

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420362

研究課題名(和文) 端末の信号処理負荷をフリーにする多素子基地局アレー構成法の研究

研究課題名(英文) Research on configuration of very large MIMO eliminating signal processing on terminal stations

研究代表者

西森 健太郎 (Kentaro, Nishimori)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：90500611

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：マルチユーザMIMO (Multiple Input Multiple Output)伝送技術は、高速通信を実現する上でのキー技術となっている。しかし、基地局と端末の両方で信号処理が必要となり、特に端末の消費電力が大きくなるのが問題となる。本研究では、基地局アンテナを多素子化することで、基地局の信号処理の低減および端末側の信号処理負荷をフリーとする多素子基地局アレー(Very Large MIMO)のハードウェア構成法を提案・検討した。本研究では、アンテナ、伝搬、受信装置、システム評価の検討を通じて、Very Large MIMOに適したハードウェア構成とその効果を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Multi-user multiple input multiple output (MU-MIMO) transmission is one of key technologies for enhancing transmission rate. However, there is an issue that power consumption becomes very large at terminal stations because signal processing in MU-MIMO is basically required for both base and terminal stations. In this research, hardware configuration of very large MIMO, where the base station has a large number of antennas and the signal processing at the base station is simplified and that at the terminal stations is eliminated, is proposed and evaluated by computer simulation and measurement. It is shown that the effectiveness of proposed configuration is verified from points of views on antennas, propagation measurement, testbed of transceivers, and system evaluation.

研究分野：空間信号処理

キーワード：Massive MIMO 干渉除去 通信効率 マルチビーム ブラインドアルゴリズム ゼロフォーシング 伝搬測定

1. 研究開始当初の背景

スマートフォンなどの普及により、高速データ通信が移動中でも行えるようになった。最近の無線システムでは、送受信アンテナに複数のアンテナを用い高速伝送を実現するMIMO(Multiple Input Multiple Output)伝送技術が導入されている。さらには、将来の無線通信の規格であるLTE-Advancedなどでは、MIMO技術を複数のユーザに適用可能なマルチユーザMIMO(MU-MIMO)が採用され、検討が進められている。MU-MIMOでは、基地局側の信号処理(指向性制御技術)を適用することで、複数のユーザ間干渉を回避している。しかしながら、基地局側で複雑な信号処理が必要となる。さらに、他ユーザに形成するヌルにより指向性利得が低下する。端末は送信電力を上げる必要があり、端末側での低消費電力化を考えると大きな問題となる。

この問題を解決する手法として、基地局を多素子化する方法(Very Large MIMO)が検討されている。Very Large MIMOでは、アンテナが多素子化することで指向性が狭くなる特徴を利用し、MU-MIMOのような指向性のヌル形成を行うことなく、簡単な指向性の同相合成のみで干渉回避を実現する。また、端末の送信電力は非常に低くなり、スマートフォンなどの小型端末でも低消費電力化を実現することができる。4素子では、同じ通信容量(例: 4.5bits/s/Hz)を達成するのに必要な送信電力は、MU-MIMOに対し15dB程度大きい。100素子ではその差がほとんどないことを確認した。Very Large MIMOのMU-MIMOに対する信号処理量の削減は、素子数を4、100とすると、それぞれ約1/16、1/10000となる。以上より、多素子ではVery Large MIMOが、通信容量と消費電力削減の両方の観点で有効となる。

2. 研究の目的

(1) アンテナ構成法、伝搬特性評価

Very Large MIMOでは、図1に示すようにアンテナ数が多くなるため、アンテナの配置方法、素子間隔、偏波などのパラメータを工夫して、できるだけ小型に構成する必要がある。ここで、小型化と性能低下の間にトレードオフが存在するため、この点を考慮したアンテナ設計を行う。伝搬特性に関しては、指向性が狭い場合を想定した場合の移動通信環境の伝搬データそのものがほぼ存在しないため、狭指向性を考慮したマルチパスやシャドーイングの影響を明らかにする。

(2) ハードウェア構成法: アナログ・デジタル融合制御, 装置特性変動補償法

近年のシステムではデジタルで指向性形成をおこなうDBF(Digital Beam Forming)が主流であるが、素子数が100となると現実的とはいえない。そこで、図1に示すように、たとえば、収容するユーザ数分だけ周波数変換部を設け、アナログ重みづけ

