

令和 2 年 5 月 4 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06427

研究課題名(和文) 電力効率に優れた無線通信のための多素子アンテナを活用した適応信号処理の開発

研究課題名(英文) Development of adaptive signal processing utilizing massive antennas for power-efficient wireless communications

研究代表者

牟田 修 (Muta, Osamu)

九州大学・日本エジプト科学技術連携センター・准教授

研究者番号：80336065

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：急増する無線トラフィックを効率的に収容するには、多素子アンテナによる空間信号処理を活用することが有効である。本研究では多素子アンテナ無線通信基地局の低消費電力化のための適応信号処理技術を開発する。多素子アンテナを活用したピーク電力制御技術を開発し、従来に比べて演算量を大幅に低減しながらピーク電力の低減を達成できることを示した。また、多素子アンテナを用いる異種無線通信網のための干渉制御技術を開発し、従来技術に比べてシステム全体の伝送速度を向上できることを示した。さらに、受信機の小型・低消費電力化のためのチャネル推定技術およびA/D変換回路構成を提案し、それらの有効性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スマートフォンやIoT (Internet of things)に代表される新たな通信デバイスの登場により、無線通信サービスは先進国のみならず発展途上国を含めた全世界に普及し、無線通信のトラフィックは爆発的に増大している。それに伴い、無線通信における消費電力も増大している。今後の高度情報化社会を支える無線通信システムでは、増大する無線通信の需要を受け入れつつ、それに要する消費電力を削減するという相反する要求を両立させる必要がある。本研究は低消費電力の無線通信基地局設計のアーキテクチャの確立に資するものである。

研究成果の概要(英文)：In recent years, mobile data traffic and devices have been increasing rapidly. Thus advanced signal processing techniques for wireless communications are required. In this research, we aim to develop adaptive signal processing techniques for power-efficient wireless communication systems utilizing massive antenna technologies. We have proposed adaptive peak cancellation techniques and clarified that it achieves lower per-antenna peak power while significantly reducing computational complexity compared with state-of-arts. In addition, we have proposed interference management and coordination techniques for heterogeneous wireless networks using massive antennas and clarified that it achieves higher system sum-rate than those of state-of-arts. Furthermore, we have proposed analog-to-digital convention techniques and related channel estimation techniques for low-power consumption wireless receivers and clarified the effectiveness of these techniques.

研究分野：無線通信

キーワード：無線通信 多素子MIMO 適応信号処理

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

スマートフォン等の移動通信サービスの普及に伴い、無線通信のトラフィックは急激に増大している。その一方で、利用可能な周波数帯域は限られているため、周波数帯域の利用効率(bit/秒/Hz)の向上が無線通信システムにおける重要な課題となる。それを実現する有望な方策は、多素子アンテナによる空間信号処理と小セルと大セルを共存させるネットワーク構成(異種無線網)の導入である。

複数のアンテナ素子を用いる MIMO (Multi-Input Multi-Output)は同一周波数・同一時間で空間的に複数の信号を多重伝送できるので周波数利用効率の向上に有効である。特にアンテナ素子数を数十~数百規模に増大したものは多素子 MIMO と呼ばれ、OFDM(直交周波数分割多重)に代表されるマルチキャリア方式と併用した手法が広く用いられている。しかしながら、多数の信号を多重するマルチキャリア方式(OFDM)では送信信号のピーク対平均電力比(PAPR: Peak to Average Power Ratio)がシングルキャリア方式に比べて上昇するため、送信電力増幅器において非線形歪みを生じやすい。特に複数の情報ストリームを空間多重する MIMO システムでは、非線形歪みがストリーム間の直交性を崩すため通信品質を劣化させる。この問題を解決するには、増幅器の入力信号の PAPR を低減する必要がある。他方、異種無線網における複数のシステムが同一周波数帯域を共用する場合、周波数を有効利用できるものの、システム間の干渉を引き起こすため、システム毎の要求条件を満たしながら双方の通信性能を改善するための干渉対策(干渉制御)が不可欠となる。また、不要な電波干渉を無くすことは結果として情報伝送のみにエネルギーを集約できるので、エネルギー効率を向上させる点からも重要となる。さらに、MIMO 通信における無線基地局の低消費電力化には受信機のアナログ回路構成の簡素化も重要であり、特に A/D 変換器の回路構成とそれに適した信号処理の検討が課題となる。

