

Massive MIMO に向けた移動端末間連携通信方式の研究

研究代表者

村田英一

京都大学 大学院情報学研究科 准教授

1 研究の背景

セルラーシステムの加入者数が人口を越え、かつそのトラフィックが指数関数的に増大して、システム容量を超えてしまうことが危ぶまれている。そのために、次世代のセルラーシステムである LTE (Long Term Evolution)-A (Advanced)では、現行のセルラーシステムが利用する UHF 帯よりも高い、マイクロ波帯(3 GHz ~30 GHz)、例えば 20 GHz 帯等の利用が検討されている。高周波数帯では電波の減衰が大きくなり伝送距離が短くなるため、これを補償する大規模 MIMO システム(Massive MIMO)が、2020 年に実用化を目指す第 5 世代セルラーシステムへの適用を目指して盛んに検討されている。一方、セルラーシステムのトラフィックを別の通信システムに振り分け、セルラーシステムのトラフィックを軽減するオフロードも上記の問題を緩和するために検討され、一部では利用されている。オフロード用のシステムとして最もよく利用されているのが IEEE 802.11 系の無線 LAN である。ただし、この無線 LAN も近年、爆発的に利用者が増大し、至るところにアクセスポイントが設置されたため、アクセスポイント間の干渉によるスループット劣化が大きな問題となっている。したがって、IEEE 802.11 系の無線 LAN を用いたオフロードには、そう遠くない将来に限界が来ると考えられる。

このように、10 GHz 帯やそれ以上の高い周波数帯を利用した無線システムの検討が盛んに行われている。周波数が高くなると比帯域の関係から、利用できる周波数帯域が広がるため高速伝送を実現し易くなること、そのモチベーションの一つである。ただし、前述のように周波数が高くなると電波の減衰が大きくなるため、伝送距離が短くなる。したがって、利用シーンが無線 kiosk 端末、あるいは家庭内のビデオ伝送等に限られている。

2 研究の目的とアプローチ

2-1 目的

本研究では、伝送距離の短いマイクロ波帯あるいはミリ波帯(30 GHz~300 GHz)の特徴を利用し、この周波数帯を上手く活用することで、UHF 帯の周波数利用効率を数倍にまで向上させ、UHF 帯の電波の有効利用を図ることを目的とする。言い換えると、マイクロ波帯あるいはミリ波帯を利用することで、UHF 帯を数倍有効利用できるのであれば、この高い周波数帯の利用がさらに促進されることが期待できる。

その目的を達成する技術として、本研究では高周波数帯を活用して UHF 帯の混雑を解消する、連携無線通信方式を検討する。原理的に、提案法では複数のユーザ間の干渉を許容しつつ、高品質な通信を可能にする。即ち、基地局からの送信時点においてユーザ間の直交化処理は基本的に不要であり、従来の無線アクセス方式、あるいはマルチユーザ MIMO、従来盛んに検討された CoMP (Coordinated Multi-Point)とは根本的に発想が異なる。提案する通信方式では干渉の発生を許すため、各端末は複数の信号がお互いに干渉したまま受信される。そこで、この信号を復元するために、周辺に存在する複数の端末と連携を行う。例えば、各端末で受信した信号を近傍に存在するある親端末に、高周波数帯の無線システムを利用して伝送する。即ち、この親端末は各端末で受信された信号を全て収集する。この収集のための通信を、高周波数帯の無線システムで行うことが本方式の特徴である。また、本研究開発では、これら端末群を「連携端末」と称する。これにより、親端末は連携端末のアンテナを自らのアンテナとして利用していることと等価になる。即ち、周辺端末のアンテナを仮想的なアンテナと見なせることになる。本提案法では、端末側において仮想的に大規模アンテナシステムが構成できるため、数多くの信号が空間に同時に送出されても信号を高品質に検出できる。したがって、UHF 帯の周波数利用効率が向上し、所要周波数帯域を少なくできる可能性がある。

2-2 アプローチと研究課題

本研究では周辺に存在する無線端末と連携して基地局間の干渉を軽減する連携無線通信方式を検討する。本方式では、周辺に存在する端末群いわゆる連携端末は高周波数帯を利用して、受信信号を親端末に送信する。親端末では干渉補償技術を適用することで、連携端末からの信号を用いて送信信号を復元する。そして、復元された信号を宛先端末に配信する。本方式では、親端末は周辺端末を仮想的なアンテナとして利用できるため、親端末のアンテナ数がたとえ一本であったとしても、高品質に信号の復元が可能になる。