で指向性を形成する方法が考えられる。このように、アナログとデジタルのバランスを最適化した制御方法を検討する。また、装置内で振幅・位相ばらつきが温度変化などにより生じ、これが形成した指向性に影響を与えるため、これを補償する方法について検討を行う。

(3) 実システムを考慮した Very Large MIMO の効果の検証

(1),(2)の技術をもとに、携帯電話システムを中心に Very Large MIMO の効果の検証の検証を行う。検証のためのシミュレーションツールの作成を行う。この際、(1で評価したアンテナパラメータ(指向性、偏波、素子間隔など)や伝搬特性(伝搬損失、シャドーイング、フェージング、相関特性など)をできるだけ厳密にツールに反映させる。作成したツールで、(2)で提案した構成について、実際の実験を反映させた Very Large MIMO の効果を明らかにする。

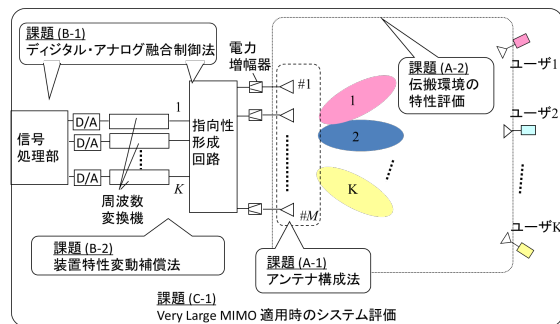


図1: Very Large MIMOを実現するための検討課題

3. 研究の方法

(1) アンテナ構成法、伝搬特性評価

Very Large MIMOでは、多くの素子を限られた筐体の中で配置する必要がある。このため素子配置、素子間隔、偏波などのアンテナパラメータを工夫して、できるだけ小型な基地局構成を考案する。また、アンテナの小型化により、性能の劣化が見込まれるため、図に示すような、建物のスペースなども利用したアンテナ配置方法についても検討する。

Very Large MIMOのような指向性が狭くなる場合の移動通信における伝搬特性および干渉量評価は、伝搬損失の影響以外ではほとんど検討されていない。そこで、本検討では、レイトレースと呼ばれる伝搬解析ツールを使用し、以下の項目について伝搬特性を明らかにする。また、得られた結果を検討(3)に反映させるため、Very Large MIMOに適した伝搬モデルを作成する。

(2) ハードウェア構成法: アナログ・デジタル融合制御, 装置特性変動補償法

近年の無線通信システムではデジタルで指向性形成をおこなうDBF方式が主流であるが、素子数が多くなると消費電力の観点からは不利となる。また、指向性制御が簡単化できるので、アナログによる指向性制御を検討する。そこで、アナログとデジタルのバ

ランスを最適化した、アナログ・デジタル融合型の信号処理方法を提案する。

(3) 実システムを考慮した Very Large MIMO の効果の検証

検討(1)(2)の結果をもとに、携帯電話システムを中心に Very Large MIMO の効果の検証を行う。検証のためのシミュレーションツールの作成を行う。以下の項目について検討を実施し、Very Large MIMO の効果を検証する。

ユーザ数/素子数(基地局・端末)をパラメータとした通信速度および端末消費電力の削減効果

評価(1)で作成したアンテナ構成および伝搬モデルを用い、評価(2)で提案したハードウェア構成を考慮した Very Large MIMO の通信速度の評価を行い、Very Large MIMO で適用可能なユーザ数や必要となる素子数を明らかにするとともに、端末消費電力の削減効果を定量化する。

隣接セルへの干渉量の低減効果によるセル繰り返し削減効果の検討

隣接セルへの干渉量を考慮した場合のセル繰り返し数の削減効果を定量的に明らかにする。

4. 研究成果

(1) 2GHz 帯における Very Large MIMO の基本特性評価とアンテナ選択の効果

ファントムセルと呼ばれるスモールセルに対し、Very Large MIMO を適用する効果を明らかにした。特に信号処理を簡易化する観点から、基地局側受信アンテナをセクタ単位で選択した場合の、干渉除去特性を定量的に評価した。スモールセルを想定する屋外市街地における実伝搬データを用いた評価を行う。円筒アレーを用いる場合、Maximum Ratio Combining (MRC)/ Zero Forcing (ZF)の両方でアンテナ選択の効果があること、十分な干渉除去効果を得るためには ZF を使用することが必要であることを明らかにした。また、Very Large MIMO の基地局アンテナ数と伝送品質の関係を定量的にまとめた(図2)。