2. 研究の目的

本研究では多素子 MIMO 無線通信基地局の低消費電力化のための適応信号処理技術の開発を目的とする。多素子 MIMO に適したアンテナ素子あたりのピーク電力の制御技術を開発する。また、多素子アンテナを活用した異種無線網における基地局間連携・干渉制御技術を開発し、システム全体の特性向上を図る。さらに、受信機の小型・低消費電力化のための A/D 変換回路構成およびそれに適した復調信号処理技術を示す。

3. 研究の方法

本研究の主な提案技術について述べる。

(1) 多素子 MIMO 用適応ピーク電力制御とその歪み補償技術

無線通信システムでは、隣接チャネル漏洩電力比(ACLR: Adjacent Channel Leakage power Ratio)として規定される帯域外輻射電力と、EVM (Error Vector Magnitude)と呼ばれる変調精度をシステムで定義される許容値以下に抑える必要がある。特に EVM は信号帯域内に生じる歪み電力に対応する指標であり、これを許容値以下に抑えながら、PAPR を低減可能なピーク電力抑圧技術が求められる。また、OFDM において高次の多値変調を用いる場合、帯域内歪みの要求条件が非常に厳しいため(ピーク電力低減により生じた歪みが誤り率特性を大きく劣化させるため)、ピーク電力を低減することが困難となる。

本研究では、この問題を解決するために、多素子 MIMO-OFDM システムにおいて、帯域外歪み電力(ACLR)と帯域内歪み電力(EVM)を許容値以内に抑えながら、アンテナ素子毎のピーク電力を抑圧可能な適応ピークキャンセラ(PC: Peak canceller)とその歪み補償技術を提案した。提案方式の原理とシステム構成を図1にまとめる。

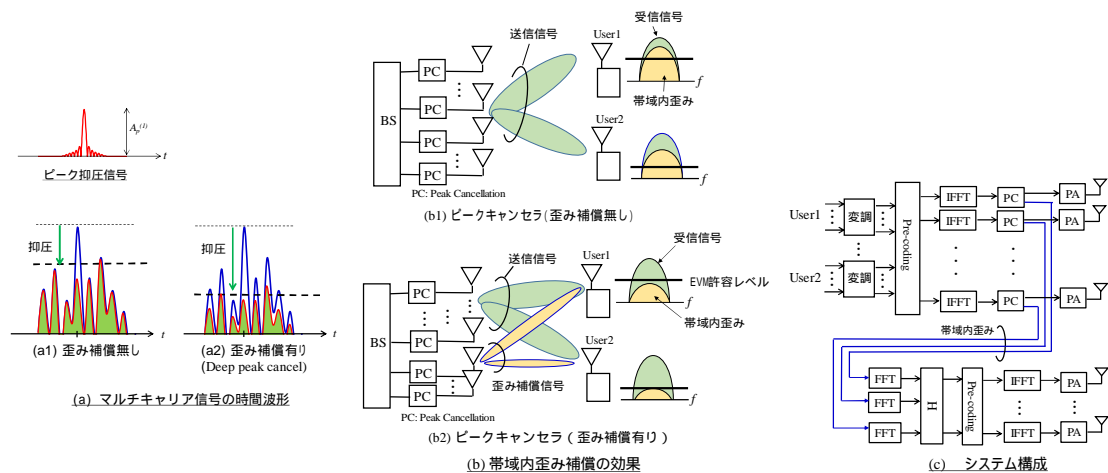


図1 多素子 MIMO における適応ピークキャンセラとその歪み補償の原理

提案方式では、送信信号の瞬時電力値がある閾値を超えた場合、ピーク抑圧用のパルス波形を逆位相で加算することで、そのピーク振幅を打ち消すものである(図1(a1))。ピークキャンセラにより更に大きくピーク抑圧を行う場合(図1(a2))、受信機において大きな帯域内歪みが発生する(図1(b1))。提案方式では、多素子 MIMO の有する余剰アンテナを用いて、この帯域内歪みを補償す

