

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18H01437

研究課題名(和文) 移動通信における人工知能を用いたシステム制御技術の研究

研究課題名(英文) A study on applications of artificial intelligence techniques to control systems for mobile communications

研究代表者

府川 和彦 (Fukawa, Kazuhiko)

東京工業大学・工学院・教授

研究者番号：00323775

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：高密度に配置された小セルはシステム容量を改善できるが、同一周波数帯を隣接セルが使用するため、セル境界でセル間干渉(ICI)が発生し問題となる。このICIを抑えるため、基地局の送信電力制御とMIMOの送信ビームフォーミング制御が有効となるが、従来手法の網羅的な全探索及び反復アルゴリズムによる近似最適化制御では演算量が膨大となり、実時間処理が困難となる。

この問題を解決するため、機械学習によってチャネル情報から特徴量を抽出し、各チャネルに応じた最適な送信電力とビームフォーミングを推定する手法を提案した。計算機シミュレーションにより、システム容量及び処理遅延の観点で提案手法の有効性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、次世代移動通信の小セルを含むヘトロジーニアス・ネットワークにおいて、同一チャネル干渉を抑えるための干渉抑圧技術に関するものであり、受信側で干渉キャンセルするだけでなく、送信側の複雑な干渉抑圧制御をニューラルネットワーク等の機械学習の技術を用いて低演算量で実行可能なことを示した。これは他の無線通信を含む大規模通信システムの制御についても応用可能であり、大規模ネットワークの実時間制御を計算機シミュレーションに基づき実証したことは、学術的及び社会的貢献として大いに評価できる。

研究成果の概要(英文)：Densely deployed small cells are effective in improving the system capacity. However, reusing the same channels in neighboring cells causes inter-cell interference (ICI), and degrades the system capacity. To reduce an amount of ICI, base stations (BSs) can optimize both transmit power levels and beamforming vectors for multiple-input multiple-output (MIMO). As conventional control schemes, the exhaustive search and iterative methods search for the transmit power levels and beamforming vectors that can maximize the system capacity, but require a prohibitive amount of computational complexity. To drastically reduce such complexity, this study applies machine learning techniques into the joint control of the transmit power levels and beamforming vectors for MIMO small cell networks.

Computer simulations demonstrate that the proposed schemes can improve the system capacity while reducing the computational complexity and run-time, compared to several conventional schemes.

研究分野：無線通信

キーワード：次世代移動通信 ヘトロジーニアス・ネットワーク 干渉抑圧 送信電力制御 送信ビームフォーミング制御 機械学習 CNN

### 1. 研究開始当初の背景

研究開始当初、携帯電話を含む次世代の移動通信システムでは、急増する需要に応え、かつ多種多様なサービスを提供するため、i) システム容量(単位面積当たりの通信速度の総量)を1000倍以上にすること、ii) 現行のLTE (Long Term Evolution) に較べて100倍以上のピーク伝送速度、即ちピーク伝送速度が10 Gbpsを越えること、iii) 無線区間での通信遅延をLTEに較べて1/5以下、即ち1ms以下にすること、iv) IoT (Internet of Things) を意識して、同時接続端末数をLTEに較べて100倍にすること、v) 通信量当たりのネットワークコスト低減や通信機器の省電力化が求められていた。

上記の要求条件を満足する技術の一つとして、ヘトロジーニアス・ネットワークが注目を集めていた。これはセル半径の大きいマクロセルに、セル半径の小さいピコセル等の小セルを混在させる技術である。セル半径を小さくする程、空間的周波数利用効率を高められるので、小セルの導入によりシステム容量を格段に増やすことができる。また、送信電力が制限された無線端末を収容して、接続端末数を増やしIoTの実現に寄与できる。しかしながら、小セル基地局が数多く無秩序に近い形で設置され、隣接するセルで同一周波数チャネルを用いるために、同一チャネル干渉が無視できず、伝送特性が大幅に劣化するという問題があった。

