

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420362

研究課題名(和文)高性能協調無線システムの開発と研究

研究課題名(英文) Development and study on high performance cooperative wireless communication systems

研究代表者

趙 華安 (ZHAO, Hua-An)

熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・教授

研究者番号：60258340

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：MIMO(複数送受信アンテナ利用)無線通信システムは、高速かつ高品質の高性能通信できる。このシステムの実現に重要な鍵となる技術は、時空間符号化と復号化である。数多くのアンテナに対応できる高いスループット、低い誤り率の送信信号の生成法と受信信号の検出法を提案と検証した。

MIMO性能がアンテナ数に関わり、端末受信機(携帯等)に数多くのアンテナを設置できないため、協調無線通信が提案された。即ち、端末同士が互いに協調しあって、仮想的にアレーアンテナを構築することにより高性能の無線通信が創出できる。本研究は基地局と中継局間の新しいプロトコルと最適電力配分について独創的な技術を研究・開発した。

研究成果の概要(英文)：MIMO (multiple input and multiple output) wireless communication systems can communicate at high speed and high quality. Space time coding and decoding are the key technologies for realizing this system. We have proposed and verified some effective methods of the transmission signal with high throughput and the received signal with low error rate for large scale antennas systems.

Cooperative wireless communication was proposed because MIMO performance is related to the number of antennas and it is not possible to install many antennas at terminal receivers (mobile etc.). That is, terminals cooperate with each other, and a high-performance wireless communication can be created by virtually constructing an array antenna. In this research, we have studied and developed original technologies on new protocols and optimal power allocation between base stations and relay stations.

研究分野：無線通信システムにおける信号処理

キーワード：MIMO 協調無線通信 プロトコル

### 1. 研究開始当初の背景

現代または近未来の情報社会は、コンピュータと情報ネットワークの融合から構成される。情報ネットワークの無線化(コピキタス)、高速化および高品質化が要求されている。MIMO(Multiple Input Multiple Output)無線通信技術は、送受信双方に複数アンテナを用いて、高速・大容量な情報伝送を行う技術である。次世代高速無線 LAN 規格である IEEE802.11n や 4G 携帯電話規格での採用が確実視されている。MIMO を使うことで、複数のデータを同じ時間に同じ周波数を用いて伝送することができ、高い伝送速度が実現できる。しかしながら、これらのシステムへの応用に際しては、MIMO の適用に幾つかの困難な点があり、実用に至るまでには、まだ多くの研究課題が残っている。特に高速移動、広帯域(周波数選択性フェージング)、マルチユーザなどが未解決問題である。これらの問題を解決するために MIMO と OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing: 直交周波数分割多重方式)を有機的に結合した MIMO-OFDM 伝送方式の実用化に向けての研究開発が進められている。OFDM は、高度無線 LAN や次世代移動通信の中心技術として IEEE802.16 標準に導入・実用化され、次世代移動通信を担う重要な技術のひとつとなっている。OFDM はマルチキャリア伝送方式の実現手段として、従来のマルチキャリア伝送と比べると周波数利用効率が高く、高速伝送に適している。OFDM の大きな特徴は広帯域情報を狭帯域の多数のサブチャネルに展開するマルチキャリア伝送方式で、この狭帯域化とサイクリックプリフィックスと呼ばれるガードインターバルの働きによって、各サブチャネルは符号間干渉をもたない狭帯域伝送とみなすことができる。

したがって、MIMO システムにおいて、MIMO-OFDM 伝送方式が実現できれば、MIMO の周波数選択性フェージングの影響が克服され、マルチパスの特性と安定した通信より、広帯域無線通信システムを実現することができる。また、MIMO-OFDM 伝送方式は、時空間符号化伝送、固有モード伝送、最大比合成伝送などを実現するために適用できる。しかし、この技術を実現する際に、次のような問題点がある。

(1) 送信機と受信機に複数アンテナを設置する必要がある。携帯電話などのモバイル端末に複数アンテナを設置するにはスペース的に問題がある。(アンテナ間は  $1/4 \sim 1/2$  波長の距離が必要。1/4 を考えると、800GHz なら 94mm、3GHz なら 25mm の距離が必要)

(2) 高い周波数帯を用いて、高速な通信を行うことができるが、周波数が高くなるに従い電波の減衰が大きくなり、通信速度を維持するためにはより多くの送信電力が必要となる。モバイル端末では電力制限が厳しく、信頼性の高い通信を行うことが困難になる。

このような問題を解決するため、近年協調無線通信と呼ばれる通信技術が注目されている。協調無線通信とは近傍の複数端末同士が協調することで、バーチャル MIMO の役割を果たし、MIMO の素晴らしい性能が発揮できる。低い送信電力でも信頼性の高い通信を実現することができる

### 2. 研究の目的

協調無線通信の原理は、図 1 のように基地局 (Source terminal) から宛先局 (Destination terminal) までの距離が遠く、通信品質が劣化する場合に近傍の端末を中継局 (Relay terminals) として経由し宛先局まで信号を伝送する技術である。各端末にアンテナが 1 本しか実装されていない場合でも、MIMO と同等の性能が実現でき、beyond 4G の移動通信を担う重要な技術の 1 つである。また、各端末は次の中継局までの信号伝送で済むため、送信電力を低く抑えることができる。前述した MIMO の問題点を克服することが可能である。