る。具体的には、ピークキャンセラにより生じた帯域内歪みを打ち消す信号を余剰アンテナから送信する。それにより受信機では歪み補償信号が情報信号に空間上で合成されるため、特別な信号処理を受信機において行うことなく歪みを補償できる(図 1(b2))。提案方式を用いることで、図 1(a2)に示すように送信信号のピーク電力をより強く抑圧でき、受信側ではピーク抑圧により生じた歪みを簡易に除去できる。

(2) 多素子 MIMO を活用した異種無線網の干渉制御技術

異種無線網における層間干渉抑圧技術

異種無線網では、一般的にサービスエリアの広い基地局(マクロセル)の配下に狭小基地局(スモールセル)を混在させる。このとき、基地局毎のアンテナ素子数を増やし、その指向性を適切に制御することで周辺システムへの電波干渉を抑圧できる。異種無線網では特にマクロセルとスモールセル間で生じる干渉(層間干渉)を軽減することがシステム全体の通信性能を向上する上で重要となる。しかしながら、アンテナ数に制限のあるスモールセル基地局では空間的なアンテナの自由度が不足するため周辺システムへの与干渉を十分に抑圧できない。そのため、基地局側で送信信号の指向性を制御し、与干渉を軽減することが求められる。

上記の課題に対して本研究では、異種無線網の下り回線において、マクロセル基地局に多素子アンテナを設置し、その指向性を適切に制御することで、スモールセルのユーザー端末へ与える層間干渉を軽減する技術(BF-IC: Beam-forming based interference cancellation)を提案した。概念図を図 2(中央図)に示す。提案方式では、マクロセル基地局(MBS)のアンテナ素子数がシステム全体のユーザー数に比べて十分に多い場合、自セルのユーザーの通信品質を維持しながら、他セルへの与干渉を効果的に抑圧できる。これに加えて、異種無線網の各基地局の送信電力割当を最適化することで層間干渉を低減する技術を提案した。概念図を図 2(右図)に示す。自局ユーザーの所望の通信品質(QoS: quality-of-services)を維持しながら、他局への与干渉を低減することが求められる。提案方式は、マクロセルとスモールセルの基地局がそれぞれ接続ユーザーの最小通信品質を維持しながら送信電力を低減することで層間干渉電力を抑制するものである。

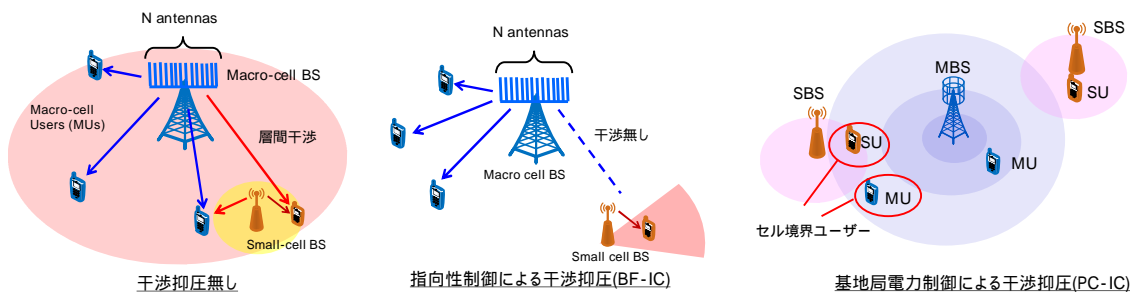


図 2 異種無線網の層間干渉抑圧の概念図(指向性制御による方式と電力制御による方式)

