

令和 2 年 7 月 10 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01735

研究課題名(和文)高精度チャネル推定を用いたマルチユーザMIMOシステムのユーザ間干渉除去

研究課題名(英文) Inter-User-Interference Cancel for Multi-User MIMO Wireless System Using High Precision Channel Estimation

研究代表者

尾知 博(Ochi, Hiroshi)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授

研究者番号：50185617

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 7,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、端末の稠密環境下における無線ネットワークの接続性改善である。まず、ダウンリンクマルチユーザシステムにおいて、複数台端末にユーザ間干渉が生じている場合、効率的な Overloaded MIMO干渉除去手法およびその送信側プリコードを提案し、有効性を計算機シミュレーションで確認した。また、その応用としてスケーラブルなMPEG4高精細動画伝送に応用し、同じ送信電力で、一般のMIMO無線システムと比較して、通信距離が約1.4倍延びる高画質な無線動画伝送が実現できる事を確認した。最後に、上記のアルゴリズムのLSI化設計を実施して、論理検証まで実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、端末の稠密環境下における無線ネットワークの接続性改善に関する内容である。具体的には、マルチユーザMIMO無線システムにおける高精度チャネル推定機能を備えたユーザ間干渉の効率的な除去アルゴリズムの開発と、そのLSI化設計まで実施した。学術的な特色は、これらの研究成果をIEEE802.11無線LAN国際標準化委員会に提案を行い、日本の技術のグローバルスタンダード化に寄与できたことにある。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to improve the connectivity of wireless networks under the dense environment of terminals.

First, in a downlink multi-user system, we proposed an efficient Overloaded MIMO interference cancellation method and its transmission-side precoder when inter-user interference occurs on multiple terminals, and confirmed the effectiveness by computer simulation. In addition, as its application, it was applied to scalable MPEG4 high-definition video transmission, and with the same transmission power, high-quality wireless video transmission with a communication distance extended by about 1.4 times compared to general MIMO wireless systems was realized.

Finally, the LSI design of the above algorithm was implemented, and even the logic verification was performed.

研究分野：デジタル通信方式

キーワード：MIMO Multi User Inter-User-Interference Wireless system dense area

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

動画配信など移動体通信の爆発的なトラフィックの増加に伴い、端末の稠密環境下における無線ネットワークの接続性改善が必要とされている。

2. 研究の目的

そこで、本研究では、ダウンリンクマルチユーザシステムにおいて、複数台端末にユーザ間干渉が生じている場合、効率的に干渉除去する新しい干渉除去手法を提案し、その有効性を計算機シミュレーションで確認する。また、その LSI 化設計まで実施する。

学術的な特色は、これらの研究成果を IEEE802.11 無線 LAN 国際標準化委員会に提案を行い、日本の技術のグローバルスタンダード化に寄与できることにある。

3. 研究の方法

具体的には、マルチユーザ MIMO 無線システムにおける高精度チャネル推定機能を備えたユーザ間干渉の効率的な除去アルゴリズムの開発と、その LSI 化設計まで実施する。ダウンリンクマルチユーザシステムにおいて、複数台端末にユーザ間干渉が生じている場合、干渉ユーザの変調方式を受信プリアンプから最尤推定し、効率的に干渉除去する新しい Interference-Aware 手法をまず提案する。

次に、上記で提案したマルチユーザ MIMO 無線システムに対して、実際にハードウェア設計を行い、論理検証を実施し、その有効性を確認する。

4. 研究成果

4.1 Overloaded MIMO 干渉除去手法

まず、ダウンリンクマルチユーザシステムにおいて、複数台端末にユーザ間干渉が生じている場合、効率的な Overloaded MIMO (以下、過負荷 MIMO) における干渉除去手法およびその送信側プリコーダを提案し、有効性を計算機シミュレーションで確認する。また、その応用としてスケラブルな MPEG4 高精細画像伝送に応用し、同じ送信電力で、一般の MIMO 無線システムと比較して、通信距離が約 1.4 倍延びる高画質な無線動画伝送が実現できる事を確認した。

