

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 26 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560440

研究課題名(和文) MIMO-OFDMのダイバーシティの利用とチャネル推定の周波数領域研究

研究課題名(英文) Diversity exploitation and channel estimation for MIMO-OFDM: a frequency-domain approach

研究代表者

石 慶華 (Shi, Qinghua)

電気通信大学・先端領域教育研究センター・特任助教

研究者番号：80503416

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、OFDM、MIMO-OFDM、MC-CDMAのようなマルチキャリア通信方式に対して、先端信号処理技術である周波数領域オーバーサンプリング技術を提案している。この手法(周波数領域オーバーサンプリング技術)は、マルチアンテナシステム、ダブル選択性フェージング、マルチユーザ干渉などのシステムの周波数ダイバーシティ性能を改善している。この手法は、さらに、一般的なマルチキャリアシステムに対する新しいタイプのブラインドチャネル推定にも役立つものになっている。

研究成果の概要(英文)：This research proposes to employ frequency-domain oversampling together with advanced signal processing techniques to deal with multicarrier systems (OFDM, MIMO-OFDM, MC-CDMA, etc.) in general. It is shown that frequency-domain oversampling based approach enables efficient exploitation of frequency diversity to improve system performance under various conditions such as multiple antennas, doubly-selective fading, multi-user interference, etc. In addition, the proposed approach also leads to some novel blind channel estimation schemes for generic multicarrier systems.

研究分野：無線通信

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：無線通信 情報システム

1. 研究開始当初の背景

無線通信においては、大容量化、高移動性、周波数の有効利用が、常に求められている。そのための技術として、マルチキャリア技術とマルチアンテナ技術が融合した MIMO-OFDM は、次世代の有望な通信方式として、広く認識されるようになってきている。

MIMO-OFDM 技術は大容量データ通信を可能にしている。その高性能は、空間及び周波数ダイバーシチ技術がベースとなっている。実際、OFDM そのものは、サブキャリア間の直交性の喪失によって引き起こされるキャリア間干渉 (ICI) に弱い点を持っている。この ICI と、空間干渉は、MIMO-OFDM に対しても、対策が必要な課題として残っている。一方、MIMO-OFDM に対するブラインドチャンネル推定は、トレーニング信号を必要とするシステムのように、貴重な周波数資源 (一部のサブキャリア) を消費しないので、非常に魅力的である。しかし、これまでの手法では、送信アンテナより多い数の受信アンテナを必要とする制約条件があった。そのため、MIMO-OFDM に対して、頑健かつ汎用的で柔軟な信号処理手法が望まれていた。

2. 研究の目的

ここでは、新しい手法である周波数領域オーバーサンプリング (FDO) を MIMO-OFDM の信号処理手法として提案する。そして、この手法の理論解析と性能評価を行う。

FDO による信号受信技術 (波形等化、干渉除去、信号検知を含む) を MIMO-OFDM に適用する。この提案手法は、時間変動があって、かつ、周波数選択性フェージングであるような過酷な伝搬環境であったり、不完全同期・非線形電力増幅器・同一周波数干渉のような強い干渉環境下においても、有効に動作すると期待できる。さらに、提案手法は既存の手法に比べて、チャンネルダイバーシチ機能を有効に働かせているため、優れた性能を実現している。

FDO に基づくブラインド型チャンネル推定法を、MIMO-OFDM システムに適用する。この提案法は、MIMO の送受信のアンテナ数に制限がなく、全ての MIMO 構成に汎用的に適用できる。提案方法の性能は、既存の方法に比べて、極めて高いと予想できる。さらに、FDO に基づく結合チャンネル推定やシンボル検知手法についても、新たな提案を行い、その評価を行う。