本方式により高品質な通信が可能にはなるが、上記のように連携端末の受信信号を周辺にある親端末に伝送する「信号収集」という、通常の通信にはない処理が必要になる。更には、親端末で検出された信号を情報の宛先となっている端末（宛先端末）に「配信」する必要がある。これら信号収集・配信のための通信が大きなオーバーヘッドとなる懸念がある。このオーバーヘッドは結果的に、通信速度の低下を招き、UHF 帯の周波数利用効率を低下させる可能性がある。そこで、本研究では主にこのオーバーヘッドの低減のために、端末間連携通信方式の研究を行う。ここで、検討するシステム構成について課題を列挙する。

(1) 高周波数帯での信号収集・配信の効率化

検討する方式では、親端末は各端末での受信信号を収集する。一つの端末からの送信する情報量を S 、連携端末の数を N とすると、 NS の信号量の信号を親端末に収集することになる。これら受信信号に含まれるユーザ数を M とすると、親端末で検出された信号 MS を宛先端末に配信する必要がある。基本的に、 S は各連携端末の受信信号の情報を含んでいるため、 NS あるいは MS は膨大な情報量となる。本提案法ではこの信号を収集および配信するために、高速通信が可能な高いマイクロ波帯あるいはミリ波帯の活用を想定する。親端末と連携端末間の通信は情報量が多いものの通信距離は短いため、マイクロ波帯あるいはミリ波帯の通信システムが適している。マイクロ波帯あるいはミリ波帯を活用しようとも情報量自体は変わらないが、伝送速度が高速になれば、通信に必要な時間が短縮され、オーバーヘッドを伝送するための時間は短縮される。これにより等価的に UHF 帯の通信速度の低下を抑圧できる。さらに UHF 帯の通信速度を向上させ周波数利用効率を向上させるため、収集する信号量あるいは配信の信号量を削減することが重要である。

(2) 連携端末の適応的な選択

周囲に存在する複数の端末から、最も通信に都合の良い端末を選択する問題はマルチユーザ MIMO (Multiple Input Multiple Output) におけるユーザ選択アルゴリズムとして盛んに研究されてきた。マルチユーザ MIMO では、基地局あるいはアクセスポイントと端末間の伝送路だけが扱われ、通信路容量やフェアネス、BER 基準、直交度基準など様々な尺度に基づく端末選択アルゴリズムが研究されてきた。しかし、これらは伝搬路の状況 (Channel State Information, CSI) を基地局側が知った後に行うものであり、この CSI が少なくとも 1 パケット時間分古いものとなることは避けられず、端末が移動する環境に脆弱であった。

一方、検討する方式では端末間の連携によってユーザグループ全体としての信号受信能力を高め周波数利用効率を改善させる。このため、ユーザ選択とは、実際に基地局からの信号を受信した連携端末のうち、どの受信信号を利用するかという問題となる。したがって、CSI は受信信号から取得でき、1 パケット時間分古いものとなる問題は生じない。多数存在する周辺端末の位置と処理能力等の状況および連携用無線チャネルの状況に応じて適切な連携端末を瞬時に選択することによって高い伝送特性を実現する連携端末選択方式が重要となる。

(3) 分散信号処理

連携端末群内の端末のうち、実際に基地局からの情報を受信したい端末（宛先端末）が複数存在する場合、これまで述べた親端末として機能する端末が複数となるため、宛先端末間において可能であれば役割を分担することが効率的となる。このように、特有の研究課題として、連携端末間における分散処理に相応しい形態の解明が挙げられる。

干渉補償を行う受信信号処理方式としては、主に線形信号処理によるものと、非線形信号処理によるものがある。線形信号処理は一般に計算負荷が軽いため、宛先端末で独立に信号処理を行うことがオーバーヘッド削減に有効であると考えられる。一方、非線形信号処理による干渉補償では通常は干渉信号についても復号を行うことになり計算負荷が大きい。このため、一台の端末においてのみ受信信号処理を行い、干渉として

復号された情報のうち宛先端末宛ての情報を配信することが効率的である。このような場合、その計算負荷を引き受ける端末の選択方式や、処理の一部を肩代わりさせる、線形信号処理を併用するなど、様々な処理分担が考えられる。このように、受信信号処理の端末間への分散の可能性は重要な検討項目となる。