(1) アーキテクチャ

図 1 に提案する過負荷 MIMO の送信受信アーキテクチャを示す。

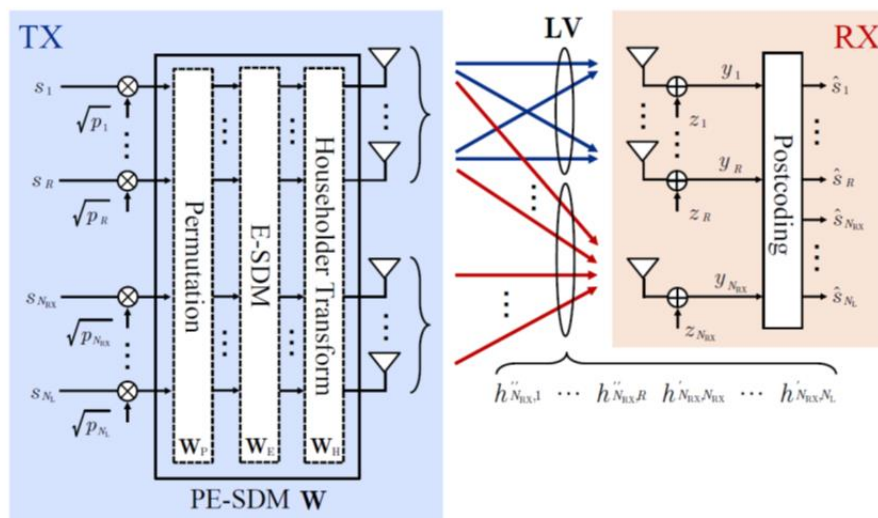


図 1 提案 Overloaded MIMO システムの送信受信アーキテクチャ

(2) 干渉キャンセル手法

過負荷 MIMO においては、ストリーム信号の分離のためのプリコーダ用重み行列 \mathbf{W} として通常の固有ビーム伝送を直接適用できない。理由は、1 ストリームにつき受信アンテナ数が送信アンテナ数より少ないからである。そこで、チャネル行列のすべての固有値を使わず部分的に使用する Partial Eigen-Value Space Division Multiplexing (PE-SDM) を提案する。ハウスホルダー変換と特異値分解を利用するが、詳細は、発表論文を参照されたい。

一方、受信側の干渉除去手法として、提案するポストコーディング手法では、固有ビーム伝送された R 個のシンボルに対して線形分離を適用し、推定したシンボルを逐次干渉キャンセルにより受信信号から減算する。その後、残りのシンボルには非線形分離を適用する。

(3) 高精細画像伝送への応用結果

本稿では、上で述べた過負荷 MIMO を JPEG2000 高精細画像伝送への応用した結果を述べる。無線システムの仕様は、IEEE802.11ac 無線 LAN であり、4 ストリーム伝送とする。

結果の SNR 対 PSNR (画質評価指標) を図 2 に示す。4 本の受信アンテナで受信する通常の E-SDM、ストリーム毎に誤り訂正の仕様を制御し受信画質を最大化する UEP (Unequal Error

Protection) 手法, および提案の PE-SDM である。MLD は最尤推定干渉キャンセル、PVC および RCP は詳細な説明は省略するが上で述べた提案ポストコーディング手法およびその演算量削減アルゴリズムである。このように、受信アンテナ数が3本に関わらず提案の PE-SDM の性能が、理想的な4本の E-SDM (MLD) に3dB 程度の劣化だけで、従来の UEP 法より大幅に改善しており、その有効性がわかる。

