

報道機関 各位

国立大学法人 電気通信大学

## Beyond 5G・6G 実現のためのセルフリー大規模 MIMO 向け ダイナミック TDD 技術を開発—従来の約 2 倍の周波数利用効率を実現—

### 【ポイント】

- \* Beyond 5G（第 5 世代移動通信システム高度化）・6G（第 6 世代移動通信システム）実現のための、高速・大容量な通信を可能とする資源割当・ビームフォーミング設計技術
- \* 基地局の機能を物理的に分割することで、従来のセルに基づいた基地局設計よりも高い周波数利用効率を達成するセルフリー大規模 MIMO システムに着目し、各ユーザが上り・下りリンクでの通信を混在して要求している場合における資源割当・ビームフォーミング設計法を確立
- \* 分割した基地局機能に対し、個別に上り・下りリンク通信を割り当てることで、全ユーザの同時通信を実現
- \* 資源割当・ビームフォーミング設計に際し、システム全体の周波数利用効率の増大と、ユーザ同士の周波数利用効率のバランスを可能とし、ユーザ間の公平性を保ちつつ、従来手法と比較して、約 2 倍の周波数利用効率を実現

### 【概要】

電気通信大学先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センターの石橋功至教授、アブレウ・ジュゼッペ客員教授、飯盛寛貴協力研究員、博士後期課程 3 年福榮秀都氏（大学院情報理工学研究科情報・ネットワーク工学専攻）は、総務省受託研究「第 5 世代移動通信システムの更なる高度化に向けた研究開発」の成果として、5G 高度化・次世代の 6G に向けた高速大容量、多数同時接続を実現する資源割当・ビームフォーミング設計法を確立し、計算機シミュレーションにより、周波数利用効率を従来の約 2 倍に増大することを明らかにしました。この成果は世界的な権威である IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) が発刊する学術雑誌「IEEE Access」に掲載されました。

### 【背景】

2020 年から、日本においても第 5 世代移動体通信システム (5G) がローンチされ、ますますのスマートフォンの普及やインターネットコンテンツの発展、モノのインターネット (IoT) といった新たなサービスの誕生により、通信需要の多様化や要求される速度・容量、收容通信端末数の急増が見込まれています。しかしながら、現行の 5G システムにおいては、このような需要の変化や要求の爆発的な増大に対応できないことが予想されています。このため、Beyond 5G・6G では、次なるソサエティ 5.0 の実現を見据え、有限な無線通信資源を極限まで活用し、より多様な通信需要に対応可能な技術の確立が急務となります。

5G では、基地局に多数のアンテナを搭載することによって得られる、高い空間自由度を利用した大規模 MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) システムが採用されています。しかしながら、実際に達成可能な通信容量は基地局と各通信端末の位置関係といった通信環境に依存するため、一機の基地局に全アンテナが稠密に配置される大規模 MIMO では、無線資源を十分活用することがで

きず、所望される通信効率の達成が困難となる場合があります。そこで、通信環境が劣悪な場合においても高速で安定的な通信を担保するため、各セルに配置される基地局の機能を、信号伝送を行うアクセスポイント（AP）と信号処理を担う中央処理装置（CPU）に分割し、光フロントホールを用いて接続することで、信号の送受信点を空間中に分散配置することを可能としたセルフリー大規模 MIMO システムが注目を集めています（図 1）。