3. 研究の方法

周波数領域オーバーサンプリング手法がこの研究の出発点になる。その手法の優位性を示すために、様々な先端的な信号処理技術を用いる。

周波数選択性チャンネルに対して、周波数ダイバーシチを効率よく働かせるために、線形 MMSE、非線形 VBLAST、球面復号アルゴリズムを適用する。チャンネル応答特性のブラインド推定を行うために、部分空間法の定式化と解法を行う。ブラインドチャンネル推定とシンボル検知を同時に行うために、投影型逐次最小二乗法 (ILSP) を適用し、解析する。

4. 研究成果

(1) ダブル選択性フェージングチャンネルにおける MIMO-OFDM の性能 P

チャンネルダイバーシチを効率的に行うために、周波数領域オーバーサンプリング (FDO) に基づく MIMO-OFDM の受信方式を提案した。線形方式と非線形方式の両方の検知システムを検討したダブル選択性フェージングチャンネルの元での提案方式の性能を評価した。

一例として、図 1 に示すように、従来の FDO を用いない場合と、提案方式である FDO ベースの方式を比べてみると、提案方式が極めてよい性能を示していることが分かった。これは、線形システムに対しても、非線形システムに対しても、さらには、様々な MIMO 構成に対しても、アンテナ構成やチャンネル状態 (定常的、あるいは事变的の双方において) に対しても、言えることが分かった。

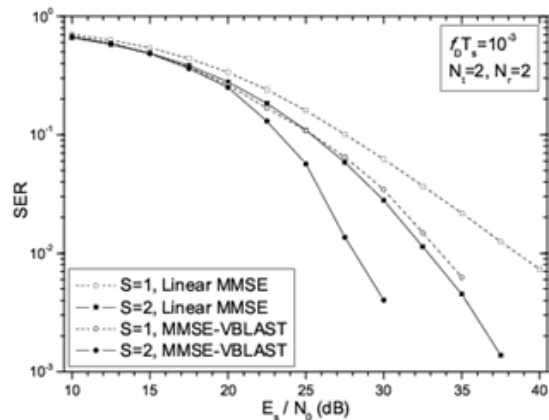


図 1 ダブル選択性フェージング環境における MIMO-OFDM の線形 MMSE 検知および MMSE-VLAST 検知方式に対する FDO 有

無の SER 特性(S: FDO ファクタ、 $f_b T_s$: 最大正規化ドップラー周波数、 N_t : 送信アンテナ数、 N_r : 受信アンテナ数)

(2) 任意のアンテナ数とユーザ数における MIMO MC-CDMA のためのブラインドチャンネル推定

MIMO MC-CDMA システム(MIMO-OFDM はその特別な場合) に対して、部分空間ブラインドチャンネル推定手法を提案した。提案手法である FDO は、雑音部分空間を作るのに非常に重要な働きを示した。それゆえに、FDO はアンテナ数の制約のない全ての MIMO 構成に対して、部分空間ブラインドチャンネル推定を可能にした。

推定した MIMO チャンネルは N_t 個の最小固有値によって決定される。数値解析結果では、提案手法の FDO 法が $K \leq N$ の条件下で、優れた性能を示すことが明らかになった。 $K > N$ の場合、あるいは、 $N_t > N_r$ の場合でも、他の手法では、うまくゆかないのに対して、図 2 に示すように、提案手法では、良好に動作することが示された。

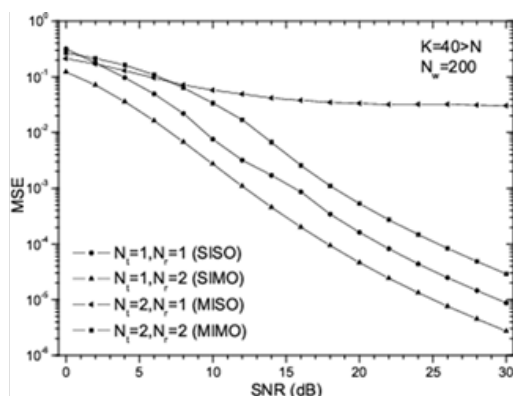


図 2 SNR ($K > N$) を関数とする様々な MIMO MC-CDMA システムに対する提案手法 (FDO) の平均二乗誤差 (MSE) 特性 (K : ユーザ数、 N : 送信サブキャリア数、 N_w : 観測窓長、 N_t : 送信アンテナ数、 N_r : 受信アンテナ数)