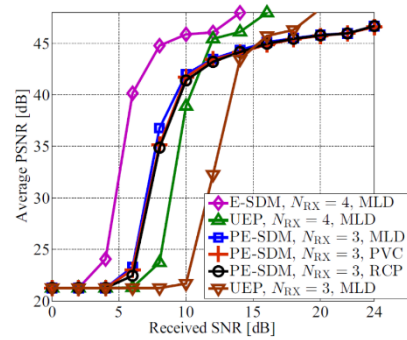


図2 SNR 対 PSNR

4. 2 ハードウェア設計

(1) 目的と設計仕様

4. 1 節で提案した Overloaded MIMO 干渉除去手法アルゴリズムの実装のため、以下の表 1 に示す、IEEE802.11ac 国際規格に準拠した無線 LAN の物理層の RTL 設計を実施した。ただし、4 ストリームとした。

表 1 設計仕様および設計ツール

Hardware platform	Zynq-7000 + ADRV9371
Development tools	Matlab 2014b + Symphony Model Compiler
Based model	IEEE 802.11ac
FEC	Convolutional encoding (coding rate = $\frac{1}{2}$)
Subcarrier modulation	4QAM
Number of symbols per 1 OFDM symbol	256 + 64 symbols
Precoding	E-SDM
Number of spatial stream	4
Channel bandwidth	80 MHz
PHY data rate	468 Mbps