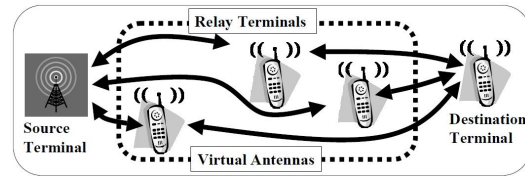


図 1. 協調無線通信システムの概念図

協調無線通信は斬新な技術であるが、宛先局と基地局の間での経路選択と中継方法、および伝送遅延やパケットロス、低消費電力などが課題となり、実現するには様々な研究が必要である。

### 3. 研究の方法

本研究の方法として、まず高性能の MIMO システムを実現する。既に提案した準直交時空間符号 ABCD-STBC (ABCD Space-Time Block Codes) を MIMO システムの時空間符号として利用し、フルダイバーシチをもつ高品質(悪環境でも通信中に切れにくいという高信頼性)の MIMO-OFDM 無線通信システムを提案する。また、受信側の検出方法として、格子基底縮小による LR-ZF 検出法を提案し、従来の方法と比較して低計算量であることが検証される。第二段階では、協調無線通信の新しいプロトコルと最適電力配分 (PA: Power Allocation) を提案し、理論上とシミュレーション上で検証する。新しいプロトコル HADF (Hybrid Amplify or Decode and Forward) の特徴は、端末にアンテナが 1 本しかない場合でも、バーチャル MIMO 効果が得られ、その瞬断率と符号誤り率はその他プロトコルより高い性能を有することを明らかにする。また、中継局に複数のアンテナを配置し、情報伝送速度を最大にし、基地局から中継局までの全電力を最大限に活用することを検証する。

#### 4. 研究成果

(1) 送信側において、高速かつ高品質の MIMO システムを準直交符号化 DBOASTBC の開発により実現した。ABCD-STBC は高性能を有することが証明された。図 2 は、DBOASTBC, ABCD-STBC と周知の two-layer TASTBC と DASTBC の性能比較シミュレーション結果である。ABCD-STBC の性能が最もよいことが明らかである。

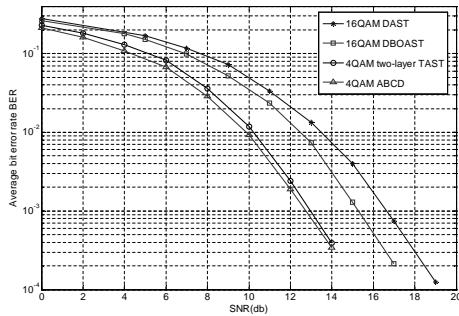


図 2. ABCD-STBC の性能比較

(2) MIMO 信号検出では格子基底縮小技術が注目されている。本研究では格子基底縮小アルゴリズムである LLL アルゴリズムを改善し、線形検出に適したパラメータの提案を行い、従来用いられてきた定数と比較して検出性能を損なうことなく、計算量を削減することができる。そしてシミュレーションでは BER の観点から検出性能 (図 3) を、反復回数と FLOPS (Floating-point Operations Per Second) の観点から計算量の評価を図 4 に示すように行った。

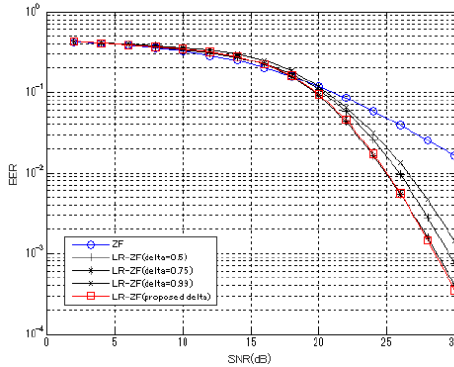


図 3. BER 性能の比較

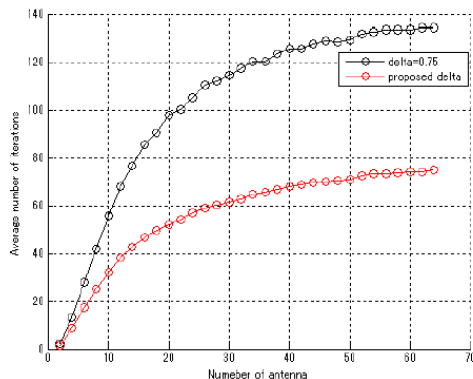
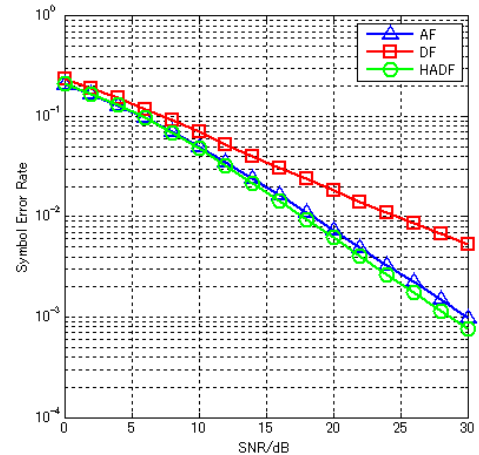
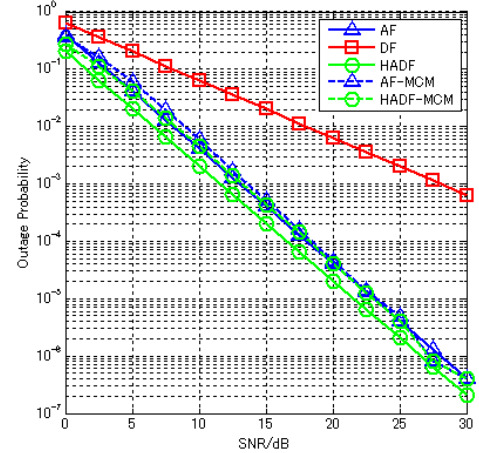


