

オーバーヘッドレス通信を実現するアナログ・デジタル融合制御型

Massive MIMO 技術の研究開発 (165004002)

Research and development of massive MIMO technologies by analog-digital hybrid control realizing over-headless communications

研究代表者

西森健太郎 新潟大学

Kentaro Nishimori, Niigata University

研究分担者

廣川二郎[†] 平栗健史^{††} 関智弘^{†††} 山田寛喜^{††††}

Jiro Hirokawa[†] Takefuku Hiraguri^{††} Tomohiro Seki^{†††} Hiroyoshi Yamada^{††††}

[†]東京工業大学 ^{††}日本工業大学 ^{†††}日本大学 ^{††††}新潟大学

[†]Tokyo Institute of Technology ^{††}Nippon Institute of Technology

^{†††}Nihon University ^{††††}Niigata University

研究期間 平成 28 年度～平成 29 年度

概要

端末数が増大する次世代の無線通信において、多ユーザ収容能力を有する Massive MIMO を実現するために、伝搬チャネル応答推定情報(CSI)の基地局へのフィードバックの削減に取り組んだ。CSI 推定そのものを不要とする「オーバーヘッドレスアクセス制御法」により、90%以上の伝送効率の実現を目指した。バトラーマトリックスを用いた 8x8 の 2 次元 64 ビーム形成回路を試作し、20dBi の利得を有する性能を得た。Robust ICA のよる CSI 推定不要な信号処理方法を確認し、これらを実証可能な 19GHz 帯 MIMO 送受信装置を開発し、屋外環境でその効果を示した。オーバーヘッドレスアクセス制御を用いた 4 ユーザ、64 素子アナログ・デジタル融合型 Massive MIMO 伝送により、スループットを物理層の限界伝送レート 400Mbps に対し 90%以上の伝送効率を実現するとともに、動画において提案システムの効果を検証する物理層と MAC 層を統合するデモシステムを開発した。

1. まえがき

次世代無線通信において端末数が増大する環境で、多ユーザ収容能力を有する無線基地局実現手法として有望な技術が Massive MIMO である。その実現のカギは、伝搬チャネル応答推定情報(Channel State Information、以下 CSI)の基地局へのフィードバックの削減である。しかし、CSI フィードバックなしのインプリシットビームフォーミングを実現しても、8 素子 4 ユーザの MIMO システムで、伝送効率は高々 54%程度であり、更なる伝送効率の改善が必要である。提案する研究開発では、CSI 推定そのものを不要とする『オーバーヘッドレスアクセス制御法』を提案することを目的とした。4 ユーザ、64 素子アナログ・デジタル融合型 Massive MIMO 伝送により、スループットを物理層の限界伝送レート 400Mbps に対し、90%以上を実現することを目的として検討を進めた。

2. 研究開発内容及び成果

具体的な成果として、バトラーマトリックスを用いた 8x8 の 2 次元 64 ビーム形成回路を試作し、20dBi の利得を有する性能を得た。Robust ICA のよる CSI 推定不要な信号処理方法を確認し、これらを実証可能な 19GHz 帯 MIMO 送受信装置を開発し、屋外環境でその効果を示した。オーバーヘッドレスアクセス制御を用いた 4 ユーザ、64 素子アナログ・デジタル融合型 Massive MIMO 伝送により、スループットを物理層の限界伝送レート 400Mbps に対し 90%以上の伝送効率を実現するとともに、動画において提案システムの効果を検証する物理層と MAC 層を統合するデモシステムを開発した。以下、主な成果について述べる。

(1) 64 ビーム Massive MIMO 送受信装置の開発

H28 年度では、初期検討として 16 ビームを、H29 年度では 16 ビームから 64 ビームにビーム数を増やした送受信装置を試作した。図 1 には、19.55GHz 帯の装置構成を示している。まず送信側では、PC で作成したベースバンドの IFFT 後の OFDM 信号を D/A 変換、直交変調、周波数変換を行い、2.425GHz の周波数に変換する。次にこの信号を 19.55GHz に変換し、電力増幅ののち、アンテナより送信する。

受信側では、図 2 に示す 64 ポートのマルチビーム回路を使用し、64 ポートのデータを効率よく取得するため、8:1 スイッチで同時に 8 ポートのデータを取得する構成となっているが、比較のため、実際の装置では 16 から任意の 4 個を選択できる構成となっている。スイッチ切り替えは PC により制御される。また、ソフトウェアスイッチ切り替えで受信されるデータは、19.55GHz から 2.425GHz に変換する。受信側でも L.O.1 を変更すれば、5GHz 帯の評価が可能となる。A/D 変換ののち PC にデータが転送される構成となっている。また、H29 年度では、H28 年度に提案した、リアルタイムでビーム選択を行うことを目的とした振幅のみの情報でビーム選択を実現する振幅検出器を試作した。本装置により提案システムの効果を検証することが可能であり、本装置を用いた最終の総合試験は 5 月～6 月に今後実施する予定である。

(2) 64 アナログマルチビーム回路の実現に向けた検討

H28 年度では、初期検討として 4x4 分岐 2 次元 16 アナログビーム形成回路の試作を行い所望の特性を得た。さらに、平成 29 年度の 8x8 分岐 2 次元 64 アナログビーム形成回路を試作した。大きさは 86mm×74mm×396mm となった。64 ビームにより半球の 39.5%の領域をカバーしてい