(2) アーキテクチャ

送受信のアーキテクチャを図 3 に示す。

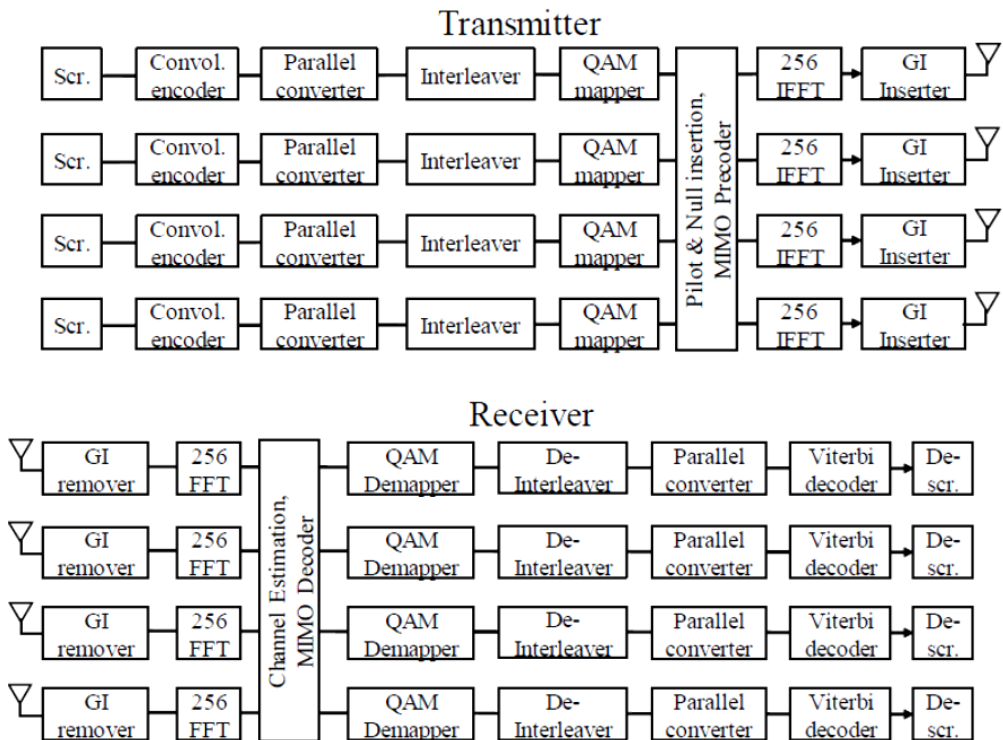


図3 送受信アーキテクチャ

(3) 論理検証結果

設計した RTL に対し、QPSK 変調に対する論理検証をした結果を以下に示す。チャンネルモデルは、無線 LAN で使用される 11n チャンネルモデルである。

このように、SNR の低いストリーム 3、4 では多少の信号点の劣化が見られるが、十分に復号できるレベルであり、回路の動作確認ができています。

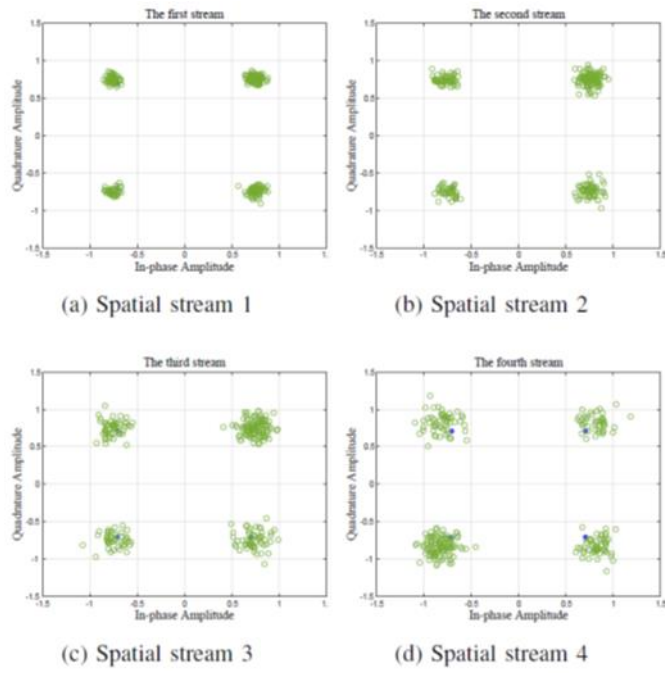


図 4 論理検証による信号点配置 (QPSK)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Koji Tashiro, Leonardo Lanante, Masayuki Kurosaki, Hiroshi Ochi	4. 巻 11
2. 論文標題 Joint transmission and coding scheme for high-resolution video streams over multiuser MIMO-OFDM systems	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEICE Trans. Fundamentals, vol.E100-A	6. 最初と最後の頁 2304--2313
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.1587/transfun.E100.A.2304	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Koji Tashiro, Masayuki Kurosaki, and Hiroshi Ochi	4. 巻 vol.E102-A, no.12
2. 論文標題 Precoder and Postcoder Design for Wireless Video Streaming with Overloaded Multiuser MIMO-OFDM Systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Trans. Fundamentals,, pp.1825-1833, Dec. 2019	6. 最初と最後の頁 1825-1833
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.1587/transfun.E102.A.1825	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Koji Tashiro, Masayuki Kurosaki, Hiroshi Ochi
2. 発表標題 Greedy Power Allocation for Wireless Video Streaming with Overloaded MIMO Systems
3. 学会等名 2018 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS), WA2A-4 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田代晃司, 黒崎正行, 尾知博
2. 発表標題 重畳符号化を用いたMIMOシステムによる無線動画画像伝送
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会、A15 - 6
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉川祐太, 田代晃司, 黒崎正行, 尾知博
2. 発表標題 過負荷マルチユーザMIMOシステムにおける動画像伝送の高画質化のための一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koji Tashiro, Leonardo Lanante, Masayuki Kurosaki and Hiroshi Ochi
2. 発表標題 Precoding and postcoding schemes for wireless video transmission in overloaded MIMO systems
3. 学会等名 Proc. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kiyosuke Kubo, Yuta Yoshikawa, Koji Tashiro, Leonardo Lanante, Masayuki Kurosaki, and Hiroshi Ochi
2. 発表標題 Hardware Design of Transmitter and Receiver for High Quality Video Transmission
3. 学会等名 The 2020 International Electrical Engineering Congress (iEECON 2020), Chiang Mai, Thailand, Mar. 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

http://dsp.cse.kyutech.ac.jp/index.html