(4) 収集・配信プロトコルの効率化・低消費電力化

検討する方式では、高周波数帯において、親端末が連携端末の受信信号を収集し、親端末でそれらの信号を復元した後、宛先端末へ復元信号を配信する。これらの処理を UHF 帯における基地局から送信されるパケット時間内に収めることにより、UHF 帯における通信速度低下を防ぐ。そのため、情報収集・配信用のメディアアクセス制御 (Medium Access Control, MAC) プロトコルにおけるオーバヘッドの削減は重要な課題である。基地局からの同期情報の提供のもと、親端末が情報収集パケット及び配信パケットの送信をスケジューリングする。スケジューリングを適切に行うことで、ランダムアクセスのようなパケット衝突及びバックオフ時間を回避でき、大幅なオーバヘッドの削減が得られる。また、親端末が複数の場合、連携端末からの情報収集はマルチキャスト通信に対応することにより、更なる効率化が見込める。

(5) 端末の検出器の高機能化・低演算量化

親端末に最も簡易な構成で実装可能な線形信号検出器を適用する場合、連携端末 N は少なくとも受信信号に含まれる信号数 M よりも多くする必要がある。ユーザが高密度に存在し、ユーザ選択に十分な余裕がある場合には可能であるが、ユーザの存在密度が低い場合には連携受信が不可能になってしまう可能性がある。また、上記のように連携端末が多いと、連携端末で受信した信号を親端末に送信する時間、即ち信号収集のためのオーバヘッドが大きくなり、伝送速度を低下させる。そこで、親端末により強力な信号検出器を備えれば、連携端末が少ない場合にも高品質に通信が可能になる。これは、受信信号に含まれる信号数 M よりも少ない数 N の受信信号から、全ての信号を復元する問題であり、従来、過負荷 MIMO 検出器として幾つかの検討例がある。例えば、非線形受信機 MLD (Maximum Likelihood Detection) であれば検出は可能である。ただし、MLD は演算量が多く効率的ではない。そこで、従来検討されてきた検出器の中で、より連携無線通信方式に適している構成法を検討することも重要である。また、非線形端末を利用した場合、必要となる連携端末数 N は、各々の連携端末の状況に依存する。例えば、品質の良い 1~2 台の連携端末があれば、4~5 個の信号を検出できることもある。このように、スケジューリング機能を親端末に備えることで、よりオーバヘッドを低減できる可能性がある。

(6) ハードウェア実験による検証

基地局からの同期情報をもとに、高周波数帯において親端末は連携端末から受信信号の収集及び宛先端末への復号信号の配信を行う。このとき、高周波帯におけるハードウェアの不完全性に起因する、周波数オフセット、IQ インバランス、及び同期誤差が信号の信頼性を低下させる可能性がある。

3 これまでの研究

平成 22 年度から平成 24 年度の 3 年間実施した SCOPE 課題「コヒーレント CoMP による無線分散ネットワークの研究開発」(分担、研究代表者はハードウェア実装等を担当)において、実際に 4 x 6 マルチユーザ MIMO 伝送実験系を構築し、フェージングエミュレータや電波暗室に加え、5.1 GHz 帯特定実験試験局免許を取得して屋外伝送実験を行ってきた。特に、リアルタイムのユーザ選択により伝送特性が大幅に改善できることのみならず、基地局送信電力も同時に低減可能であることを実証した [STSSMYUDM2014]。

この課題では基地局側における処理に重点があったため、端末側は基礎的な信号処理しか行っていなかったが、実験結果をリアルタイムに収集・表示・記録するために端末間での復調結果データの共有機能を無線 LAN により実装していた。伝送特性の更なる改善手法を検討していた時、既に実装していたデータ共有機能(ただしこの際は復調結果のみ)と干渉キャンセル等の信号処理の概念が結びつき本システム構成の着想に至った。

なお、具体的な端末連携範囲として電車・バス内を想定し、このようなグループモビリティを活用した移

動端末連携については、平成 25 年度に実施した国内オペレータ企業との共同研究により特許を出願済[特 1] であるが、本特許は基本構成に関するものであり連携方式の効率化などは含まれていない。

