

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 (101507010)

Coherent Coordinated Multipoint Transmission Techniques for Wireless Distributed Networks

研究代表者

吉田 進 京都大学

Susumu YOSHIDA Kyoto University

研究分担者

守倉 正博[†] 田野 哲^{††} 村田 英一[†] 梅原 大祐^{†††} 山本 高至[†]

Masahiro MORIKURA[†] Satoshi DENNO^{††} Hidekazu MURATA[†] Daisuke UMEHARA^{†††}

Koji YAMAMOTO[†]

[†]京都大学 ^{††}岡山大学 ^{†††}京都工芸繊維大学

[†]Kyoto University ^{††}Okayama University ^{†††}Kyoto Institute of Technology

研究期間 平成 22 年度～平成 24 年度

概要

遍在するおびただしい数の無線送受信機群を前提とした次世代無線分散ネットワークにおいて、線形プリコーディングを仮定した仮想的なマルチユーザ MIMO の概念を導入し、複数送信機にわたって高精度なキャリア位相レベルの制御を施すことで、各無線受信機の信号品質を最大化し、周波数利用効率と電力効率を改善するコヒーレント CoMP (Coordinated Multi-Point) 送受信技術の研究開発を行う。理論解析に加えて、実環境におけるハードウェア実験により特性改善効果を実証する。同時に、ハードウェアへの要求条件を解明し、その実現性を示す。

1. まえがき

おびただしい数の無線通信機能が備わったデバイスや端末が利活用されるユビキタスネットワークでは、電波資源の究極的な有効利用だけでなく、エネルギー問題の解決のため電力消費の低減が必須となる。ユビキタスネットワークを実現する基盤技術である無線分散ネットワークにおいて、遍在する無線送信機群において高精度なキャリア位相レベルの制御を施すことで、各無線機の受信信号品質を改善しつつ総送信電力を低減し、周波数利用効率と電力効率を改善するコヒーレント CoMP (Coordinated Multi-Point) 送受信技術の研究開発に取り組んだ。理論解析のみならず、実環境におけるハードウェア実験により特性改善効果を実証した。

2. 研究開発内容及び成果

コヒーレント CoMP における干渉制御法

複数の無線機が協調して信号を送信することで周波数利用効率の向上を図るコヒーレント CoMP 技術では、協調のために基本的には無線通信路の状態を受信機から送信機に通知する必要がある。この送信機へ通知する情報をフィードバック情報と呼ぶ。協調する無線機の数が増えるにつれて、フィードバック情報量が增大するという問題がある。そこで、受信機に干渉制御技術を導入する事でフィードバック情報量を大幅に低減できる方式を提案した。さらに、演算量を抑えつつ、高い伝送特性を達成するため、ターボ復号に仮想伝搬路を用いた逐次復号法を接続させる新しい干渉制御技術を提案した。この干渉制御技術が通信品質、ひいては周波数利用効率の改善度に大きく影響を与えることを鑑みて、最終年度は干渉制御技術の特性向上法を検討した。そこで、下記の二つの構成法を提案した。

- (1) 繰り返し位相推定を行う軟情報入出力方式
- (2) フィルタ出力を利用した軟情報入力・硬判定出力方式

コヒーレント CoMP 送受信機実装

ハードウェア実装において、2x2 コヒーレント CoMP を 2 組実装し、それらを結合した 4x4 コヒーレント CoMP をも実現した。さらに、線形プリコーディングで顕著となるピーク送信電力増大問題を軽減するために瞬時ユーザ

選択技術を実装し、4x5 および 4x6 コヒーレント CoMP を実現した。(実験周波数は 5.11GHz)

特に今回、伝搬路状況に応じて瞬時に伝送に適した通信対象ユーザを選択することによってユーザダイバーシチ効果を得て基地局送信電力の低減を可能とする技術の実証を行った。我々の知る限り、この技術を実環境で実証した例はなく、世界初の成果である。

図 1 に受信電力の累積分布関数(CDF)を示す。ここでは低演算量のユーザ選択手法として知られるチャネル状態の直交度を基準にユーザを選択する CDUS(chordal distance-based user selection)法と、チャネル状態に関係なくユーザを順に選択する Round-Robin 法を取りあげて比較したものであり、実機による実測データである。この測定では送信ピーク電力を一定としているが、CDUS 法によって大幅に高い受信電力が得られることが分かる。また、4x5 構成よりも 4x6 構成は自由度が高いため受信電力が増加することが確認できる。これら受信電力の増加は、一定品質下において送信電力を大幅に削減できることを意味している。