基地局連携信号処理・干渉制御技術

異種無線網において多数の小セル基地局が存在する場合、小セル間の干渉対策が重要である。本研究では、互いに強い干渉を与え合う複数の小セル基地局群を一つのクラスタとして扱い、同一クラスタ内の基地局同士が互いに連携して支配的な干渉を抑圧する方式を提案した。検討システムの構成を図 3(a)に示す。図 3(b)の 2 基地局間の相互干渉を考える。ここで、基地局 i から基地局 j の接続ユーザー k への干渉チャネル応答を h_{ijk} 、セルあたりのユーザー数を K_S 、全ユーザー数を K_T 、小セル基地局のアンテナ数を N とするとき、セル (i, j) 間の干渉強度を次式で定義する。

$$\gamma_{i,j} = \frac{1}{NK_T} \sum_{k=1}^{K_S} (\|h_{ijk}\| + \|h_{jik}\|)$$

提案方式では、強度 $\gamma_{i,j}$ が干渉閾値 γ_{th} を超える場合 ($\gamma_{i,j} > \gamma_{th}$) 基地局 i, j を同一クラスタに含める。互いに強い干渉を及ぼしあう基地局群をクラスタ化し、クラスタ内の端末に対して協調プリコーディングによる情報伝送を行うことで、協調のための情報共有のオーバーヘッドを抑えながらシステム全体の干渉量を効果的に低減できる。

(3) 1 ビット AD 変換用チャネル推定技術

無線基地局の小型化には送信電力増幅器の電力効率の問題に加えて、受信機のアナログ回路構成の簡素化とそれに適した適応信号処理の導入が重要となる。特に MIMO 受信機ではアンテナ素子毎に A/D 変換器が必要となるため、その回路構成の簡素化が検討課題となる。

本研究では、受信回路の回路規模軽減のために 1 ビット量子化を用いる A/D 変換回路構成について検討し、それに適したチャネル推定技術を提案した。量子化歪みを軽減可能な A/D 変換

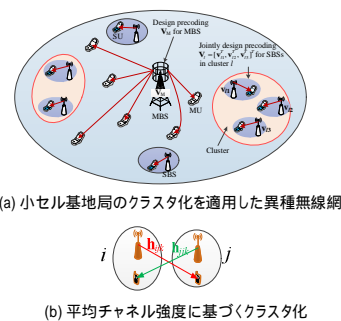
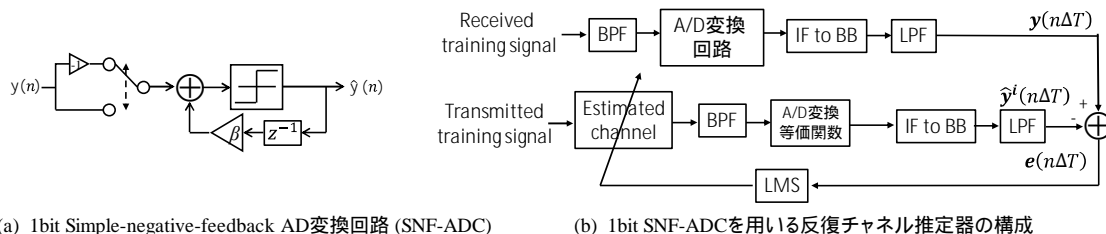


図 3 基地局クラスタ化による干渉制御

回路構成について負帰還 AD 変換器 (SNF-ADC) を検討している。SNF-ADC の構成とそれを用いたチャネル推定器を図 4(a), (b) にそれぞれ示す。SNF-ADC はヒステリシス効果を応用した AD 変換器であり、チャネル推定器に導入することで推定精度の改善を図る。



(a) 1bit Simple-negative-feedback AD変換回路 (SNF-ADC)

(b) 1bit SNF-ADCを用いる反復チャネル推定器の構成

図 4 1bitA/D 変換を用いる反復チャネル推定

(4) その他

この他、多素子 MIMO 下り回線のための信号処理技術について検討した。疎な構造をもつパイロット信号の構成法、圧縮センシングに基づくチャネル推定技術、および低演算量のプリコーディング技術等を提案し、計算機シミュレーション評価によりその有効性を示した。