この干渉問題を解決するため、i) 基地局の送信電力を制御して与干渉を抑える送信電力制御、ii) 所望の無線端末の方向にのみ電波を放射し、他端末の方向には電波を放射しないように制御する送信ビームフォーミング、iii) 複数の基地局が連携して与干渉を抑える基地局連携送信が検討されていた。これらの技術を用いれば、ある程度同一チャネル干渉を抑えることができるが、個々に制御を行っているため、低演算量ではあるものの最適制御から程遠いと言わざるを得なかった。加えて、上記の技術は基地局側の送信技術であり、受信機は干渉キャンセル機能が無いことを前提としている。受信側である程度の干渉波をキャンセルできるならば、基地局側もキャンセルされる干渉波を放射する余地が出てくる。

本研究の研究課題は、次世代移動通信のヘトロジーニアス・ネットワークにおいて、干渉抑圧問題を解決するため、送信技術だけに頼ることなく、受信機も干渉キャンセラを備え干渉抑圧できることを前提とする。したがって、送信技術の自由度が増え、かつ基地局数は膨大となるため、送信電力制御、送信ビームフォーミング、並びに基地局連携送信を同時かつ最適に制御すると、実装不可能な程の膨大な演算量が必要となる。この演算量を大幅に削減しつつ、最適制御に近い干渉抑圧特性、言い換えれば最適システム容量を達成することが本研究課題であった。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、次世代移動通信のヘトロジーニアス・ネットワークにおいて、受信機も干渉キャンセル機能を有することを前提に、複雑かつ膨大な演算量を要する統合送信技術を低演算量で、かつ最適システム容量を達成するように制御することである。

学術的独自性と創造性については、i) 受信機も干渉キャンセル機能を有することを前提に、送信技術の自由度を増やしている点にあり、さらに ii) 統合送信制御を制約条件付き非線形最適化問題として捉え、演算量を削減できる逐次アルゴリズムとして、EM (Expectation-Maximization) アルゴリズムが有効であり、特に演算量を劇的に削減できる変分法的ベイズ推定 (VB: Variational Bayes) 法の適用を検討しており、iii) 自律分散制御を、最適化評価関数の周辺化と捉え、周辺化を効率良く行える VB 法や並列処理に適した Message-Passing アルゴリズムの検討は他に類を見ない。また更なる演算量削減を図るため、iv) ニューラルネットワークへの実装を想定し、機械学習のアルゴリズムを検討する点や、v) 上位レイヤーの制御のみならず、干渉キャンセルを行う物理層を室内実験系で動作確認を行う予定であり、理論のみならず実験による検討例は非常に少ない。

### 3. 研究の方法

上述の課題は、各ユーザの要求条件、例えば伝送速度、伝送品質、遅延時間の条件を満足しつつ、システム容量を最大化するように送信電力制御、送信ビームフォーミング、並びに基地局連携送信を行う。これは、制約条件付きの非線形最適化問題に帰着し、厳密解を求めるためには膨大な計算量を必要とする。この計算量を削減できるアルゴリズムが各種提案されているが、システム容量が相対的に劣化するという問題がある。

上記のシステム容量の劣化は、個々に送信電力制御、送信ビームフォーミング、並びに基地局連携送信を行うためであり、同時に最適化を行う必要がある。加えて、受信側である程度の数の干渉波をキャンセルするならば、基地局側もキャンセルされる干渉波を放射することができ、送信側の自由度が増え、増えた自由度を使って希望波の送信電力を増やすことができる。受信側の干渉キャンセル機能を前提に、統合送信技術の最適制御に対して、制約条件付き非線形最適化問題で従来から検討されているアルゴリズム、例えば、射影勾配法、有効制約法、乗数法、逐次2次計画法、罰金法、内点法等の適用を検討する。各アルゴリズムについて、簡単のためマクロセル数が7の条件で計算機シミュレーションを行い、演算量と収束性を定量的に評価し、問題点を