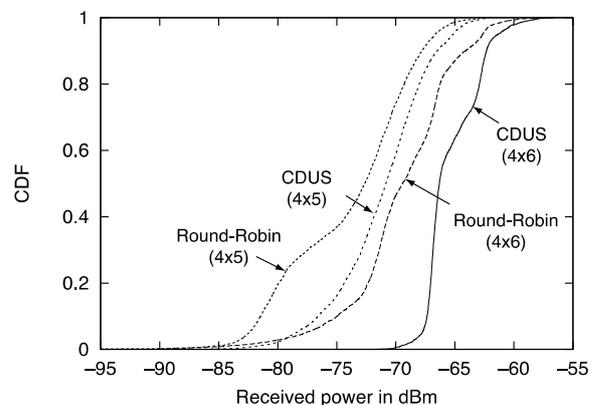


図 1 ユーザ選択手法による受信電力 CDF の変化



図 2 学内イベントでの実験風景

なお、図 2 および図 3 に学内会議室および電波暗室内での実験の様子を示す。

MIMO 中継ネットワークコーディング技術

コヒーレント CoMP 技術に基づくネットワーク同期は、複数の送信局から受信局へ RF 信号を同時タイミングで送信し、その搬送波周波数及び位相が受信局で同期するように送信局においてプリコーディングすることを実現可能とする。このとき、ネットワーク同期が実現される CoMP クラスタ内で構成される、2 端末局及び 1 中継局から成る双方向無線中継通信路に対して、2 タイムスロットで端末局が有する互いの情報パケットを交換可能な物理層ネットワークコーディング (Physical-layer Network Coding, PNC) を適用した。PNC による双方向中継では、増幅中継 (Amplify-and-Forward, AF) 方式、及び、復号中継 (Decode-and-Forward, DF) 方式の 2 つの中継方式が考えられるが、本研究課題では、信頼性に優れる DF 方式を採用した。CoMP-PNC ネットワーク上の中継局では、チャンネル符号化された QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 信号が合成受信される。中継局におけるチャンネル符号化合成信号の復号法を提案し、中継局におけるフレーム誤り率や双方向無線通信路のスループットを評価し、その実現可能性の検討を行った。

分散制御型複数リソース同時制御

分散制御型送信電力制御法を導出し、さらにチャンネル割当を同時に行うことで、研究開発目標達成を狙った。まず、チャンネル割当法について検討した。近年、移動通信の標準規格である LTE-Advanced や無線 LAN の標準規格である IEEE 802.11ac などでは、既存のチャンネル帯域幅複数分を用いるキャリアアグリゲーションやチャンネルボンディングと呼ばれる技術が採用されつつある。ここで問題となるのは、単に周波数帯域幅を増加させた場合、送信電力には上限があるため、送信電力密度、あるいは受信電力密度が低下することである。また、チャンネルを拡張することで、これまで影響のなかった隣接チャンネルの通信が同一チャンネル干渉となり、通信品質の劣化を招く可能性がある。そこで、通信路容量が劣化しないチャンネル割当の選択基準を明らかにした。加えて、複数の無線局が先に述べた選択基準に基づき動的にチャンネルを選択する場合、どのような結果に帰着するかを明らかとした。

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

本研究成果をベースとして、新規の着想に基づく研究開発課題を平成 25 年度の SCOPE に応募している。この新規課題では、今回開発した基地局装置と端末装置全体を活用した上で、端末装置側の工夫による伝送特性改善に取り組む予定である。また、これら研究開発に関連して、国内携帯電話オペレータ研究開発部門との共同研究も実施す



図 3 電波暗室内での実験風景

る予定である。

具体的な社会への波及効果を述べることは難しいが、上記のように今回の成果を 100%活用した新規の研究開発を提案しているほか、携帯電話オペレータ企業と協力して発展させる予定がある。

4. むすび

無線分散ネットワークの実現を目指し、連携に必要なフィードバック情報量の削減、ハードウェア実装、中継技術、リソース制御技術について研究開発を行った。特に、瞬時ユーザ選択によって送信電力が削減可能であることを実伝搬環境における伝送実験によって世界で初めて実証し、消費電力が低くグリーンな無線通信システムの可能性を明確にした。今後、これら技術をベースにさらに研究開発を進め、周波数利用効率と電力効率の高い無線システムの実現を目指す。

【誌上发表リスト】

- [1]Hidekazu Murata, Susumu Yoshida, Koji Yamamoto, Daisuke Umehara, Satoshi Denno, Masahiro Morikura, "Software radio-based distributed multi-user MIMO testbed: Towards green wireless communications," IEICE Trans. Commun., Vol.E96-A, No.1, pp.247-254 (2013 年 1 月 1 日)
- [2]Shigemasa Kumagawa, Koji Yamamoto, Hidekazu Murata, Susumu Yoshida, Daisuke Umehara, Satoshi Denno, Masahiro Morikura, "Applicability of distributed transmit power control based on uplink-downlink duality to multi-user distributed antenna systems," Proc. IEEE ICCS 2012, Singapore (2012 年 11 月 23 日)
- [3]Satoshi Denno, Daisuke Umehara, and Masahiro Morikura, "A least bit error rate adaptive array for multilevel modulations," IEICE Trans. Commun., Vol.E95-B, No.1, pp.69-76 (2012 年 1 月 1 日)

【受賞リスト】

- [1]山本高至, IEEE 関西支部 Gold 賞, (2012 年 2 月 14 日)
- [2]Masato Taniguchi, IEEE VTS Japan 2012 Young Researcher's Encouragement Award, "Field experiments of linearly precoded multi-user MIMO system at 5 GHz band," (2012 年 9 月 3 日)
- [3]Mirza Golam Kibria, IEEE VTS Japan 2012 Young Researcher's Encouragement Award, "Partitioned vector quantization for MU-MIMO downlink broadcasting," (2012 年 9 月 3 日)

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.dco.cce.i.kyoto-u.ac.jp/ja/modules/project1/scope.html>