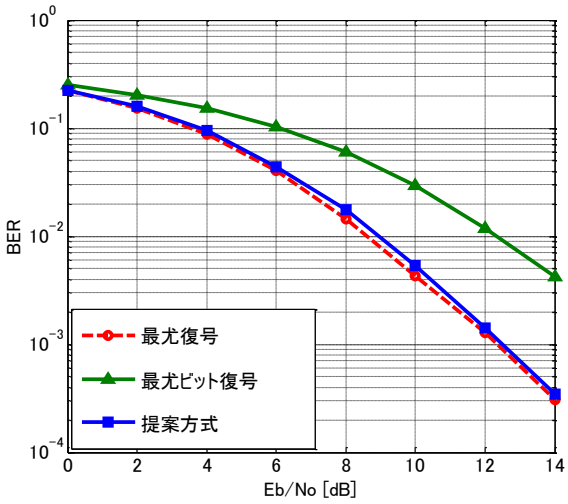


図５　誤り訂正符号による１受信アンテナ MIMO-OFDM システムの受信特性

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．

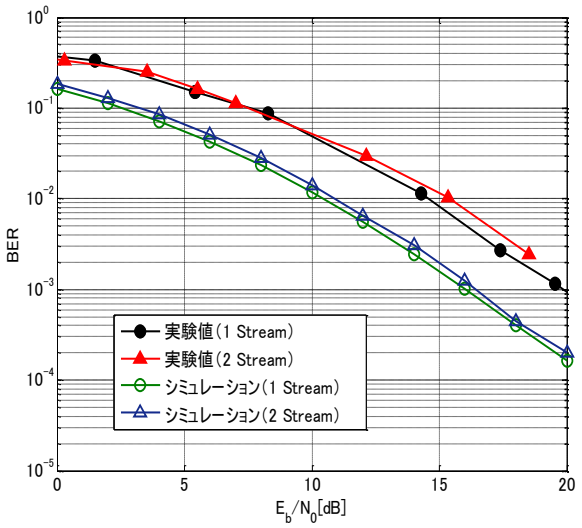


図６　誤り訂正符号による１受信アンテナ MIMO-OFDM システムの実験結果

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