明らかにする。

加えて、自律分散制御の視点からアルゴリズムを検討する。移動通信はマルチセル環境であり、各基地局がセル内ユーザの通信を制御しており、全セルのユーザを集中制御するよりも、各基地局が自律分散制御する方が適している。また、自律分散制御は、制御すべきパラメータ数を大幅に削減することができ、演算量削減の観点からも好ましい。このような自律分散制御を行うと、他セルのパラメータについての情報は得られず、最適化の評価関数をこれらのパラメータに関して周辺化する必要がある。しかしながら、この周辺化はパラメータ数が非常に多いので、演算量が膨大になるという問題がある。この演算量を削減できる逐次アルゴリズムとして、ベイズ推定の EM アルゴリズムが有効であるので、EM アルゴリズムの内、特に演算量を劇的に削減できる VB 法の適用を検討する。さらに、周辺化を並列処理で効率的に計算できる Message-Passing アルゴリズムの観点からも、検討を進める。

上記検討したアルゴリズムの内、有望なものをニューラルネットワーク (NN) に実装することを考える。NN の学習には時間がかかるものの、学習後は繰り返し処理を必要とせず、低演算量で最適に近い制御が可能となる。まず、NN のレイヤー構造、統合送信制御の NN アルゴリズム、backpropagation (誤差逆伝播法) による NN のオフライン学習を検討する。さらに、学習を高速に収束させるディープラーニングの pre-training 技術、および overfitting (過学習) 現象を防ぐ学習の検証セットも適用する。加えて、教師データを用意するのが困難な場合や干渉条件の変化に適應するために、NN の教師無し学習が可能かどうか合わせて検討をする。

受信機側の干渉キャンセラについても検討を進める。希望波のトレーニング信号は既知であるが、干渉波のトレーニング信号は不明な条件下では、最適な干渉キャンセラは非線形マルチユーザ検出となる。この非線形マルチユーザ検出は、干渉波のトレーニング信号候補毎にチャンネル推定を行う必要があり、膨大な演算量が必要となり、低消費電力の無線端末に実装することができない。この演算量を削減しつつ、最適なビット誤り率特性が得られる干渉キャンセラを検討する。具体的には、従来の量子化チャンネル技術を発展させ応用するため、量子化チャンネル生成として従来のランダム生成法より効率の良い生成法を導入し、従来の局所空間探索ではなくチャンネル空間全体を探索する。次に生成したチャンネルを用いて、トレーニング信号区間の受信信号に対してマルチユーザ検出とチャンネル推定とを繰り返す。さらに、量子化チャンネル法では局所最適解に陥る問題があるため、これを避けるために、再演算処理を導入する。最終的に推定されたチャンネルを用いて、データ信号をマルチユーザ検出で検出する。計算機シミュレーションにより、提案方式が低演算量を達成しつつ最適受信に近い伝送特性が得られることを確かめる。

特に研究分担者は、上記の NN や干渉キャンセラを FPGA (Field Programmable Gate Array) 上に実装することを検討する。現在保有する FPGA 用に、ハードウェア記述言語によるプログラムを作成し、デバッグ完了後にインストールするが、FPGA のリソースの範囲内に収まるよう工夫する。さらに、NN が出力する制御値を基に送信機を制御し、受信機に干渉キャンセラを導入して室内実験を行う。RF アナログ回路等は保有しているので、これらを組み合わせる簡単な動作実証を行う予定であった。

#### 4. 研究成果

最初はシステム規模も小さい場合を検討し、徐々に基地局数を増加させ、大規模システムに必須の自律分散制御法を確立していった。

また、最適化アルゴリズムも上記の EM アルゴリズム、変分法的ベイズ推定法、変分法的ベイズ推定法や並列処理に適した Message-Passing アルゴリズムなどを検討した。しかしながら、EM アルゴリズムは演算量を減らすと近似精度が劣化し、繰り返し数を増やしても、局所的最適点に落ち込み、真の最適解へ近付けないことが明らかになった。一方、ベイズ推定法は事前確率の設定に性能が大いに依存し、好ましい事前確率群を見つけることが非常に困難であった。また Message-Passing アルゴリズムは繰り返し手法であり、最適解を見つけるのに膨大な繰り返し数が必要なことが明らかになり、演算量削減効果があまり期待できないことが判明した。結局、準ニュートン法の一つであり、ニューラルネットワークに用いられている Adam アルゴリズムが、演算量と収束性の観点で一番有望であるとの結論に達した。

