

高周波数帯を活用する端末連携信号処理技術の研究開発 (145007108)

User Collaborated Signal Processing Techniques Exploiting Higher-Frequency Bands

研究代表者

村田 英一 京都大学
Hidekazu MURATA Kyoto University

研究分担者

田野 哲[†] 梅原 大祐^{††}
Satoshi DENNO[†] Daisuke UMEHARA^{††}
[†]岡山大学 ^{††}京都工芸繊維大学
[†]Okayama University ^{††}Kyoto Institute of Technology

研究期間 平成 26 年度～平成 27 年度

概要

高周波数帯を活用して近傍の携帯端末を連携させ、これら端末から構成される信号処理グループを形成し、等価アンテナ数の増大によってグループとしての信号処理能力を飛躍的に向上させることに取り組んだ。具体的には、高周波数帯における連携通信用 MAC プロトコルの開発を行い、連携に要するオーバーヘッドや消費電力を削減できることを示した。さらに、干渉補償技術の高度化に取り組んだ。基地局装置と新たに導入した端末装置により、これらの成果を反映した屋内および屋外伝送実験を行い、端末連携による周波数利用効率改善効果を実証した。

1. まえがき

本研究開発では、伝送距離は短いものの帯域幅が比較的確保しやすい高周波数帯を活用することで、貴重な 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。

その目的を達成する技術として、本研究開発では高周波数帯を活用して UHF 帯の混雑を解消する、端末連携無線通信方式を提案する。各端末では基地局からの UHF 帯 MIMO 空間多重信号を干渉したまま受信し、周辺に存在する複数の端末と連携を行いこの信号を効率良く復元する。この連携のための通信を、高周波数帯の無線システムで行うことが本提案法の特徴である。これにより、端末は周辺の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。本提案法では、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. 研究開発内容及び成果

2. 1. 連携端末の適応的な選択

連携端末との共有信号数を増加させるほど MIMO 受信特性が向上するが、一方で共有に要する時間や電力などが増大するため、この削減が重要となる。そこで、伝搬路状況に応じて MIMO 受信に効果的な端末を選定し、適応的

に受信信号を共有することに取り組んだ。

研究開発においては、非線形信号処理方式として低演算量で知られる QRM-MLD を選定し、QRM-MLD 特有の段階的な候補削減処理に適応した独自のアルゴリズム MMED-M を考案した。このアルゴリズムでは、8 端末(図 1 中 M)からパケット毎にその伝搬路状況(CSI: Channel State Information)のみを利用して $C=4$ 端末を選定し、この 4 端末からのみ受信信号データ部を収集する。このため受信信号数を 50%削減できており、目標値を上回る。この際のスループット劣化は E_b/N_0 に依存するが、図 1 より E_b/N_0 12.5dB 以上においては 10%未満となっている。

2. 2. 収集・配信プロトコルの効率化・低消費電力化

本研究開発では高周波数帯における、親端末(CT)による連携端末(AT)の受信信号フレームの収集、及び、CT から宛先端末(DT)への復号信号フレームの配信を効率的に行うことを目標とした。基地局(BS)が送信する周波数帯を R バンド、連携のための高周波数帯を HR バンドと呼ぶ。DT が単一で CT を兼ねる場合、復号信号フレームの配信時間を削除でき、受信信号フレームの収集を効率化できる。R バンドから HR バンドへの信号フレーム変換方式である、PCM-RoHR と PAM-RoHR に関して HR バンドにおけるフレーム転送時間を評価する。MAC プロトコルとして、SSR-TDMA 及び OFDMA を適用した。端末共同干渉キャンセラ(CIC)のための所要時間単位を RoHR フレーム時間と呼ぶ。図 2 に、2 アンテナ BS、1 アンテナ DT 1 台、及び 1 アンテナ AT 3 台の端末共同干渉キャンセラ((2,1,3)-CIC)における RoHR フレーム時間で正規化したフレーム転送時間を示す。比較対象として、(2,2,2)-CIC の結果を示す。また、PCM-M は、M 個のフレームアグリゲーションを表す。PCM-RoHR のチャンネル帯域幅は 40 MHz であり、PAM-RoHR は 20 MHz である。図 2 より、(2,1,3)-CIC とすることで正規化フレーム転送時間は大幅に減少していることが分かり、RoHR フレーム時間内で CIC が実現可能である。