図 4. 各アンテナ数における平均反復回数の推移

(3) 協調無線通信のプロトコルには、AF と DF がある。AF では、2 つのタイムスロットに分けられ、第 1 タイムスロットに基地局から中継局、宛先局へと信号が同時送信される。第 2 タイムスロットに中継局において受信した信号を増幅して、宛先局へと送信する。DF では、第 1 タイムスロットでは AF プロトコルと同様に、第 2 タイムスロットにおいて、中継局は受信した信号を復号し、再度符号化してから、宛先局に送信する。本研究では、AF と DF の性能はチャンネル情報 CSI を利用していないことに着目し、HADDF を提案した。AF と DF の性能はチャンネル情報  $h_{SR}$  ( $S \rightarrow R$  の転送性能) の影響を受けることで左右される。HADDF は、 $h_{SR}$  を考慮したチャンネル特性  $I_{SR}$  を閾値として用いることで、基地局 - 中継局間のチャンネル情報  $h_{SR}$  が比較的良好な場合には中継局で DF 方式をとり、悪い場合には AF 方式をとるものとする。シミュレーションの結果、HADDF プロトコルを使用することで、AF と DF をそれぞれ単独に用いると比べ、図 5 のように符号誤り率と瞬断率が減少されたことが検証された。



(a) 誤り率 SER の比較



(b) 瞬断率の比較

図 5. HADDF の性能比較

#### 5. 主な発表論文等

本研究で発表した論文は、学生にも教育と研究課題として与え、研究したものも含まれる。共著者はすべて指導する学生である。

〔雑誌論文〕(計1件)

Thae Thae Yu Khine, Daisuke Mitsunaga, Koji Araki and Hua-An Zhao, "A Nearest Neighbor Search Algorithm for LR-LD on High SNR, " International Journal of Networked and Distributed Computing, 査読有, Vol. 5, No.1, pp. 45-51, January 2017.

〔学会発表〕(計7件)

Daisuke Mitsunaga, Thae Thae Yu Khine and Hua-An ZHAO" A Low Complexity ZF-Based Lattice Reduction Detection Using Curtailment Parameter in MIMO Systems, " Proc. of 15th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS 2016), pp.17-21, Okayama, Japan, Jun.26-29, 2016.

Hua-An ZHAO and Kazuma UCHIDA" A De-noising Algorithm for Voice Recognition with Low SNR, " Proc. of The 4th International Conference on Cybercrime and Computer Forensics (ICCCF 2016), Vancouver, Canada, Jun. 12-14, 2016.

Thae Thae Yu Khine, Daisuke Mitsunaga and Hua-An Zhao" A Nearest Neighbor Search Algorithm for LR-LD on High SNR, " Proc. of 15th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS 2016), pp.17-21, Okayama, Japan, Jun. 26-29, 2016.

四牟田悠輝, 大塚尚志, 趙華安" リレー通信における選択性プロトコルの提案, " 第68回電気・情報関係学会九州支部連合大会論文集, 06-2P-10, 9月26-27日, 福岡大学, 2016.

高原諒, 馬立侑典, 趙華安, " MU-MIMOにおけるユーザ間干渉抑制の一手法, " 第68回電気・情報関係学会九州支部連合大会論文集, 06-2P-09, 9月26-27日, 福岡大学, 2016.

馬立侑典, 趙華安, " MU-MIMO システムにおける公平性を考慮したユーザ選択アルゴリズム, " 第68回電気・情報関係学会九州支部連合大会論文集, 06-2P-07, 9月26-27日, 福岡大学, 2016.

深井賢人, 満永大輔, 趙華安, " MIMO システムにおける LR-ZF 法の直交性の改善, " 第68回電気・情報関係学会九州支部連合大会論文集, 06-2P-08, 9月26-27日, 福岡大学, 2016.

〔その他〕

ホームページ:

<http://www.info.cs.kumamoto-u.ac.jp>

6. 研究組織

(1)研究代表者

趙華安 (Hua-An ZHAO)

熊本大学・大学院先端科学研究部・教授

研究者番号: 60258340