さらにニューラルネットワークの構成も各種検討した結果、畳み込みニューラルネットワークが本検討にとって一番好ましい構成であることを明らかにした。

より具体的な研究成果は、三段階の発展を遂げてきたので、その詳細を以下に列挙する。

1) MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 通信で 3 セルのセルラーシステムを想定し、受信機の干渉キャンセル機能として簡単な MRC (Maximum Ratio Combining) を検討した。全システムの通信路容量を最大にするよう、機械学習の強化学習 (Reinforcement Learning) を送信電力及び送信ビームフォーミングの制御に適用した。計算機シミュレーションにより、演算量が膨大となる最適化手法 (全探索) に比べ、システム容量の劣化を抑えられ、かつ全探索よりも演算量を大幅に削減できることを確認した。さらに、教師信号の情報を不要とするため、機械学習の教師無し学習 (Unsupervised Learning) を適用し、Adam アルゴリズムを用いて学習の収束速度を上げた。加えて、3 セル以上にも適用できるように、評価関数を修正して自律分散制御法を検討した。計算機シミュレーションにより、7 セル、3 セクターアンテナのセルラーシステムにおいて、同様にシステム容量を改善できることを確認した。

2) MIMO 通信で7セル以上のセルラーシステムを想定し、受信機の干渉キャンセル機能として、線形受信では最適な MMSE (Minimum Mean Square Error) を検討した。全システムの通信路容量を最大にするよう、機械学習の強化学習を送信電力及び送信ビームフォーミングの制御に適用した。計算機シミュレーションにより、演算量が膨大となる最適化手法(全探索)に比べ、システム容量の劣化を抑えられ、かつ全探索よりも演算量を大幅に削減できることを確認した。さらに、教師信号の情報を不要とするため、機械学習の教師無し学習 (Unsupervised Learning) を適用し、Adam アルゴリズムを用いて学習の収束速度向上を図った。加えて、3セル以上にも適用できるように、評価関数を修正して自律分散制御法の導入を検討した。計算機シミュレーションにより、7セル、3セクターアンテナのセルラーシステムにおいて、同様にシステム容量を改善できることを確認した。上記の検討例は MMSE を前提にしていたが、MIMO の固有モード伝送及び注水定理に基づく送信電力制御を行い、1セルでの通信路容量を局所的に最大化し、これを他セルでも繰り返し行うことでシステム全体の通信路容量の最大化も検討した。