(2) Very Large MIMO における通信効率評価方法とその効果

CSI 推定による通信効率低下を低減するた

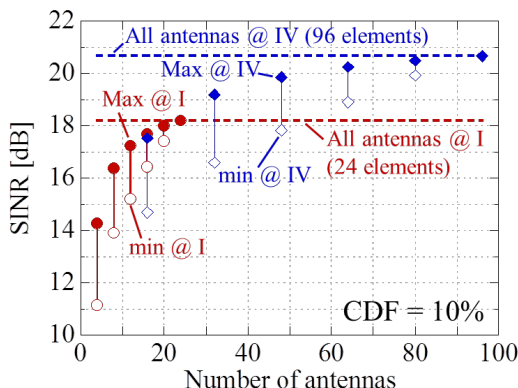


図2: 基地局アンテナ数とSINRの関係 (2GHz, 測定)

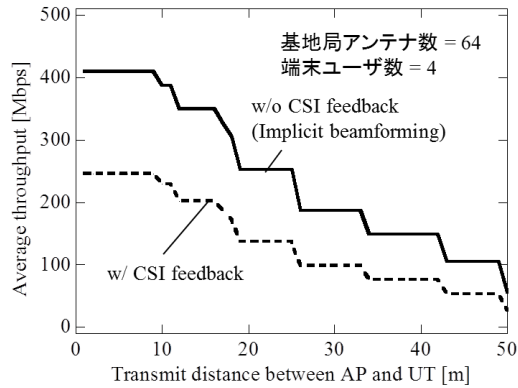


図3: 平均スループット評価 (IEEE802.11ac)

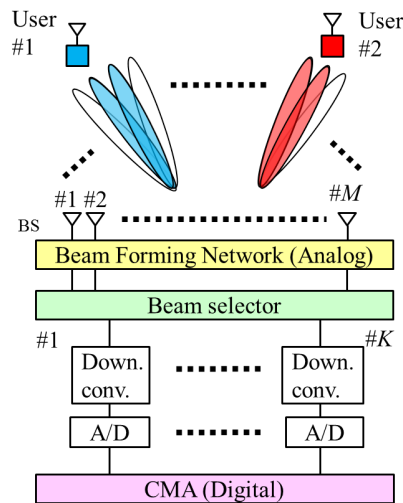


図4: マルチビームMassive MIMOの構成

め、基地局キャリブレーション技術を併用したインプリシットビームフォーミングによる IEEE802.11ac における Massive MIMO の伝送効率を明らかにした。16 素子を用いた MU-MIMO 伝送において、キャリブレーションを行う IBF は、CSI フィードバックを適用する手法に対し 2 倍程度、キャリブレーションを適用しない IBF に対し 1.8 倍程度のスループット特性改善効果を得ることを明らかにした。また、CSI 推定による通信効率低下とその改善法をまとめた MIMO 伝送に関する内容をまとめた。具体的には、IEEE802.11ac における Very Large MIMO の伝送効率を明らかにした。図 3 に示すように、64 素子を用いた MU-MIMO 伝送において、CSI フィードバックを適用する手法に対し 200Mbps 以上スループットを改善することを明らかにした。

(3) アナログ・デジタルハイブリッド構成の提案と実環境での特性評価

MIMO では伝搬チャネル応答(CSI)を推定することが必要となるが、これが通信効率の低下に大きな影響を与える。マルチビーム形成をアナログ回路で構成し、デジタル部では Constant Modulus Algorithm (CMA) を用いることで、端末からの CSI 推定を不要とする

Massive MIMO 構成を提案した (図 4) .また, 計算機シミュレーションにより, 信号の到来角度差が狭い場合でも高い伝送特性を得ることを明らかにした .

(4) 通信効率改善のための端末ビーム形成型指向性制御法の効果

多素子化に有効なマルチユーザ環境での端末アンテナ選択による指向性制御法を提案した .提案法は FFT ビームを端末で形成し, そのビーム番号のみの情報を基地局が知ることで簡易にビーム選択をする手法である .従来のブロック対角化法でユーザ数が多くなる環境で特に提案方法が有効であることを明らかにした .