2. 3. 端末の検出器の高機能化・低演算量化

本研究開発課題では多くの信号を検出できるが、連携端末は受信信号を周辺にある親端末に転送するという、通常

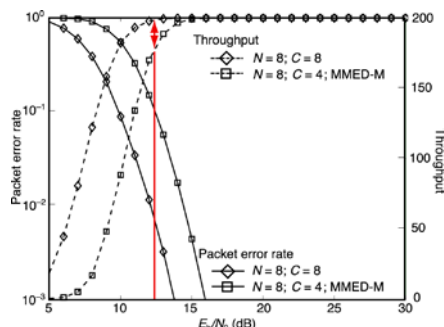


図 1: 連携用信号数 C を削減した場合のペケット誤り率とスループット

の通信にはない処理を行なう。これが通信の大きなオーバーヘッドとなる。

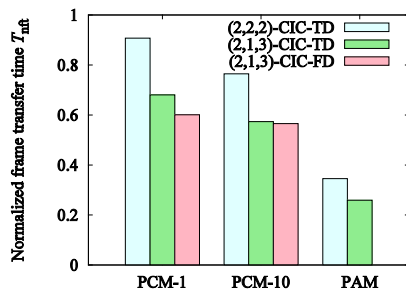


図2: 各種方式における正規化フレーム転送時間

そこでこのオーバーヘッド低減の為に、連携端末数の低減法、あるいは連携端末を減少させた場合の伝送特性改善法を検討した。

2. 3. 1. 線形信号検出器の構成法の提案

提案法は、逐次干渉補償法に次元拡張した基底格子縮小を適用した受信機構成となっている。さらに、提案法の特長改善のために、誤り訂正を適用した繰返し復号法を提案した。図3に信号数 $N_s=6$ 、協調端末数 $N_T=2$ の場合の特長例を示す。提案法はMLDより優れた特長を達成しており、当初のMLDからの劣化3dB以下という目標を大きくクリアした。各宛先端末に本提案法を適用することで、オーバーヘッドも6分の1にまで低減でき、当初の目標を達成した。

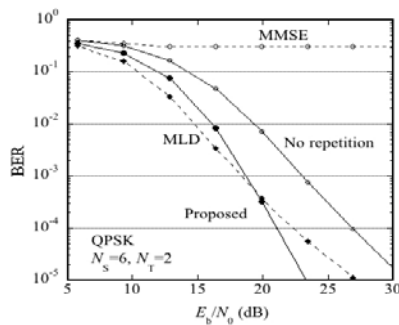


図3: 提案線形検出法のBER特性

2. 3. 2. 非線形信号検出器の演算量低減法

本研究では非線形信号検出における、線形演算の部分と非線形演算の信号処理配分を任意に変化させることに成功した。さらに、伝送路に適合させて一般化回転行列を選択する方式を提案し、提案法により伝送特性を改善できることを示した。これにより信号数 $N_s=4$ で連携端末数 $N_T=2$ の場合に、MLDとほぼ同じ程度の特長を達成した。MLDと比較して演算量は約50分の1以下に抑圧できている。また、本提案法を全ての宛先端末に適用することでオーバーヘッドは4分の1程度に抑えることができ、全て当初の目標を達成した。

2. 4. ハードウェア実験による検証

屋内伝送実験では、5.11GHzにおいてQPSK変調の4信号(1.25M symbols/s)を空間多重により送信した。端末で受信した信号は新規に開発した12.8GHz帯送受信器を用いて端末間で共有される。屋内伝送実験により、高周波数帯12.8GHzでの端末間連携により大幅に受信特性が改善されることを確認した。屋外伝送実験では単独受信(MLD with 1 user)に比較して端末連携が共同して受信信号処理を行うシステムが実際の移動環境において伝送特性を改善できることを示した。図4に送受信機と車両搭載状態を示す。



図4: (左) 無線装置と12.8GHz UP/DOWNコンバータ (右) 車両搭載状態の無線装置

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28年度のSCOPEで実施している。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している。3GPP標準化に参加している研究者からも次世代の技術として評価されており、今後積極的に協力していく。

4. むすび

伝送特性の異なる周波数帯域を組み合わせることにより一種のヘテロジニアスネットワークを構成し、貴重なUHF帯において大規模MIMOを実現しうる技術である。端末側負担軽減技術を中心に実用化を目指した研究開発を推進していく。

【誌上发表リスト】

- [1] H. Murata and R. Shinohara, "Performance improvement of ZF-precoded MU-MIMO transmission by collaborative interference cancellation," IEICE Commun. Express Vol.4 No.5 pp.155-160 May 2015. (2015年5月19日)
- [2] 林 勇治、村田英一、"線形及び非線形信号処理を用いた端末共同干渉キャンセルの屋外伝送実験", 電子情報通信学会論文誌 Vol.J98-B No.7 pp.689-695 July 2015. (2015年7月1日)
- [3] I. Shubhi and H. Murata, "An error-propagation minimization based signal selection scheme for QRM-MLD", IEICE Trans. Commun. Vol.E99-B No.7 July 2016. (2016年7月1日)

【申請特許リスト】

- [1] 田野 哲、無線システムおよび装置、日本国、2015年5月申請

【受賞リスト】

- [1] 田中 利樹、映像情報メディア学会放送技術研究会最優秀賞、"移動局共同干渉キャンセルの高速フェージング環境における特長改善"、2015年2月19日
- [2] I. Shubhi, IEEE VTS Japan 2015 Young Researcher's Encouragement Award, "User collaboration for interference cancellation on multi-user MIMO communication systems", 2015年9月7日
- [3] 南 翔太郎、無線通信システム研究会活動奨励賞、2016年5月20日

【報道掲載リスト】

- [1] "スマホ通信混雑解消 複数端末をネットワーク化"、京都新聞 (3月4日 26面)
- [2] "スマホ間連携、通信品質向上 混雑時の速度低減解消"、日刊工業新聞 (3月6日 21面)
- [3] "人が多く集まる場所もスマホ通信スムーズに"、産経新聞 (3月10日 29面)

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://hfcoop.wix.com/hfcoop>