3) MIMO 小セルネットワークにおける同一チャネル抑圧のため、教師なし学習に基づく畳み込みニューラルネットワークを用いて、基地局の送信電力及び送信ビームフォーミングを制御する手法を提案した。さらに計算機シミュレーションを行い、この提案手法の特性を明らかにした。具体的に述べると、MRC 基準のシステム容量について提案手法はランダム制御手法より中央値で約 2.1 倍改善し、最適化手法(全探索)の約 91%の性能を達成できることを示した。また、MMSE 基準のシステム容量についても、提案手法はランダム制御手法より中央値で約 1.2 倍改善し、最適化手法(全探索)の約 98%の性能を達成できることを明らかにした。拡張して自律分散制御を行う場合についても、利己的戦略及び利他的戦略はランダム制御よりもシステム容量を改善できることを示した。また MRC 基準のシステム容量について、利己的戦略の場合で中央値が約 1.6 倍改善し、利他的戦略が約 1.8 倍改善した。MMSE 基準のシステム容量についても、利己的戦略の場合で中央値が約 1.3 倍改善し、利他的戦略が約 1.4 倍改善した。さらに、オンラインの畳み込みニューラルネットワークが最適化手法(全探索)と比較して計算量を大幅に削減でき、従来技術の WMMSE と比較して MRC で 1/4 以下 MMSE で約 1/7 の実行時間であることも明らかにした。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hideya SO, Kazuhiko FUKAWA, Hayato SOYA, and Yuyuan CHANG	4. 巻 Vol. E104-B, No.11
2. 論文標題 Metric-Combining Multiuser Detection Using Replica Cancellation with RTS and Enhanced CTS for High-Reliable and Low-Latency Wireless Communications	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 1441-1453
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transcom.2020EBP3150	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 -
1. 著者名 Hideya So;Hayato Soya, and Kazuhiko Fukawa	4. 巻 Volume 9
2. 論文標題 Spectrum Sensing Scheme Measuring Packet Lengths of Interfering Systems for Dynamic Spectrum Sharing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 135160-135166
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2021.3116951	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 朝倉慎悟 , 宮坂宏明 , 中村円香 , 村山研一 , 土田健一 , 府川和彦	4. 巻 vol.73, no.5
2. 論文標題 MIMO信号検出の低演算量化と二偏波チャネル測定値を用いた特性評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 映像情報メディア学会誌	6. 最初と最後の頁 993-1003
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3169/itej.73.993	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 -
1. 著者名 Katsuya Kato, Kazuhiko Fukawa, Ryota Yamada, Hiroshi Suzuki, and Satoshi Suyama	4. 巻 67
2. 論文標題 Low-complexity MIMO signal detection employing multi-stream constrained search	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Trans. Veh. Techno.	6. 最初と最後の頁 1217-1230
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TVT.2017.2751255	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 -

1. 著者名 Ahmet Ihsan Canbolat and Kazuhiko Fukawa	4. 巻 66
2. 論文標題 Joint interference suppression and multiuser detection schemes for multi-cell wireless relay communications: A three-cell case	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Trans. Commun.	6. 最初と最後の頁 1399-1410
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TCOMM.2017.2780246	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 -

1. 著者名 Huiyu Ye and Kazuhiko Fukawa	4. 巻 E101-B
2. 論文標題 Semi-Blind Interference Cancellation with Single Receive Antenna for Heterogeneous Networks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEICE Trans. Commun.	6. 最初と最後の頁 232-241
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transcom.2017EBP3058	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 -

1. 著者名 Huiyu Ye and Kazuhiko Fukawa	4. 巻 E101-B
2. 論文標題 Semi-blind interference cancellation with multiple receive antennas for MIMO heterogeneous networks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEICE Trans. Commun.	6. 最初と最後の頁 1299-1310
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transcom.2017EBP3201	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 -