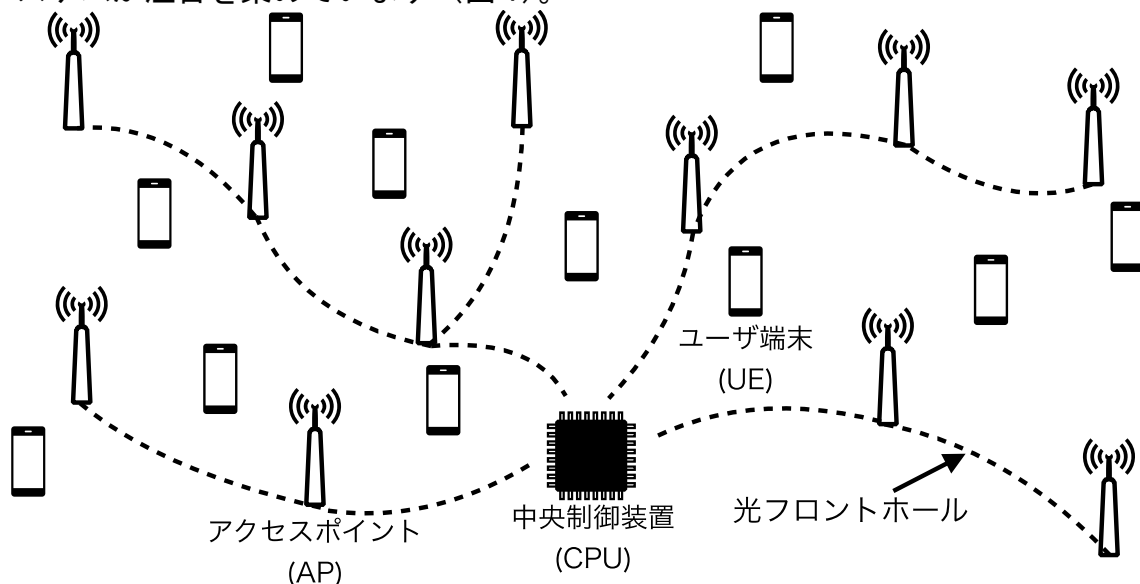


図 1 セルフリー大規模 MIMO システムの概要図

また、セルフリー大規模 MIMO システムでは一般的に TDD 方式を用いたユーザの収容が行われます。しかしながら、TDD 方式を用いたシステムは、通信の上り・下りリンクが固定されていることから、通信需要の変化によって多数の待機ユーザが発生し、通信効率の著しい劣化が生じてしまいます。一方で、この大規模 MIMO の分野においては待機ユーザ数を抑制するための検討が広く行われており、中でも通信需要に応じて柔軟に上り・下りリンクを切り替えるダイナミック TDD 方式が注目を集めています。しかしながら、ダイナミック TDD 方式はセルラー構造を持つ大規模 MIMO を前提に設計されており、セルの概念が存在しないセルフリー大規模 MIMO システムに対してそのままに適用することができません。

今回の提案では、AP ごとに上り・下りリンクを割り当てることによる全ユーザの同時通信を考え、凸最適化手法を用いた資源割当とビームフォーミングの同時設計方式を提案しました。また、アルゴリズム設計にユーザの公平性と総和周波数利用効率を最大化するような目的関数を用いることによって、ユーザの公平性を担保しつつシステム全体の周波数利用効率増大を実現することを可能としました。

### 【手法】

今回開発した資源割当・ビームフォーミング設計技術は、アンテナを具備するアクセスポイント（AP）を空間中に分散配置するセルフリー大規模 MIMO システムにおいて、ダイナミック TDD による同時通信を行うためのものです。今回の提案では、セルフリー大規模 MIMO システムにおいて、各 AP に上り・下りリンクを割り当てることで、全ユーザの同時通信を行います。この際、システム全体の通信速度とユーザの公平性を考えながら、電力割当とビームフォーミング設計を行う必要があります。しかしながら、この問題を解くためには膨大な範囲を探索する必要があり、実用的な時間で解を求め、システムを動作させることは困難でした。

本提案では、これに対し、組み合わせ制約の緩和手法や行列式の凸緩和手法を用いることで、高速に資源割当・ビームフォーミング設計を行うことが可能な設計アルゴリズムを実現しました。また、最適化問題の目的関数に従来の総和周波数利用効率ではなく、周波数利用効率の幾何平均を用いることで、ユーザ間の公平性を考慮した設計を行うことを可能としました。これにより、安定的で高い公平性を維持しつつ、従来の TDD 方式に対して約 2 倍の周波数利用効率を実現しました。

## 【成果】

性能評価として、計算機シミュレーションを用いた周波数利用効率の計算を行い、良好な特性が得られることを確認しました。

アクセスポイント数 ( $L$ )	64
アクセスポイントのアンテナ数 ( $M$ )	1
ユーザ端末数 ( $K$ )	16
ユーザ端末のアンテナ数 ( $N$ )	1
システムの有効範囲	$500 \times 500 [m^2]$
大規模フェージング ( $g, g_k, k_l$ )	$-35.3 - 37.6 \log_{10}(d) + z$
帯域幅	20 [MHz]
雑音電力 ( $\sigma_{ul/dl}^2$ )	-96 [dBm]
雑音指数	5[dB]
ユーザ端末の最大送信電力	100[mW]
アクセスポイントの最大送信電力	1[W]

