

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：32678

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820148

研究課題名(和文)大規模MIMO伝送のためのオーバーヘッド削減方式の研究

研究課題名(英文)Overhead Reduction Methods for Massive MIMO Transmission

研究代表者

佐藤 正知(SATO, TADATOMO)

東京都市大学・工学部・講師

研究者番号：50453949

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,300,000円

研究成果の概要(和文)：無線機に搭載するアンテナ数が送受信機共に100素子以上を超える大規模MIMO伝送において、さらなるアンテナの集積度を高めるために必須と考えられるオーバーヘッド(通信路推定に使われる参照信号や制御情報等のデータ伝送に用いない部分)を削減する研究を行った。基礎的な検討を幅広く実施し、今後の研究活動の基盤となる数値データ等を明らかにした。また、オーバーヘッドの削減に伴って生じる劣化や干渉に強い変調法や符号化法などの誤り訂正技術についても検討を行い、干渉の多い環境で効率良く伝送できる符号化変調方式や繰り返し干渉キャンセラを用いる際に適した誤り訂正符号について明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In massive MIMO transmission, the transmitter and receiver have 100 or more antenna elements. To further increase the degree of integration of the antenna, reduction of overhead is considered to be essential. In this research, I researched a few overhead reduction methods. Moreover, I studied modulation and error control technique to reduce the effect of interference and error occurred by overhead reduction. In this research, basic studies have been performed widely, have revealed the numerical data useful for the future works. In addition, I also examined the error correction techniques, such as modulation and coding methods which are resistant to error and interference caused by reducing the overhead. Then, this study revealed a coded modulation scheme that can be efficiently transmitted at high-interference environments and error-correcting codes that are suitable for iterative interference canceller.

研究分野：無線通信工学

キーワード：大規模MIMO伝送 オーバーヘッド削減

1. 研究開始当初の背景

MIMO(Multiple-Input Multiple-Output)伝送は、送受信機の双方に複数のアンテナを搭載し、無線通信を行うシステムのことで、送信機では同一周波数、同一時刻に信号を送信し、受信機では空間的にビームフォーミングすることで高速かつ大容量の信号伝送を実現する伝送技術である。近年、次世代の携帯電話や無線LANなどをはじめとする無線機器利用者のさらなる増加が予想されており、近い将来においてトラヒック不足が問題となっている。このトラヒックの急増に備える手段の一つとして、MIMO 伝送の送受信アンテナ数を 100 素子規模に拡大する大規模 MIMO 伝送が注目を集めている。

2. 研究の目的

無線通信のトラヒック量は今後 10 年にわたって年率 2 倍で増加することが予測されており、この膨大な情報の伝送を可能にするための要素技術の一つとして、大規模 MIMO 伝送技術が注目を集めている。しかし、MIMO 伝送では送受信アンテナ数の増加に伴い、大容量のデータ伝送に必要な参照信号やフィードバック情報量(オーバーヘッド)の増大に起因して、最大伝送速度の向上が鈍化してしまう問題があり、アンテナのさらなる集積化を妨げる要因となっている。本研究では、より大規模な集積化 MIMO システムの実現を目指し、オーバーヘッド量の削減を通じて最大伝送速度を向上させる手法について検討を行う。

3. 研究の方法

(1) オーバーヘッド量が最大伝送速度に与える影響の調査：最先端の MIMO 伝送システムの下り回線の参照シンボル配置を参考に、大規模 MIMO 化の際に新たに参照シンボルとして使用するリソースを適切に設定し、リソース割り当ての面から理論的に最大伝送速度と送信アンテナ数の関係を調べる。

(2) 大規模 MIMO 伝送に求められる通信路推定精度の調査：データ復調に求められる通信路推定精度に注目し、MIMO 伝送において通信路推定誤差やフィードバック遅延量が誤り率特性などの特性に与える影響を評価する。

(3) 所要の通信路推定精度を得るために必要な参照信号の構成の検討：上記(1)、(2)の結果を用い大規模 MIMO における実行的な最大伝送速度を明らかにする。

(4) 空間領域における通信路推定地の補間精度と参照信号削減の評価：前述の事前検討の結果を受けて、空間領域における通信路推定地の補間に関する検討を行う。

(5) 判定帰還データ利用した繰り返し通信路推定法による参照信号削減法の評価：伝搬

路に相関が無い場合でも、誤り訂正符号の適用によって参照シンボルを省略した送信アンテナやストリームの送信データの軟判定値を取得できる。そこで、複合語に得られる判定帰還データを用いた通信路推定の精度と参照シンボルを削減したストリームの伝送特性を評価する。