〔学会発表〕 計52件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 野崎航平, 張 裕淵, 府川和彦, 平原大地
2. 発表標題 衛星搭載AISにおける衝突パケット数 3 以上の信号検出
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会 B-5-103
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野崎航平, 高根沢優和, 張 裕淵, 府川和彦, 平原大地
2. 発表標題 衛星搭載AISにおける高精度ドップラー周波数推定を用いた衝突パケットの分離検出
3. 学会等名 電子情報通信学会技術報告 SAT2020-38
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柘植健太, 張 裕淵, 府川和彦, 須山 聡, 浅井孝浩
2. 発表標題 ハイブリッド型Massive MIMOにおけるマルチクラスター時変動チャネルの適応予測
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会 B-5-58
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柘植健太, 張 裕淵, 府川和彦, 須山 聡, 浅井孝浩
2. 発表標題 ハイブリッドビームフォーミングを用いたMassive MIMOにおけるマルチクラスター時変動チャネルの適応予測
3. 学会等名 電子情報通信学会技術報告 RCS2020-252
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 京嶋裕幸, 張 裕淵, 府川和彦
2. 発表標題 D2D通信における干渉キャンセル機能付きFog Nodeを用いた無線リソース再利用
3. 学会等名 電子情報通信学会技術報告 RCS2020-209
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 京嶋裕幸, 張 裕淵, 府川和彦
2. 発表標題 D2D通信における干渉キャンセル機能付きFog Nodeを用いた無線リソース共有
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会 B-5-91
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kohei Nozaki , Yuwa Takanezawa , Yuyuan Chang , Kazuhiko Fukawa and Daichi Hirahara
2. 発表標題 Multiuser Detection of Collided AIS Packets with Accurate Estimates of Doppler Frequencies
3. 学会等名 IEEE VTC2021-Spring ( 国際学会 )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 玉田直人, 張裕淵, 府川和彦
2. 発表標題 MIMO無線通信ネットワークにおける教師なし機械学習に基づく送信電力及びビームフォーミング制御
3. 学会等名 電子情報通信学会技術報告 vol. 121 , no . 113 , CS2021-29 , pp . 63-68
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宋卉迎, 張裕淵, 府川和彦
2. 発表標題 周波数選択性フェージングチャネルにおけるPolar Code の符号化および復号
3. 学会等名 電子情報通信学会技術報告 vol . 121 , no . 153 , RCS2021-99 , pp . 1-6
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 Huiying Song, Yuyuan Chang, Kazuhiko Fukawa
2. 発表標題 Frozen Bits Design of Polar Codes over Frequency Selective Fading Channels
3. 学会等名 電子情報通信ソサイエティ大会 B-5-27
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野崎 航平, 張 裕淵, 府川 和彦, 平原 大地
2. 発表標題 衛星搭載AIS における高精度ドップラ周波数推定を伴う衝突パケットの反復チャネル推定
3. 学会等名 電子情報通信ソサイエティ大会 B-5-22
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 玉田直人, 張 裕淵, 府川和彦
2. 発表標題 CNNを用いたMIMO無線通信ネットワークの送信電力及びビームフォーミング制御
3. 学会等名 電子情報通信ソサイエティ大会 B-5-26
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kittikom Sangrit, Jessada Karnjana, Seksan Laitrakun, Kazuhiko Fukawa, Somchart Fugkeaw, and Suthum Keerativittayanun
2. 発表標題 Distance Estimation Between Wireless Sensor Nodes Using RSSI and CSI with Bounded-Error Estimation and Theory of Evidence for a Landslide Monitoring System
3. 学会等名 2021 13th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Aman Worasutr, Denchai Worasawate, Tiwat Pongthavornkamol, and Kazuhiko Fukawa
2. 発表標題 Improved Human Detection Algorithm by Indoor W-Band FMCW RADAR using K-means Technique
3. 学会等名 2021 9th International Electrical Engineering Congress (iEECON) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuyuan Chang, Yingqing Liu, and Kazuhiko Fukawa
2. 発表標題 Constant-Amplitude OFDM for Wireless Communication Systems
3. 学会等名 IEEE VTC2020-Spring (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 蔣 帥風, 張 裕淵, 府川和彦
2. 発表標題 MIMO小セルシステムにおけるニューラルネットワークを用いた送信電力と3Dビームフォーミング同時制御
3. 学会等名 信学技報, vol. 120, no. 74, RCS2020-47
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 劉 子昂, 張 裕淵, 府川 和彦
2. 発表標題 W-OFDMシステムにおける窓関数特性評価と低演算量ICIおよびISI除去技術
3. 学会等名 信学技報, vol. 120, no. 130, RCS2020-86
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柘植 健太, 張 裕淵, 府川 和彦, 須山 聡, 浅井 孝浩