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 7 件)

木本颯, 西森健太郎, 平栗健史, 牧野秀夫, FFT-based Block Diagonalization at User Terminal for Implicit Beamforming in Multiuser MIMO System, IEICE Transaction Communications, 査読有, Vol.E99-B, No.1, 2016, pp.115-123.

DOI: 10.1587/transcom.2015ISP0019

堅岡良知, 宮澤純平, 西森健太郎, トランゴクハオ, 今井哲朗, 牧野秀夫, マイクロセル実環境におけるアナログ-デジタルハイブリッド型 Massive MIMO の性能評価, 電子情報通信学会論文誌 B, 査読有, Vol.J98-B, No.9, 2015, pp.967-978.

堅岡良知, 西森健太郎, トランゴクハオ, 今井哲朗, 牧野秀夫, Interference reduction characteristics by circular array based massive MIMO in a real microcell environment, IEICE Transaction Communications, 査読有, Vol.E98-B, No.8, 2015, pp.1447-1455.

平栗健史, 西森健太郎, Survey of transmission methods and efficiency using MIMO technologies for wireless LAN systems, IEICE Transaction Communications, 査読有, Vol.E98-B, No.7, 2015, pp.1250-1267.

DOI: 10.1587/transcom.E98.B.1250

西森健太郎, 平栗健史, 牧野秀夫, Transmission Rate by User Antenna Selection for Block Diagonalization Based Multiuser MIMO System, IEICE Transaction Communications, 査読有, Vol.E97-B, No.10, 2014, pp.2118-2126. DOI:10.1587/transcom.E97.B.2118

堅岡良知, 西森健太郎, 平栗健史, 本間尚樹, 平賀健, 関智弘, 牧野秀夫, Analog decoding method for simplified short-range MIMO transmission, IEICE Transaction Communications, 査読有, Vol.E97-B, 2014, pp.620-630.

DOI:10.1587/transcom.E97.B.620

佐々木勲, 西森健太郎, 堅岡良知, 牧野秀夫, Antenna arrangements realizing a unitary

matrix for 4x4 LOS-MIMO system, IEICE Communications Express, 査読有, Vol.2, No.6, 2013, pp.280-286.

DOI:10.1587/comex.2.280

〔学会発表〕(計 6 件)

堅岡良知, 西森健太郎, トランゴクハオ, 今井哲朗, "Basic Performance of Massive MIMO in Indoor Scenario At 20-GHz Band", International Symposium on Antennas & Propagation (ISAP) 2015, 2015 年 11 月 9 日 ~ 12 日, オーストラリア, Wrest Point Hotel .

西森健太郎, 平栗健史, 関智弘, 山田寛喜, Multi-beam Massive MIMO Using Analog Beamforming and DBF Based Blind Algorithm, International Symposium on Antennas & Propagation (ISAP) 2015, 2015 年 11 月 9 日 ~ 12 日, オーストラリア, Wrest Point Hotel .

西森健太郎, 平栗健史, 小川知将, 山田寛喜, "Throughput Performance on IEEE802.11ac Based Massive MIMO Considering Calibration Errors", International Symposium on Antennas & Propagation (ISAP) 2014, 2014 年 12 月 2 日 ~ 5 日, 台湾, 高雄市, Grand Hi-Lai Hotel .

木本颯, 西森健太郎, 平栗健史, 牧野秀夫, Block diagonalization using FFT beams at user terminal for implicit beamforming, 2014 IEEE International Workshop on Electromagnetics, 2014 年 8 月 4 日 ~ 6 日, 北海道, 北海道大学 .

佐々木勲, 西森健太郎, 堅岡良知, 牧野秀夫, Novel Antenna Arrangement for 4x4 LOS-MIMO Aystems, 2013 Asia-Pacific Microwave Conference, 2013 年 11 月 5 日 ~ 8 日, ソウル, 韓国 .

堅岡良知, 西森健太郎, 牧野秀夫, Basic Performance of Very Large MIMO in Small Cell Systems, 2013 IEEE Antennas & Propagation Symposium, 2013 年 7 月 7 日 ~ 13 日, フロリダ, USA .

〔その他〕

ホームページ

<http://nishimorilab.com/>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

西森 健太郎 (KENTARO NISHIMORI)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号 : 90500611