(6) 2 つのオーバーヘッド削減方式の統合システムの構築と評価：これまでに検討した 2 つの参照シンボル削減法を統合したシステムを設計し評価する。特に、送信機にフィードバックする情報量と発生する遅延量を考慮した検討を行う。

(7) 通信路推定誤差に耐性のある変調方式及び誤り訂正符号化法の検討：オーバーヘッドを削減した大規模 MIMO 伝送では推定誤差やそれに伴って発生するストリーム間干渉が増加すると考えられる。そこでそれらの影響に強い変調方式及び誤り訂正符号化法の検討を行う。

4. 研究成果

(1) オーバーヘッド削減方式について：平成 26 年度は、前半に本課題の予備検討に相当するオーバーヘッド量が最大伝送速度に与える影響の調査、大規模 MIMO 伝送に求められる通信路推定精度の調査、所要の通信路推定精度を得るために必要な参照信号の構成の検討について網羅的に特性評価を行った。年度後半より、検討する二つのオーバーヘッド削減方式のうち、空間領域における通信路推定値の補間精度の評価と伝送特性について検討した。一般的な MIMO 伝送ではすべての送信アンテナから参照信号を送信するが、検討するオーバーヘッド削減方式では、すべての送信アンテナから参照信号を送信せず、一定間隔ごとに参照信号を送信するアンテナを選択する。参照信号を送らない送信アンテナの通信路推定値は、参照信号を送信するアンテナで推定した通信路応答値から補間して得る。本削減方式の結果として、送信アンテナ間距離が狭い場合や送出角や到来角の角度拡がり小さい通信路環境などの有相関が強い環境では補間精度が高く、オーバーヘッド量の削減率も大きく設定できる。しかし、通信路の相関が強い環境であるため送受信機間の通信路容量の値が大きくなり、大規模 MIMO 伝送の目的である高速伝送が達成しにくい環境になっていることが分かった。また、通信路の相関の低い環境では通信路推定値の補間によって得る参照信号未送信のアンテナの通信路推定値の精度が低く、参照信号の挿入率(全送信アンテナ数に対する参照信号を送信する送信アンテナ数の割合)を十分に低減することができないことが分かった。そこで、本方式だけでのオーバーヘッド低減効果が低いということから、二つ目のオーバーヘッド削減方式を前倒して検討し、

27年度は二つのオーバーヘッド削減方式の統合システムの評価を行った。二つ目の削減方式は誤り訂正符号化技術を用い、復号結果を帰還させて参照信号として取り扱うことで、参照信号を送信していない送信アンテナでも通信路推定が可能となる方式である。計算機シミュレーションにより評価した結果、確率伝搬アルゴリズムに基づく信号検出を用い、変調方式が QPSK 変調、送受信アンテナ素子数が 100 素子の場合において、20 素子の送信アンテナが参照信号を送信しない場合では、誤り訂正符号の符号化ブロックサイズが十分に長く、通信路推定の繰り返し回数を 8 回と設定したときに通信路既知の理想環境に比べてビット誤り率 0.001 を達成する所要平均信号対雑音電力比を 0.6dB の劣化に抑えることができた。本結果の詳細は[学会発表] に記載されている。