る。利得は 20dBi 程度各ビームで得られ、実測と計算の比較では指向性とともにより一致を得た。

(3)オーバーヘッドレスアクセス制御を実装したデモシステムの開発

オーバーヘッドレスアクセス制御によるマルチビーム Massive MIMO 伝送は、物理層と MAC 層を総合的に最適化したシステムである。このシステムをアプリケーションレベルまで含めて厳密に評価するためには、物理層と MAC 層の連携ツールの開発が不可欠である。H28 年度ではこの基本概念を提案し、基本性能を実装したソフトウェアを開発した。H29 年度は動画を伝送できるデモシステムを開発した。図 2 にデモシステムの概観を示す。本システムでは、4 ユーザの MU-MIMO 伝送の評価結果を示しており、図の左側は CSI フィードバックありの場合の動画伝送の評価結果、右側はオーバーヘッドレスアクセス制御を適用した画像伝送の評価結果を示している。CSI フィードバックありの場合、遅延が発生することが起因して、画像が復号できていない。一方、提案システムでは CSI 推定を排除することで大幅に通信効率を改善する。本システムにより提案システムを実装したスループット評価が実現でき、目標である 400Mbps の 90%以上の伝送効率を達成することができた。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

提案システムは CSI 推定を不要にすることから 90%以上の通信効率を得ることができ、また、個々の要素技術（マルチビーム回路、信号処理法、アクセス制御法）の各技術を確認することができた。また、個々の成果は学会発表や論文として成果が結実しつつある。今後は、試作したすべてのハードウェアとソフトウェアを統合した総合試験を行う予定である。

Massive MIMO は第 5 世代移動通信システムの主要技術であるが、一般に提案されている方法では、制御信号を得るためのオーバーヘッドが大きく実運用のための課題も多い。マルチビーム Massive MIMO が実際のシステムに導入されれば、非常に高い通信効率を得ることからそのインパクトは非常に大きい。今後は屋内外の提案システムの最終結果に学会や論文投稿により本技術を実際のシステムに導入するための働きかけを進めていく予定である。また、国際会議のオーガナイズドセッション (ISAP2018) を行う予定となっており、各種展示会等(直近ではワイヤレステクノロジーパーク)を通じて本技術の市場導入に向けた技術提案を行っていく予定である。

4. むすび

オーバーヘッドレスアクセス制御を用いた 4 ユーザ、64 素子アナログ・デジタル融合型 Massive MIMO 伝送により、スループットを物理層の限界伝送レート 400Mbps に対し 90%以上の伝送効率を実現するとともに、動画において提案システムの効果を検証する物理層と MAC 層を統合するデモシステムを開発した。

【誌上発表リスト】

- [1] R. Taniguchi, K. Nishimori, and H. Makino, "Multi-beam massive MIMO using constant modulus algorithm for QAM signals employing amplitude and phase offset compensation", IEICE Trans. Commun. Vol.E100-B, No. 2, (2017 年 2 月).

- [2] K. Nishimori, T. Hiraguri, T. Mitsui and H. Yamada, "Effectiveness of Implicit Beamforming with Large Number of Antennas Using Calibration Technique in Multi-User MIMO System", Electronics 2017, 6(4), 91; doi:10.3390/electronics6040091, (2017 年 11 月).
- [3] F. Muramatsu, K. Nishimori, R. Taniguchi and T. Hiraguri, "Multi-Beam Massive MIMO with Beam-Selection Using Only Amplitude Information in Uplink Channel", IEICE Trans. Commun. Vol.E101-B, No. 7, pp.1544-1551, (2018 年 7 月).

【受賞リスト】

- [1] 谷口諒太郎、電子情報通信学会 アンテナ・伝播研究会 2016 年度下期 学生奨励賞、2017 年 6 月
- [2] 谷口諒太郎、電子情報通信学会 2017 年度学術奨励賞、2018 年 3 月
- [3] 村松郁也、2017 年度 コミュニケーションクオリティ研究会 学生セッション優秀賞、2017 年 8 月

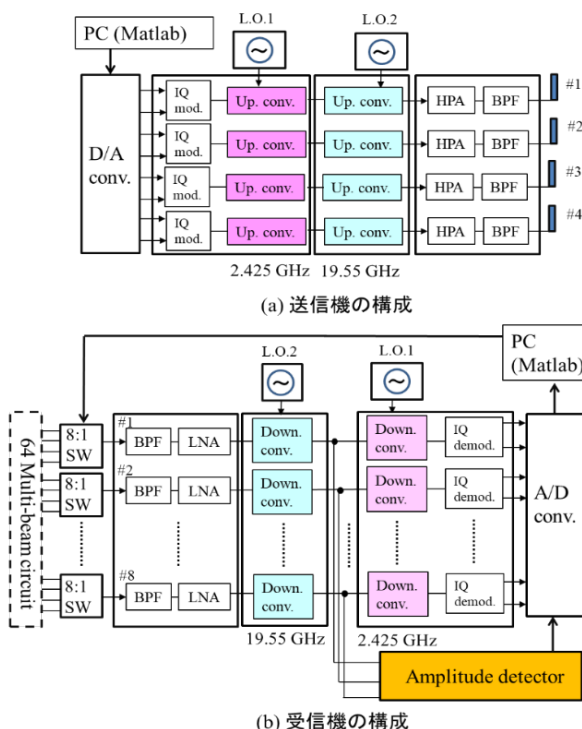


図 1: 試作装置の構成



図 2: デモシステムの概観図