4. 研究成果

(1) 多素子 MIMO 用適応ピーク電力制御技術

適応ピークキャンセラおよびその歪み補償技術を適用した場合の多素子 MIMO-OFDM システムの特性を計算機シミュレーションにより評価する。システム構成は図 1 と同一である。キャリア数 64、ユーザー数 10 とする。総送信アンテナ数を 100、余剰アンテナ数を N_{ex} (信号伝送用アンテナ数を $100 - N_{ex}$) とする。

提案方式による PAPR 抑圧の効果を定量的に示すために送信信号の瞬時電力値の補累積分布関数(CCDF)を評価する。図 5 に送信信号の瞬時電力値の CCDF 特性を示す。ピークキャンセラを適用することで PAPR 低減無しの場合と比べてピーク電力を大幅に低減できることがわかる。また、歪み補償を行わない場合、所要品質(EVM)が厳しくなるにつれてピーク電力の低減効果が減少するのに対して、提案方式 (帯域内歪み補償適用時) では EVM 所要値による制約がないため、ピーク電力の低減効果を大幅に向上できる。図 6 に提案方式適用時のビット誤り率(BER)特性を示す。サブキャリア変調は 64QAM である。SNR_t は送信アンテナあたりの信号対雑音電力比(SNR)を示す。比較のため、PAPR 低減無し、歪み補償無しの場合の BER 特性をあわせて示す。PAPR 低減無しの場合、送信電力増幅器の非線形歪みにより BER 特性が劣化する。一方、ピークキャンセラを適用する場合、余剰アンテナを用いた歪み補償と併用することで歪み補償無しの場合と比べて BER 特性を大幅に改善できることを明らかにした。

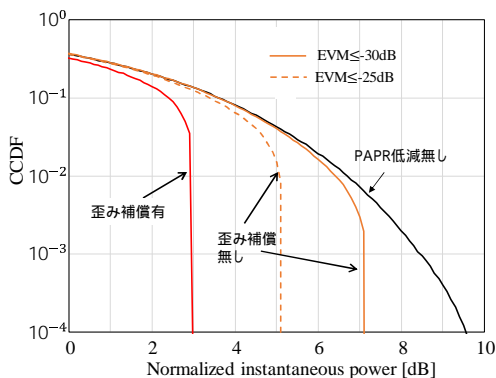


図 5 ピーク電力抑圧特性(CCDF)

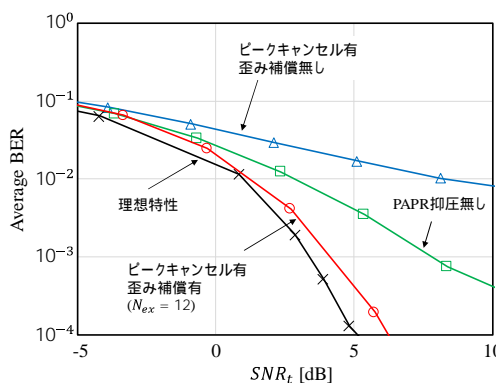


図 6 提案方式のビット誤り率特性

(2) 多素子 MIMO を活用した干渉制御技術

指向性制御および電力制御による干渉抑圧技術

異種無線網におけるマクロセルとスモールセル間の層間干渉を軽減する技術として、指向性制御による方式(図 2, BF-IC: Beam-forming based interference cancellation)と電力制御による方式(図 2, PC-IC: Power control based interference cancellation)を提案し、計算機シミュレーションにより比較評価する。下り回線の非直交多元接続(NOMA)を仮定する。MBS 基地局数を 1、スモールセル基地局(SBS)数を 3、SBS あたりのユーザー数を 4 とする。図 7 に提案方式適用時の MBS と SBS の合計伝送速度特性を示す。比較として、直交多元接続(OMA)の場合の特性を示す。MBS のアンテナ本数が少ない場合は、BF-IC の干渉抑圧に必要なアンテナ数が不足するため、電力制御により予干渉を抑圧する PA-IC が高い伝送特性を示す。一方、MBS のアンテナ本数 (アンテナの自由度) が十分多い場合は BF-IC が PC-IC に比べて高い伝送特性を示すことを明らかにした。