(2) 通信路推定誤差に耐性のある変調方式及び誤り訂正符号化法の検討：本検討については、アンテナ間干渉の大きい大規模 MIMO 伝送に導入する前に、干渉量を簡単に調整できる非直交周波数分割多重伝送を対象に検討を行った。具体的には変調時の変調方式の各信号点にどのビットラベルを割り当てるか(ビットラベリング)と誤り訂正符号の組み合わせを最適化する手法について主に検討を行った。この中で、[雑誌論文] では、干渉の影響を低減する符号化変調方式を提案し、サブキャリア間隔の圧縮率が高い時に利得を得ることを明らかにした。この結果を大規模 MIMO 伝送に応用すると、全ての送信アンテナから同時に信号を送信するよりも送信するアンテナを一定数間引くことで、最大伝送速度は落ちるものの、ビット誤り率は改善でき、結果として周波数利用効率を高められることが推測できる。また、[学会発表] では、上述のシステムに繰り返し干渉キャンセラを追加することで、さらにサブキャリアの多重数を増加することができることと、干渉キャンセラを用いることを前提にした場合にはターボ符号のような強力な誤り訂正符号よりも、畳み込み符号の方が繰り返しによる符号化利得が得られることを明らかにした。この結果より、大規模 MIMO 伝送においてもアンテナ間干渉を繰り返しキャンセラで抑圧する場合には、適した誤り訂正符号を検討する必要があることが分かる。

(3) 二年間の研究を通じて、本研究課題の目的であった大規模 MIMO 伝送のためのオーバーヘッド量の削減について基礎的な検討を幅広くおこない、今後の研究活動の基盤となる数値データ等を明らかにできた。今後の展望としては、上記(1),(2)の各検討結果を統合したシステムの構成の研究を行い、オーバーヘッド量の削減率をどれだけ高めることができるか検討を進めることが考えられる。

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)

富岡 涼、中村 正祐、佐藤 正知、拡張マッピングを適用した空間変調のビットラベル最適化法、電子情報通信学会論文誌、査読有、Vol.J99-B、2016、pp.26-29、http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j99-b_1_26

木村 優馬、佐藤 正知、MU-MIMO 下り回線における一般化不完全ブロック対角化法のための重みベクトル算出法、電子情報通信学会論文誌、査読有、Vol.J98-B、2015、pp.1298-1301、http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j98-b_12_1298

畠山 恵補、中村 正祐、佐藤 正知、非直交周波数分割多重伝送のための ICI の影響を低減する符号化変調法、電子情報通信学会論文誌、査読有、Vol.J98-B、2015、pp.691-694、http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j98-a_12_691

西野 誠司、佐藤 正知、MU-MIMO 下り回線における信号部分空間に基づくユーザ間直交化プリコーディング法、電子情報通信学会論文誌、査読有、Vol.J97-B、2014、pp.1243-1247、http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j97-b_12_1243

中村 正祐、佐藤 正知、有相関通信路における BICSM-ID のためのビットラベル最適化法、電子情報通信学会論文誌、査読有、Vol.J97-B、2014、pp.1122-1125、http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j97-b_11_1122

[学会発表](計6件)

Hiroto Sugata, Tadatomo Sato, Performance Evaluations of Iterative Decoding Methods for Enhanced Coded SIM-OFDM, 2016 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, 2016/3/6~9, Honolulu(USA)

Kengo Otsuka, Tadatomo Sato, Performance Evaluations of Error-Correcting Codes for NOFDM Transmission with Successive Interference Canceller, 2016 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, 2016/3/6 ~ 9, Honolulu(USA)

藤木 優、佐藤 正知、大規模 MIMO 伝送における参照信号削減に関する一検討、電子情報通信学会ワイドバンドシステム研究会、2015/5/28 ~ 29、東京都市大学（東京都・世田谷区）

Keisuke Hatakeyama, Tadatomo Sato,
An ICI Reduced Modulation for
Non-Orthogonal Frequency Division
Multiplexing, 2015 RISP International
Workshop on Nonlinear Circuits,
Communications and Signal Processing,
2015/2/27 ~ 3/2, Kuala Lumpur (Malaysia)

Ryo Tomioka, Tadatomo Sato, Comparisons
of Extended Mapping Patterns for
BICM-ID with Spatial Modulation, 2015
RISP International Workshop on
Nonlinear Circuits, Communications and
Signal Processing, 2015/2/27 ~ 3/2,
Kuala Lumpur (Malaysia)

Yuma Kimura, Tadatomo Sato,
Weight Convergence Algorithm for
Inter-User Interference Cancellation
Precoding Method in MU-MIMO Downlink,
2015 RISP International Workshop on
Nonlinear Circuits, Communications and
Signal Processing, 2015/2/27 ~ 3/2,
Kuala Lumpur (Malaysia)

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 正知 (SATO, Tadatomo)
東京都市大学・知識工学部・講師
研究者番号：5 0 4 5 3 9 4 9