

令和3年3月2日

報道機関 各位

国立大学法人 電気通信大学

## 多数同時接続と超低遅延を実現する新たな通信技術（Beyond 5G/6G の実現に向けて） —圧縮センシングを活用したグラントフリー非直交伝送法の開発—

### 6G 時代を見据えた通信技術—電通大石橋准教授らが開発

電気通信大学の石橋功至准教授らは、6G 時代を見据えた最新の通信技術を開発した。圧縮センシングを活用し、通信許可なしで自由にデータをやり取りできるようにすることで、多数同時接続と超低遅延を可能にした。

#### ポイント

- ・Beyond5G（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）に向け、多数同時接続と超低遅延を同時に実現可能とする新たな通信方式です。
- ・時間・周波数空間を活用した非直交拡散と、圧縮センシングに基づいた効率的な復調によって、1ミリ秒以下という短時間で、数百から数千といった多数のユーザからの同時データ送信を可能としました。
- ・ソサイエティ 5.0 において普及が期待される自動運転やドローンによる自動配送、スマートファクトリーやリアルタイムヘルスケアなど、多数同時接続と超低遅延な通信が求められるアプリケーションを支える技術として、高い効果が期待できます。

#### （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石橋功至准教授と原郁紀氏（大学院情報理工学研究科情報・ネットワーク工学専攻博士後期課程2年）は、5G 高度化・次世代の6Gに向けた多数同時接続・低遅延を実現する新たな通信技術について、特許出願を行いました。

2020年から日本でも5Gのサービスが開始され、今後、自動運転やドローンによる荷物配送、リアルタイムヘルスケアといった低遅延性を要求するIoT製品が急増することが見込まれています。データ需要の大幅な増加により、ネットワークへの負担がますます増大し、5Gシステムでは、これらのIoT製品の通信要求に対応できなくなることが予想されています。

既存システムでは、データ送信の際には、通信の許可である「グラント」を基地局から取

得する必要がある、これが10ミリ秒程度の遅延を発生させていました。一方、今回の提案では、この手続きを省略し、端末がグラントなしで自由にデータを送信することができます。その際、各端末を特定するリファレンス信号を時間・周波数軸上に配置し、データ信号を周波数軸で繰り返し符号化した上で、送信することで、基地局において、圧縮センシングに基づいた効率的な情報復元を可能にします。

5Gの導入が進む中、既に5Gの高度化および6Gの研究開発が、世界中の研究機関やメーカーによって急速に進められています。本研究も、総務省「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」の委託を受け、株式会社KDDI総合研究所や株式会社構造計画研究所と共に実施している研究の中で開発されました。

本研究により、多数の端末と基地局の間の無線通信を、低遅延でかつ効率よく行うことが可能となりました。

#### （開発の内容）

多数の無線端末と、低遅延で通信するために、5GでもGF-NOMA（グラントフリー非直交多元接続）と呼ばれる方式が提案されています。GF（グラントフリー）とは、基地局による事前許可（グラント）を必要とせず通信を行う方法であり、NOMA（非直交多元接続）とは、同じ時間、周波数に複数の信号を重畳して送信し、効率的に無線資源を活用しながら多数の無線端末による通信を行う手法です。

通常は、端末がデータ送信を行う際には、「通信の許可」であるグラントを基地局から取得し、利用する電波の周波数や時間を決定した後にデータの送信を開始します。一方、GFでは、端末がグラントを取得する手続きを省略することで、単純かつ自由にデータを送信することが可能となります。グラントを省略することで、短時間に多数の情報送信が可能となるため、センサ等からの少容量のデータを非同期でやり取りする場合などに有効です。

また、既存システムにおいて、複数の無線端末がデータ送信を行う場合、時間/周波数/位相のような、直交性を満たす関係（合成されたものをそれぞれ元の成分に分解することが可能な関係）を利用しますが、NOMAでは直交関係が崩れるのを許容しつつ、同じ時間、周波数に複数の信号を重畳して送信し、受信後それぞれに分解、復調することで、既存システムよりも効率的に無線資源を活用しながら複数の無線端末による通信を可能としています。

GFとNOMAを組み合わせたGF-NOMAでは、グラントの省略により、基地局は実際にデータ送信を行っている無線端末（アクティブ端末）を事前に把握できないため、重畳された受信信号からアクティブ端末、通信路利得および送信データの全てを推定する必要があります。従来の時間方向にリファレンス信号やデータ信号を拡散するGF-NOMAでは、多数の端末を收容しようとする、遅延を数ミリ秒以下に抑えることが難しい上、極めて小容量のデータしか伝送できない課題がありました。また別のGF-NOMA方式であるスパース符号多元接続（SCMA）方式では、多重化された信号から各端末の情報を効率的に復調することが可能ですが、端末数の増加に伴って、復調に必要な計算量が指数的に増加してしまうことに加え、適