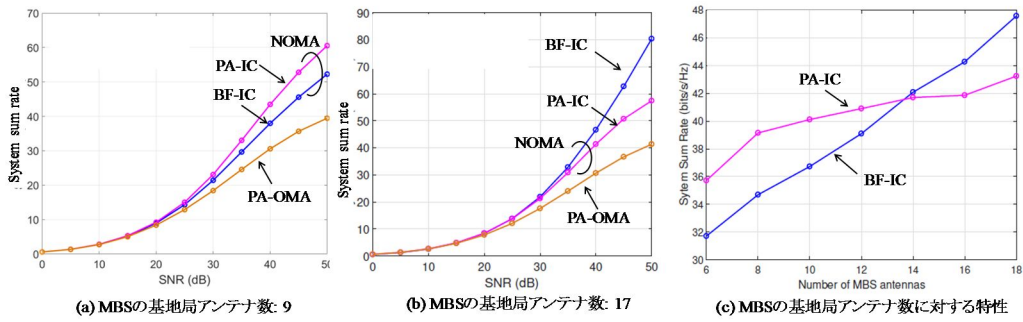


図7 提案方式(BF-IC, PA-IC)を適用した異種無線網のシステム合計伝送速度

基地局連携信号処理・干渉制御技術

提案方式を用いる異種無線網の伝送特性を計算機シミュレーションにより評価した。図8に小セル基地局あたりのアンテナ数に対する下り回線の小セルユーザーの合計伝送速度を示す。比較として、クラスタ化を行わない場合の特性をあわせて示す。この結果から、小セル基地局のクラスタ化と協調信号処理を行うことにより合計伝送速度を向上できることを示した。また、クラスタ化を行う閾値 γ_{th} と伝送速度の関係を図9に示す。閾値を下げることで同一クラスタに含まれる基地局数が増加するため、協調信号処理の効果により伝送速度を改善できる。ただし、クラスタあたりの基地局数が増加することで、基地局間協調に要する共有情報(オーバーヘッド)も増加するため、伝送速度向上とオーバーヘッドのトレードオフを考慮する必要がある。

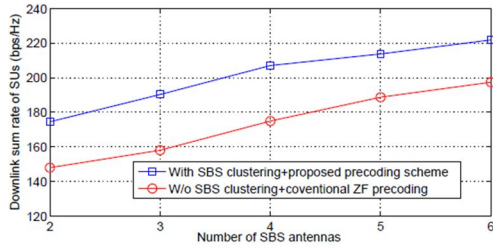


図8 SBS アンテナ数に対する下り回線伝送速度

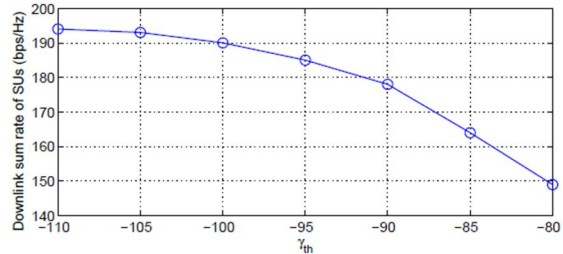


図9 干渉閾値と下り回線伝送速度の関係

(3) 1ビットAD変換用チャネル推定技術

図4の提案チャネル推定器を用いる場合のチャネル推定精度(平均最小2乗誤差)の累積分布関数(CDF)およびBER特性を図10にそれぞれ示す。比較のため、理想チャネル推定、1bitA/D変換、2bitA/D変換時の特性も示す。図10(a)より提案方式(SNF-ADC)を用いる場合、チャネル推定精度(MMSE)が従来の1bitA/D変換を用いる場合と比べて改善されることを示した。QPSK伝送時のBER特性を図10(b)に示す。同様に、提案方式を用いることで従来の1bitA/D変換と比べてBER特性が改善され、1ビット量子化時の量子化誤差の影響を軽減できることを明らかにした。