表 1 シミュレーション諸元

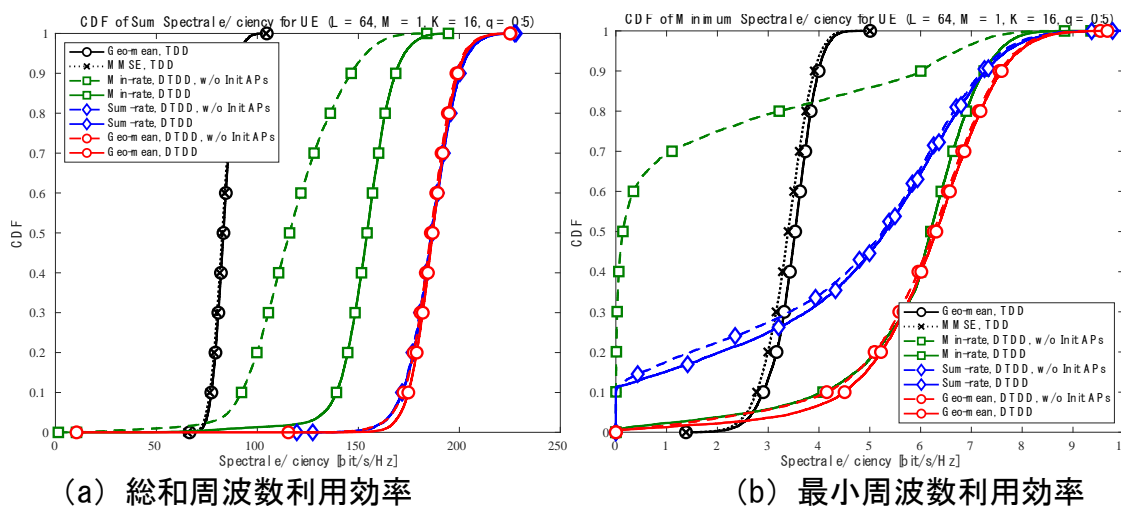


図 2 TDD、ダイナミック TDD 通信において各方式を適用した場合における周波数利用効率の CDF

図 2 (a)、(b) はそれぞれセルフフリー大規模 MIMO システムにおいて、ダイナミック TDD による上り・下りリンクの同時通信と、通常の TDD による通信が行われた場合における総和周波数利用効率、最小周波数利用効率に関するシミュレーション結果の一例です。横軸は周波数利用効率 (Spectral Efficiency)、縦軸は周波数利用効率の累積分布関数 (CDF: Cumulative Distribution Function) を示しています。

今回提案した周波数利用効率の幾何平均最大化を用いた資源割当・ビームフォーミング設計方式、総和周波数利用効率最大化、最悪ケース最大化を用いた資源割当・ビームフォーミング設計方式によるダイナミック TDD 通信 (図中 Geo-mean/Sum-rate/Min-rate, DTDD) と、最小平均二乗誤差 (MMSE: Minimum Mean Square Error) に基づく従来のビームフォーミング技術および今回提案した資源割当・ビームフォーミング技術を用いた TDD 通信 (図中 Geo-mean/MMSE, TDD) を行った場合について想定し、計算機シミュレーションによる比較を行った結果を示しています。また、提案アルゴリズムに組み込まれている資源割当精度向上のための AP 事前割当方式を用いない場合 (図中 w/o Init APs) との比較結果も示しています。両図より、今回の提案方式の結果は、従来の方式の結果に対して、多くの場合に右側に位置していることから、より優れた総和周波数利用効率と最小周波

数利用効率を実現していることを示しています。同様に、AP 事前割当方式を行った場合の結果は、AP 事前割当方式を行わない場合の結果に対して、常に右側に位置しており、AP 事前割当方式の有効性を示しています。これらの結果から、今回の提案方式は、従来の方式と比較して、約 2 倍の周波数利用効率を達成しながらも、ユーザの状況によらず公平かつ安定的に通信可能であることが確認できました。

### 【今後の期待】

Beyond 5G・6G では、スマートフォンによる大容量通信だけでなく、自動運転車やドローンといった IoT の普及による通信に対する需要の変化に対応しつつ、高速・大容量な通信を実現し、より高い周波数利用効率を達成する必要があります。本提案によって、セルフリー大規模 MIMO システムにおいて、様々な通信需要を持つユーザが混在するような環境においても、周波数利用効率性と公平性を両立して通信することが可能となりました。また、従来方式では通信速度の低下が起りがちな繁華街といった混雑するエリアにおいても快適な通信を行えるなどの効果が期待できます。

### （論文情報）

タイトル：“Joint Access Configuration and Beamforming for Cell-Free Massive MIMO Systems with Dynamic TDD”

著者：S. Fukue, H. Iimori, G. T. F. De Abreu, and K. Ishibashi

掲載誌：IEEE Access

公開日：2022 年 4 月 4 日

本誌リンク：<https://ieeexplore.ieee.org/document/9748109>

### 【連絡先】

<研究内容に関すること>

電気通信大学 先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター

【職名】教授

【氏名】石橋功至

Tel：042-443-5860 E-Mail：koji@awcc.uec.ac.jp

<報道に関すること>

電気通信大学 総務企画課 広報係

Tel：042-443-5019 Fax：042-443-5887

E-Mail：kouhou-k@office.uec.ac.jp