本研究では、この実験系を活かして、実際の環境における端末間連携と基地局信号の伝送特性の解明を目的に、特に端末間連携通信にフォーカスする。

[STSSMYUDM2014] 齊藤俊，谷口真人，篠原諒，佐藤弘基，村田英一，吉田進，山本高至，梅原大祐，田野哲，守倉正博，“低演算量ユーザ選択手法を用いたマルチユーザ MIMO システムの屋内実伝搬環境における伝送実験，” 電子情報通信学会論文誌，Vol. J97-B, No. 2, PP. 162-173, FEB. 2014. (電子情報通信学会 学生優秀論文賞受賞，平成 26 年 2 月 3 日)

[特 1] 無線通信システム，共同受信装置及びユーザ端末 (No. 4359) 出願番号 : 特願 2013-271080, 出願日: 2013 年 12 月 27 日

[M2013] 村田英一，“[招待講演]マルチユーザ MIMO システムにおけるユーザ端末共同干渉キャンセル，” 電子情報通信学会技術研究報告，RCS2013-201, PP. 159-164, Nov. 2013.

[FSHM2014] 藤本裕真，篠原諒，林勇治，村田英一，“非線形共同干渉キャンセルを行う MU-MIMO システムの伝送実験，” 映像情報メディア学会技術報告，BCT2014-40, PP. 29-32, FEB. 2014.

4 本研究の課題

これまで述べたように、スマートフォンの普及に伴って携帯電話用周波数の不足が深刻化している。モバイルブロードバンドトラフィックは今後 10 年で 1000 倍になるとの指摘があり、周波数利用効率の高い多重 MIMO システムが注目を浴びている。数十から数百のアンテナを利用する Massive MIMO では、理論的には数十から数百倍の周波数有効利用が達成可能である。しかし、特に伝送容量が求められるダウンリンクにおいて、アンテナ数が少ない移動端末がそのような多重数の高い（つまり干渉が極端に多い）信号を効率よく処理することは困難である。通常、伝搬路情報を知った基地局が送信時にプリコーディングを行うことによって干渉抑圧を補助することが考えられているが、伝搬路の変動に弱い欠点がある。

この対策として、移動端末グループでの共同受信を提案し有効性を実証することに取り組んでいる。具体的には、搭載アンテナ数が少ない移動端末間に共同受信機能を与え、電車・バス等の同一移動体内で等価的な多素子アレイアンテナを構成することを考える。これにより耐干渉特性等を飛躍的に高め、周波数利用効率が高く移動に強い多重 MIMO 伝送が実現できる。本研究では、この機能の実現に不可欠な移動端末間連携通信方式の研究を行う。

周波数利用効率を向上する MIMO 多重伝送の実用化が携帯端末(3G HSDPA 系, LTE)や無線 LAN (IEEE802. 11n, 802. 11ac) などで進められている。さらに、基地局から多ストリームを送信しつつ、少ないアンテナ数の携帯端末を複数同時に收容するマルチユーザ MIMO (MU-MIMO) が盛んに研究されている。MU-MIMO では携帯端末側での信号分離を補助するために基地局側において瞬時の伝搬路状況に合わせたプリコーディングが行われる。しかし、伝搬路状態を携帯端末からフィードバックするには一定の時間（現状で 5 ミリ秒や 10 ミリ秒）が必要であるため伝搬路の変化に弱く、携帯端末の移動速度が大きく制限されてしまう課題がある。

移動による伝搬路変化がプリコーディングを乱しユーザ間干渉を引き起こすが、十分な受信アンテナ数(受信信号数) が利用できればこの干渉を効果的にキャンセルできることが 90 年代初頭から知られている。ユーザが密集している電車・バス内では走行速度は速いもののユーザ間の相対位置関係に大きな変化はなく、携帯端末間には安定した通信が期待できる。このことを利用して、各ユーザの携帯端末間に近距離の安定した協力関係を築き、それぞれでの受信信号を交換することによって干渉キャンセル能力を大幅に高めることができる。近年の携帯端末は複数の無線インタフェースを備えており、これらを活用して携帯端末間の協力関係を築くことができる。

5 研究成果の概要

研究室においてシステム全体のフィールド実験に成功しているが、ここでは移動端末間連携通信方式としてノート PC が備える無線 LAN をそのまま利用しており、連携通信に要する時間が比較的長いものとなっていた。そこで本研究では、将来の Massive MIMO 伝送に向けて端末間連携通信について理論的および実験的な研