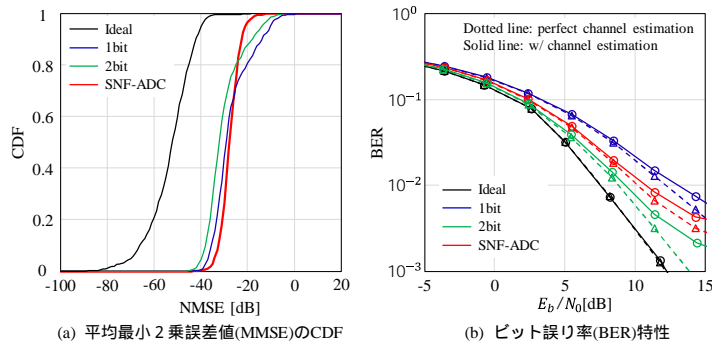


図10 1bit SNF-ADC適用時のチャネル推定特性とビット誤り率特性

(4) まとめと今後の展望

本研究では多素子MIMO無線基地局の低消費電力化のための適応信号処理技術を提案するとともに、詳細な特性評価を行いその有効性を示した。多素子MIMOの余剰のアンテナ自由度を活用することで送信ピーク電力の抑圧効果を向上でき、また異種無線網のセル間干渉の抑圧にも効果的であることを明らかにした。本研究ではマクロセルとスモールセルからなる異種無線網に着目し評価を実施したが、提案方式は一般的なセルラー網の干渉制御にも適用可能である。また、不要な電波干渉を無くすことは情報伝送のみにエネルギーを集約できるのでエネルギー効率の点からも有効である。エネルギー効率を重視した干渉制御の検討は今後の課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計31件（うち査読付論文 31件 / うち国際共著 26件 / うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 Tomoya Kageyama, Osamu Muta, Haris Gacanin	4. 巻 -
2. 論文標題 Enhanced Peak Cancellation with Simplified In-Band Distortion Compensation for Massive MIMO-OFDM	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2020.2986280	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Tomoya Kageyama, Osamu Muta, Haris Gacanin	4. 巻 -
2. 論文標題 Performance Analysis of OFDM with Peak Cancellation Under EVM and ACLR Restrictions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Vehicular Technology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TVT.2020.2982587	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 A. M. Benaya, Osamu Muta, Maha Elsabrouty	4. 巻 Vol. E103-B, No.3
2. 論文標題 Performance Analysis of Weighted Rank Constrained Rank Minimization Interference Alignment for Three-Tier Downlink Heterogeneous Networks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 pp.262-271
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transcom.2019EBP3084	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Wanming Hao, Gangcan Sun, Osamu Muta, Jiankan Zhang, Shouyi Yang	4. 巻 Volume 14, Issue 1
2. 論文標題 Coordinated Hybrid Precoding Design in Millimeter Wave Fog-RAN	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE System Journal	6. 最初と最後の頁 673 - 676
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JSYST.2019.2921557	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Sherief Hashima, Osamu Muta,	4. 巻 34
2. 論文標題 Fast Matrix Inversion Methods Based on Chebyshev and Newton Iterations for Zero Forcing Precoding in Massive MIMO Systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking	6. 最初と最後の頁 pp.1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s13638-019-1631-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Osamu Muta, Tomoya Kageyama	4. 巻 Vol. 8, No. 1
2. 論文標題 Performance Analysis of Precoded MIMO Systems with Adaptive Peak Power Suppression	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ITE Transactions on Media Technology and Applications	6. 最初と最後の頁 pp. 2-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3169/mta.8.2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Wanming Hao, Ming Zeng, Gangcan Sun, Osamu Muta, Octavia Dobre, Shouyi Yang, Haris Gacanin	4. 巻 Vol. 67, Issue 12
2. 論文標題 Codebook-Based Max-Min Energy-Efficient Resource Allocation for Uplink mmWave MIMO-NOMA Systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 pp. 8303-8314
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TCOMM.2019.2942308	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ahmed Nasser, Osamu Muta, Maha Elsbrouty, Haris Gacanin	4. 巻 Volume 7
2. 論文標題 Compressive Sensing Based Spectrum Allocation and Power Control for NOMA HetNets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 pp.98495-98506
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2019.2929185	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ahmed Nasser, Maha Elsabrouty, Osamu Muta	4. 巻 Vol.7, Issue 1
2. 論文標題 FDD Cooperative Channel Estimation and Feedback for 3D Massive MIMO System	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 pp.76283-76294
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2019.2920861	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Tomoya Kageyama, Osamu Muta, Haris Gacanin	4. 巻 Vol.E102-B, No.11
2. 論文標題 Enhanced Selected Mapping for Impulsive Noise Blanking in Multi-Carrier Power-line Communication Systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 pp.2174-2182