切な設計が困難となる課題がありました。

今回の研究では、各端末が自身を特定可能とするリファレンス信号を時間・周波数リソースの一部に配置し、残った時間・周波数リソースに（周波数方向に）繰り返し符号化したデータ信号を配置することで、高効率なグラントフリー伝送を行うものです。基地局では、通信路の周波数応答（CFR）のフーリエ変換対であるインパルス応答（GIR）の一部の要素のみが大きな値であるという性質（スパース性）を活用し、圧縮センシングと確率伝播法に基づく推定法を用いることで、1ミリ秒以下という短時間で多数ユーザによるデータ送信を可能にしました。

図1に各端末から送信する信号の構成例を示します。図1に示すように、各端末を特定するリファレンス信号を時間・周波数軸上（パイロット部）に配置して送信を行うことで、インパルス応答のスパース性を活用した圧縮センシングに基づき、アクティブ端末および通信路のインパルス応答の推定を効率的に行います。また、データ信号を周波数軸で繰り返し符号化した上で、送信することにより、効率的な復調を可能としています。

図2(a)に従来手法のイメージを、図2(b)に今回の発明のイメージを示します。従来手法では、パイロット部のサブキャリアごとに独立して周波数応答の推定を行います。それに対して今回の手法では、パイロット部の受信信号からインパルス応答の推定を行い、インパルス応答の推定値に基づいてデータ部の周波数応答を補完し、データの復調を行っています。

図1 伝送のイメージ図

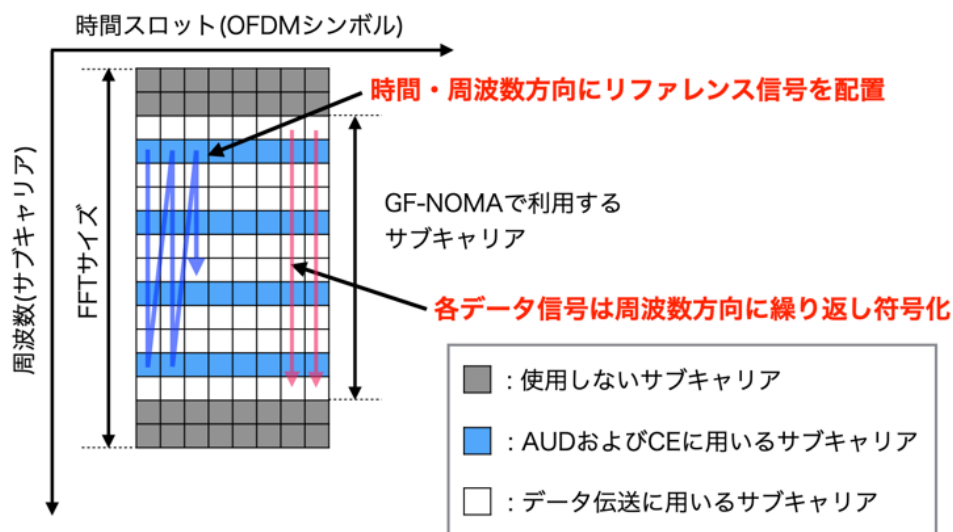
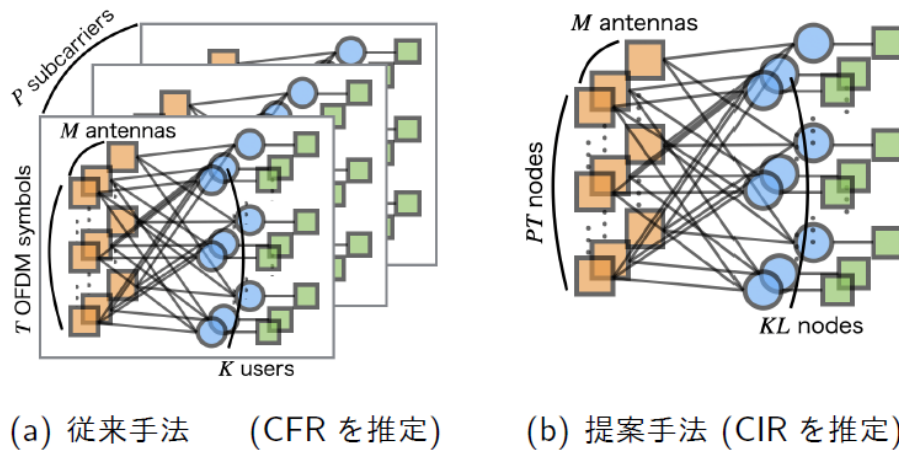


図2 インパルス応答推定のイメージ図



(研究開発の結果)

1 ミリ秒の伝送時間、1 ユーザあたり 125 バイトのデータ伝送、5G New Radio の物理層を想定した場合、理論上最大で 30 万台のユーザ端末（うち 10%に当たる 3 万台の端末が毎回ランダムに送信）が収容できることがわかりました。また、シミュレーションで伝送特性を評価し、良好な特性が得られることを確認しました。