(3) MIMO-OFDM のための結合ブラインドチャンネル推定と符号検知

提案手法 (FDO) を組み入れた MIMO-OFDM に対する結合チャンネルの完全ブラインド推定の方法を提案した。提案手法は射影型逐次最小二乗法 (ILSP) アルゴリズムに基づいている。数値解析により、提案手法は、計算の収束速度においても、誤り検出確率においても、優れた性能を有することが明らかになった。

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 5 件) すべて査読有

- [1] Qinghua Shi and Y. Karasawa, "On correlated generalized Rician fading based on Gaussian class multivariate distributions with generalized correlation," *IEEE Commun. Lett.* vol. 16, no. 12, pp. 1925-1928, Dec. 2012.
- [2] Qinghua Shi and Y. Karasawa, "Some applications of Lauricella hypergeometric function FA in performance analysis of wireless communications," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 16, no. 5, pp. 581-584, May 2012.
- [3] Qinghua Shi and Y. Karasawa, "Automatic modulation identification based on the probability density function of signal phase," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 60, no. 4, pp. 1033-1044, April 2012.
- [4] Qinghua Shi and Y. Karasawa, "An accurate and efficient approximation to the Gaussian Q-function and its applications in performance analysis in Nakagami-m fading," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 15, no. 5, pp. 479-481, May 2011.
- [5] Qinghua Shi and Y. Karasawa, "Noncoherent maximum likelihood classification of quadrature amplitude modulation constellations: simplification, analysis, and extension," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 10, no. 4, pp. 1312-1322, April 2011.

[学会発表](計9件)

- [1] Qinghua Shi, "Joint Blind Channel Estimation and Symbol Detection for MIMO-OFDM with Frequency-Domain Oversampling," International conference on Broadband and Biomedical Communications (IB2COM 2013), Guilin, China, 12-15 December 2013.
- [2] Qinghua Shi, "A unified MGF based approach to the analysis of area under the ROC curve of energy detection over generalized fading channels," IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing (ICSPCC 2013), Kunming, China, 5-8 August 2013.
- [3] Qinghua Shi, "On the performance of energy detection for spectrum sensing in cognitive radio over Nakagami-Lognormal composite channels," IEEE China Summit and International Conference on Signal and Information Processing (ChinaSIP 2013), Beijing, China, 6-10 July 2013.
- [4] Qinghua Shi, "An accurate approximation to channel capacity of wireless communications systems," The 13th International Conference on Communication Systems (ICCS 2012), Singapore, 21-23 Nov. 2012.
- [5] Qinghua Shi, "Performance analysis of equal gain combining in Nakagami-m fading channels using approximate moment generating function," The 11th International Conference on Signal Processing (ICSP 2012), Beijing, China, 21-25 October 2012.
- [6] Qinghua Shi, "Performance of frequency-domain oversampling based receiver for MIMO-OFDM Systems in doubly selective fading channels," The Ninth International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS 2012), Paris, France, 28-31 August 2012.
- [7] Qinghua Shi, "Blind equalization and characteristic function based robust modulation recognition," The 14th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT 2012), Phoenix Park, Pyeong Chang, Korea, 19-22 Feb. 2012.
- [8] Qinghua Shi and Y. Karasawa, "Blind channel estimation for MIMO MC-CDMA with arbitrary numbers of antennas and users," The Fifth International Workshop on Signal Design and its Applications in Communications (IWSDA'11), Guilin, China, 10-14 Oct. 2011.
- [9] Qinghua Shi, "Novel approximation for the Gaussian Q-function and related applications," The 22nd Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2011), Toronto, Canada, 11-14 Sept. 2011.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石 慶華 (Shi Qinghua)

電気通信大学・先端領域教育研究センター

・特任助教

研究者番号：80503416