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transcom.2019EBP3081	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ahmed Nasser, Osamu Muta, Maha Elsabrouty, Haris Gacanin	4. 巻 Volume 68, Issue 7
2. 論文標題 Interference Mitigation and Power Allocation Scheme for Downlink MIMO-NOMA HetNet	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Vehicular Technology	6. 最初と最後の頁 pp.6805-6816
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TVT.2019.2918336	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tomoya Kageyama, Daisuke Kanemoto, Oruto Endo, Makoto Ohki, Osamu Muta	4. 巻 -
2. 論文標題 Effect of Hysteresis-based Simple Negative Feedback A/D Conversion on Channel Estimation for Single Carrier	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 pp.1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/comex.2020XBL0029	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shunsuke Kamiwatari, Osamu Muta	4. 巻 -
2. 論文標題 Cross-tier Interference Mitigation Considering Pilot Overhead for TDD MIMO Heterogeneous Networks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 pp.1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/comex.2020XBL0021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ahmed Nasser, Maha Elsabrouty, Osamu Muta	4. 巻 12
2. 論文標題 Alternative Direction for 3D-OFDM Massive MIMO FDD Channel Estimation and Feedback	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IET Communications	6. 最初と最後の頁 1380-1388
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1049/iet-com.2017.0916	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Wanming Hao, Osamu Muta, Haris Gacanin	4. 巻 17
2. 論文標題 Price-Based Resource Allocation in Massive MIMO H-CRANs With Limited Fronthaul Capacity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Wireless Communications	6. 最初と最後の頁 7691-7703
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TWC.2018.2869749	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Wanming Hao, Osamu Muta, Haris Gacanin, Hiroshi Furukawa	4. 巻 E102-B
2. 論文標題 Uplink Pilot Allocation for Multi-Cell Massive MIMO Systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 373-380
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transcom.2017EBP3312	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Wanming Hao, Osamu Muta, Haris Gacanin, Hiroshi Furukawa	4. 巻 Vol. 66, Issue 2
2. 論文標題 Dynamic Small Cell Clustering and Non-Cooperative Game-Based Precoding Design for Two-Tier Heterogeneous Networks with Massive MIMO	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 675-687
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TCOMM.2017.2756934	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Wanming Hao, Osamu Muta, Haris Gacanin, Hiroshi Furukawa	4. 巻 Vol. 67, Issue 2
2. 論文標題 Power Allocation for Massive MIMO Cognitive Radio Networks With Pilot Sharing Under SINR Requirements of Primary Users	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Vehicular Technology	6. 最初と最後の頁 1174-1186
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TVT.2017.2749599	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Wanming Hao, Osamu Muta, Haris Gacanin, Hiroshi Furukawa	4. 巻 Vol. E100-A, No.11
2. 論文標題 Performance Analysis on Uplink Pilot Allocation in TDD Massive MIMO Heterogeneous Networks	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 2314-2322
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.E100.A.2314	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計59件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 牟田 修, Wanming Hao
2. 発表標題 多素子MIMO/TDDのチャネル推定用パイロット割当に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 無線通信システム研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 牟田 修, 松崎 洸貴, Haris Gacanin
2. 発表標題 Two-dimensional Pilot Allocation for Uplink Channel Estimation in Massive MIMO/TDD Systems
3. 学会等名 電子情報通信学会 通信方式研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Osamu Muta
2. 発表標題 An Analytical Framework for MIMO-OFDM systems with Adaptive Peak Amplitude Suppression
3. 学会等名 IEICE Information and Communication Technology Forum 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考