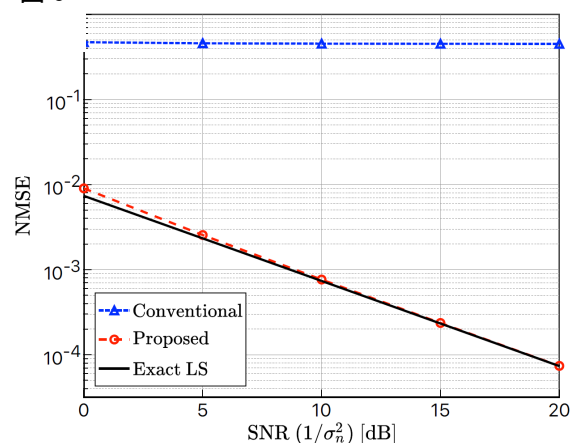
表 1 ではシミュレーションに用いたパラメータ、図 3~5 では横軸に SNR (Signal to Noise Ratio: 信号対雑音比)、縦軸にそれぞれ NMSE (Normalized Mean Square Error: 正規化平均二乗誤差、BER (Bit Error Rate: ビットエラーレート)、アクティブ端末 1 台あたりの実効スループット (Effective throughput) を示します。図 3 から時間軸方向のみを用いた従来手法では推定した通信路値の精度を表す正規化平均二乗誤差 (NMSE: Normalized Mean Square Error) が高い値で一定となっており、通信路の推定が全くできていないことに対して、提案手法では、1 ミリ秒の制約の中で理想的な推定 (Exact LS) に漸近する値を示しています。また図 4、5 から今回の方法が 1 ミリ秒という低遅延を実現しながら、ユーザあたり 100 バイト程度の実効スループットを達成できていることが判ります (図中赤線)。これは時間軸のみを利用する従来方式と比較して、約 5.6 倍の実効スループットを達成していることとなります。

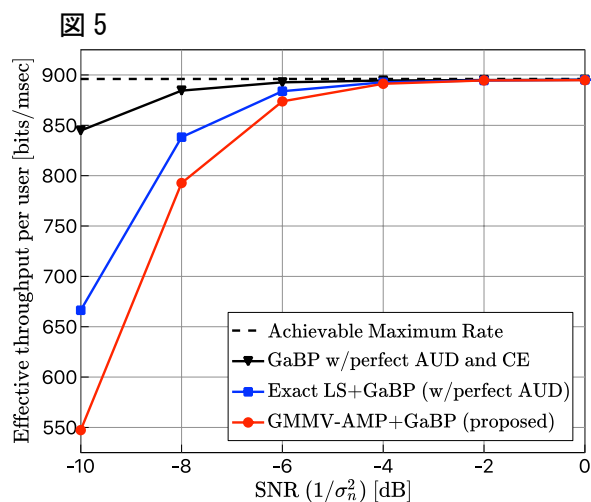
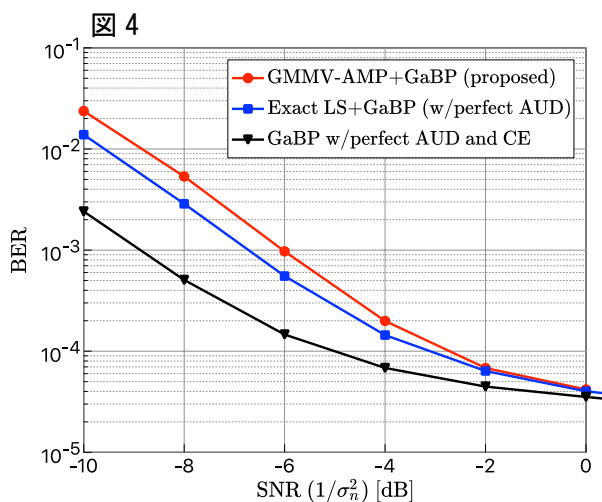
表 1

Table: Simulation parameters

全ユーザ数 $K$	500
アクティブユーザ数 $K_a$	50
BS のアンテナ数 $M$	8
全サブキャリア数 $N$	4096
パイロットサブキャリア数 $P$	36
データサブキャリア数 $D$	18
使用する OFDM シンボル数 $T$	28
CIR のタップ長 $L$	25
パス数 $L_{\text{path}}$	6
サブキャリア間隔 $\Delta B$	30[kHz]
システム帯域幅 $B_s$	10[MHz]
GMMV-AMP の最大繰り返し回数	200
GaBP の繰り返し回数	16

図 3





(研究開発の効果)

これまでにない低遅延 (1msec 以下)・多接続 (最大 3 万台の同時送信) で、100 バイト程度の情報が伝送できることから、今まで実現できなかった様々なアプリケーションが実現可能となります。

例えば膨大な数のセンサからのリアルタイム情報取得、医療分野でのリアルタイム遠隔治療・診察等への活用、自動車やバイクなどの自動運転、ロボットの遠隔操作、配送ドローンの制御等の応用が考えられます。

また将来には、現時点では予想されないような、新しいサービスの実現に向けて寄与することも期待されます。

(特許)

出願番号 (出願日) : 特願 2021-029542 (2021 年 2 月 26 日)

(お問合わせ先)

研究内容に関すること

国立大学法人 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

准教授 石橋功至

電話 : 042-443-5781

E-mail: koji@awcc.uec.ac.jp

報道に関すること

国立大学法人 電気通信大学 総務企画課広報係

電話 : 042-443-5019

E-mail: kouhou-k@office.uec.ac.jp