2. 発表標題 ハイブリッドビームフォーミングを用いたMassive MIMOにおける時変動チャネルの適応予測
3. 学会等名 電子情報通信ソサイエティ大会, B-5-7
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高根沢 優和, 張 裕淵, 府川 和彦, 平原 大地
2. 発表標題 衛星AISにおけるドップラ周波数の推定誤差を考慮した衝突パケットのPICマルチユーザ検出
3. 学会等名 電子情報通信ソサイエティ大会, B-5-41
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shuai Feng Jiang, Yuyuan Chang, and Kazuhiko Fukawa
2. 発表標題 Neural Network-based Joint Control of Transmit Power and 3-Dimensional Beamforming for MIMO Small Cell Systems
3. 学会等名 電子情報通信ソサイエティ大会, B-5-63
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ziang Liu, Yuyuan Chang, and Kazuhiko Fukawa
2. 発表標題 Low Complexity ICI and ISI Cancellation Scheme for Windowed OFDM Systems
3. 学会等名 電子情報通信ソサイエティ大会, B-5-64
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Shuaifeng Jiang, Yuyuan Chang, and Kazuhiko Fukawa
2 . 発表標題 Distributed Inter-cell Interference Coordination for Small Cell Wireless Communications: A Multi-Agent Deep Q-Learning Approach
3 . 学会等名 CITS 2020 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Kenta Tsuge, Yuyuan Chang, Kazuhiko Fukawa, Satoshi Suyama, and Takahiro Asai
2 . 発表標題 Adaptive Channel Prediction for Hybrid Beamforming over Time-Varying Massive MIMO Channels
3 . 学会等名 WPMC 2020 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Yuyuan Chang and Kazuhiko Fukawa
2 . 発表標題 Quasi-Constant-Amplitude OFDM for Wireless Communication Systems
3 . 学会等名 2020 IEEE 92nd Vehicular Technology Conference (VTC2020-Fall) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Abhishek Maheshwari, Usana Tuntoolavest, and Kazuhiko Fukawa
2 . 発表標題 Implementation of the Nonbinary Encoder and Decoder for Systematic Low Density Parity Check Codes on Raspberry-pi boards
3 . 学会等名 2020 11th IEEE Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 野崎航平, 張 裕淵, 府川和彦, 平原大地
2. 発表標題 衛星搭載AISにおける衝突パケット数 3 以上の信号検出
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, B-5-103
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野崎航平, 高根沢優和, 張 裕淵, 府川和彦, 平原大地
2. 発表標題 衛星搭載AISにおける高精度ドップラー周波数推定を用いた衝突パケットの分離検出
3. 学会等名 信学技報, SAT2020-38
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柘植健太, 張 裕淵, 府川和彦, 須山 聡, 浅井孝浩
2. 発表標題 ハイブリッド型Massive MIMOにおけるマルチクラスター時変動チャネルの適応予測
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, B-5-58
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柘植健太, 張 裕淵, 府川和彦, 須山 聡, 浅井孝浩
2. 発表標題 ハイブリッドビームフォーミングを用いたMassive MIMOにおけるマルチクラスター時変動チャネルの適応予測
3. 学会等名 電子情報通信学会技術報告, RCS2020-252
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 京嶋裕幸, 張 裕淵, 府川和彦
2. 発表標題 D2D通信における干渉キャンセル機能付きFog Nodeを用いた無線リソース再利用
3. 学会等名 電子情報通信学会技術報告, RCS2020-209
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 京嶋裕幸, 張 裕淵, 府川和彦
2. 発表標題 D2D通信における干渉キャンセル機能付きFog Nodeを用いた無線リソース共有
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, B-5-91
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宗 秀哉, 征矢 隼人, 府川 和彦, 張 裕淵
2. 発表標題 高信頼低遅延無線通信システムのためのRTSおよび拡張CTSを用いたメトリック合成型マルチユーザ検出
3. 学会等名 信学技報, SR2018-98
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 樋田 有記, 張 裕淵, 府川 和彦
2. 発表標題 シンクノードを有する無線センサネットワークにおけるLT符号を用いたパケット伝送方式
3. 学会等名 信学技報, RCS2018-299
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柘植 健太, 張 裕淵, 府川 和彦, 須山 聡, 奥村 幸彦
2. 発表標題 ハイブリッド型Massive MIMOにおけるブロック対角化ビームフォーミングのためのパラメータ推定
3. 学会等名 信学技報, RCS2018-312
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 清水 星哉, 張 裕淵, 府川 和彦, 平原 大地
2. 発表標題 衛星搭載AISにおける衝突パケットの逐次分離検出
3. 学会等名 信学技報, RCS2018-316
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuyuan Chang and Kazuhiko Fukawa