究を行った。

5-1 実環境における端末間連携通信特性の実測

端末グループ内において受信信号を交換することを考えているが、この場合、各端末は自らの受信信号をブロードキャストによって送信することになる。しかし、ブロードキャストの送信レート（変調多値数、符号化率など）は通常最も低く設定される。これは、より広い範囲に確実に届けるためであるが、信号交換に時間がかかってしまう。一方、送信レートを高くすると、受信できる範囲が限られることになる。

このように、基地局からのダウンリンク信号に対して端末がグループを構成して等価的なアンテナ数を増加させる単純な場合においても、そのグループ化の範囲と受信信号交換に要する時間がトレードオフの関係となる。この関係を明らかにするために、実際に屋外において端末間連携の伝送特性を測定した。特に、意図的に干渉源を設置した場合などについて詳細に調査した。この成果は、英文にて国内学会に発表を予定している（投稿済1件、申し込み済1件）。

5-2 端末間連携通信路の理論的検討とモデル化

次に、端末間連携に適した通信方式について研究を行うベースとして、特に、ブロードキャストを行う端末群を想定して相互の端末間連携通信の伝送特性を理論的に解析し、モデル化を行った。このモデルを用いれば、多数の端末が連携する場合についてもその端末間連携通信の失敗確率も考慮した上で特性評価が可能となり、今後の研究に特に有益である。

このモデルでは、MIMO 伝送対応の端末を想定して各端末が複数のアンテナを備えるものとし、空間相関シャドウイングまでに対応した伝送特性の理論計算が可能である。特に、干渉源を想定しており、実際の環境において顕在化する干渉による誤りを取り入れることができている。この成果は、英文にて国内学会に発表を予定している（投稿済1件、申し込み済1件）ほか、海外ジャーナルにも投稿を計画している。

【参考文献】

1. 齊藤 俊, 村田 英一, “ユーザ選択を用いた線形及び非線形 MU-MIMO プリコーディングに関する実験的研究,” 電子情報通信学会論文誌, Vol. J98-B, No. 2, FEB. 2015.
2. 佐藤 弘基, 村田 英一, “マルチユーザ MIMO におけるタイミング同期及び推定タイミングに基づく周波数オフセット補償法,” 電子情報通信学会論文誌, Vol. J98-B, No. 2, FEB. 2015.
3. ZHAO OU, HIDEKAZU MURATA, “SUM RATE ANALYSIS OF MU-MISO SYSTEMS WITH ZF BEAMFORMING OVER COMPOSITE FADING CHANNELS,” IEICE TRANS. FUNDAMENTALS, VOL. E98-A, NO. 2, FEB. 2015.
4. SATOSHI NISHINO, HIDEKAZU MURATA, “EXPERIMENTAL EVALUATION OF LOW COMPLEXITY USER SELECTION SCHEMES FOR MULTI-USER MIMO SYSTEMS,” IEICE TRANS. FUNDAMENTALS, VOL. E98-A, NO. 2, FEB. 2015.
5. MIRZA GOLAM KIBRIA, HIDEKAZU MURATA, “CONVEX APPROXIMATED WEIGHTED SUM-RATE MAXIMIZATION FOR MULTICELL MULTIUSER OFDM,” IEICE TRANS. FUNDAMENTALS, VOL. E97-A, NO. 8, PP. 1800-1805, AUG. 2014.
6. MIRZA GOLAM KIBRIA, HIDEKAZU MURATA, JUN ZHENG, “DISTRIBUTED WEIGHTED SUM-RATE MAXIMIZATION IN MULTICELL MU-MIMO OFDMA DOWNLINK,” PROC. IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS (ICC2014), SYDNEY, AUSTRALIA, JUNE 2014.
7. XUEJIA CAI, JUN ZHENG, YUAN ZHANG, HIDEKAZU MURATA, “CAPACITY ORIENTED RESOURCE ALLOCATION ALGORITHM FOR DEVICE-TO-DEVICE COMMUNICATION IN MOBILE CELLULAR NETWORKS,” PROC. IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS (ICC2014), SYDNEY, JUNE 2014.
8. MIRZA GOLAM KIBRIA, HIDEKAZU MURATA, “PERFORMANCE OF PARTITIONED VECTOR QUANTIZATION WITH OPTIMIZED FEEDBACK BUDGET ALLOCATION,” IEICE TRANS. COMMUN., VOL. E97-B, NO. 06, PP. 1184-1194, JUNE 2014.
9. 齊藤 俊, 佐藤 弘基, 篠原 諒, 谷口 眞人, 村田 英一, 吉田 進, 山本 高至, 梅原 大祐, 田野 哲, 守倉 正博, “低演算量ユーザ選択手法を用いたマルチユーザ MIMO システムの屋内実伝搬環境における伝送実験,” 電子情報通信学会論文誌, Vol. J97-B, No. 2, FEB. 2014.
10. MIRZA GOLAM KIBRIA, HIDEKAZU MURATA, SUSUMU YOSHIDA, “AN EFFICIENT ALGORITHM FOR WEIGHTED SUM-RATE MAXIMIZATION IN MULTICELL OFDMA DOWNLINK,” IEICE TRANS. FUNDAMENTALS, VOL. E97-A, NO. 1, PP. 69-77, JAN. 2014.
11. MASATO TANIGUCHI, HIDEKAZU MURATA, SUSUMU YOSHIDA, KOJI YAMAMOTO, DAISUKE UMEHARA, SATOSHI DENNO, MASAHIRO MORIKURA, “INDOOR EXPERIMENT OF MULTI-USER MIMO USER SELECTION ALGORITHM BASED ON CHORDAL DISTANCE,” PROC. GLOBAL TELECOMMUNICATIONS CONFERENCE (GLOBECOM2013), ATLANTA, GA, USA, DEC. 2013.
12. 村田 英一 “【招待講演】マルチユーザ MIMO システムにおけるユーザ端末共同干渉キャンセル,” 電子情報通信学会技術研究報告, RCS2013-201, PP. 159-164, NOV. 2013.
13. MIRZA GOLAM KIBRIA, HIDEKAZU MURATA, SUSUMU YOSHIDA, “FEEDBACK BUDGET ALLOCATION OPTIMIZATION FOR P-VQ IN DOWNLINK BEAMFORMING,” IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PERSONAL, INDOOR, AND MOBILE RADIO COMMUNICATIONS