2. 発表標題 Frequency domain phase noise compensation for millimeter wave MU-MIMO OFDM systems
3. 学会等名 IEICE Technical Report, SR2018-138
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 樋田 有記, 張 裕淵, 府川 和彦
2. 発表標題 無線センサネットワークにおけるレートレス符号を用いたパケット伝送方式
3. 学会等名 信学総大, B-5-92
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 清水 星哉, 張 裕淵, 府川 和彦, 平原 大地
2. 発表標題 衛星搭載AISにおける伝送路推定並びに衝突パケット分離検出
3. 学会等名 信学総大, B-5-21
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柘植 健太, 張裕淵, 府川 和彦, 須山聡, 奥村 幸彦
2. 発表標題 Massive MIMOにおけるブロック対角化を用いたハイブリッドビームフォーミングのパラメータ推定
3. 学会等名 信学総大, B-5-44
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宗 秀哉, 征矢 隼人, 府川 和彦, 張 裕淵
2. 発表標題 高信頼低遅延無線通信システムにおけるRTS および拡張CTSを用いたメトリック合成型マルチユーザ検出の伝送遅延時間特性
3. 学会等名 信学総大, B-5-53
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 京嶋裕幸, 張裕淵, 府川和彦
2. 発表標題 D2D通信におけるFog Node を用いるチャンネル再利用法
3. 学会等名 信学技報, vol. 119, no. 176, RCS2019-161
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 大川貴之, 張裕淵, 府川和彦
2. 発表標題 下り回線MIMO-NOMAにおけるマルチユーザ検出に基づく信号検出
3. 学会等名 信学技報, vol. 119, no. 176, RCS2019-146, pp. 1-6
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 張裕淵, 府川和彦
2. 発表標題 位相回転NOMAにおける3 ユーザ重畳信号の位相最適化
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-5-24
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 京嶋裕幸, 張裕淵, 府川和彦
2. 発表標題 D2D通信におけるFog Node を用いたチャネル再利用法
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-5-82
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宗 秀哉, 征矢隼人, 府川和彦, 張 裕淵
2. 発表標題 高信頼低遅延無線通信におけるシステム干渉の観測に基づくコンテンションウィンドウの適応制御法
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-5-83
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuyuan Chang and Kazuhiko Fukawa
2. 発表標題 Phase Rotated Non-Orthogonal Multiple Access for 3-User Superposition Signals
3. 学会等名 VTC2019-Fall (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenta Tsuge, Yuyuan Chang, Kazuhiko Fukawa, Satoshi Suyama, and Yukihiro Okumura
2. 発表標題 Parameter Estimation for Block Diagonalization based Hybrid Beamforming in Massive MIMO Communications
3. 学会等名 VTC2019-Fall (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuyuan Chang and Kazuhiko Fukawa
2. 発表標題 Evaluation for Wireless Sensor Networks with LT Codes Considering Probabilities of Transmission Failure
3. 学会等名 RWW (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuyuan Chang and Kazuhiko Fukawa
2. 発表標題 Non-Orthogonal Multiple Access with Phase Rotation Employing Joint MUD and SIC
3. 学会等名 VTC2018 Spring (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuyuan Chang and Kazuhiko Fukawa
2. 発表標題 Phase Noise Compensation for mm-Wave MU-MIMO OFDM Systems
3. 学会等名 SmartCom2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuyuan Chang and Kazuhiko Fukawa
2. 発表標題 Phase Rotated Non-Orthogonal Multiple Access for Superposition of 3-User Signals Employing Joint MUD and SIC
3. 学会等名 ISPACS 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 府川 和彦
2. 発表標題 時間情報を用いた無線信号処理
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

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>Fukawa Laboratory  <a href="http://www.radio.ce.titech.ac.jp/Publications">http://www.radio.ce.titech.ac.jp/Publications</a>  <a href="http://www.radio.ce.titech.ac.jp/prof_suzuki__thesis/thesis-j_main.html">http://www.radio.ce.titech.ac.jp/prof_suzuki__thesis/thesis-j_main.html</a></p>
--

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
研究 分 担 者	張 裕淵  (Chang Yuyuan)  (00725616)	東京工業大学・工学院・助教     (12608)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関