- (PIMRC2013), LONDON, SEPT. 2013.
14. OU ZHAO, HIDEKAZU MURATA, SUSUMU YOSHIDA, "CHANNEL CAPACITY OF DISTRIBUTED MIMO ANTENNA SYSTEMS UNDER THE EFFECT OF SPATIALLY CORRELATED SHADOWING," PROC. IEEE 78TH VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE (IEEE VTC 2013 FALL), LAS VEGAS, NEVADA, SEPT. 2013.
 15. MIRZA GOLAM KIBRIA, HIDEKAZU MURATA, SUSUMU YOSHIDA, "COORDINATED LINEAR PRECODING IN DOWNLINK MULTICELL MU-MISO OFDMA NETWORKS," PROC. IEEE 78TH VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE (IEEE VTC 2013 FALL), LAS VEGAS, NEVADA, SEPT. 2013.
 16. MIRZA GOLAM KIBRIA, HIDEKAZU MURATA, SUSUMU YOSHIDA, "ADAPTIVE FEEDBACK REDUCTION FOR P-VQ IN MU-MISO DOWNLINK PRECODING," PROC. IEEE 78TH VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE (IEEE VTC 2013 FALL), LAS VEGAS, NEVADA, SEPT. 2013.
 17. LIN SHAN, SONIA AISSA, HIDEKAZU MURATA, SUSUMU YOSHIDA, LIANG ZHAO, "AN ADAPTIVE FAIRNESS AND THROUGHPUT CONTROL APPROACH FOR RESOURCE SCHEDULING IN MULTIUSER WIRELESS NETWORKS," IEICE TRANS. COMMUN., VOL. E96-B, NO. 2, PP. 561-568, FEB. 2013.
 18. HIDEKAZU MURATA, SUSUMU YOSHIDA, KOJI YAMAMOTO, DAISUKE UMEHARA, SATOSHI DENNO, MASAHIRO MORIKURA, "【INVITED】 SOFTWARE RADIO-BASED DISTRIBUTED MULTI-USER MIMO TESTBED: TOWARDS GREEN WIRELESS COMMUNICATIONS," IEICE TRANS. COMMUN., VOL. E96-A, NO. 1, JAN. 2013.

〈 発 表 資 料 〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
Modeling of interuser links in MU-MIMO systems using collaborative interference cancellation	電子情報通信学会技術研究報告 RCS2015, 福岡	2015年8月発表予定(申し込み済)
Modeling of interuser links for user collaboration in multiuser MIMO systems	電子情報通信学会通信 ソサイエティ大会, 仙台	2015年9月発表予定(申し込み済)