

スマートフォンサイズのNOMA 対応チップセットによる周波数 利用効率向上の実証実験

先進技術研究所 5G推進室 ベンジャブール アナス きしやま 岸山 よしひさ 祥久 おくむら 奥村 ゆきひこ 幸彦

今後のさらなるユーザ体感品質の向上およびシステム性能改善に向けて、第5世代移動通信システム（5G）の標準化および実証実験が進められている。5Gの要求条件を実現する手段として、新たな周波数帯の開拓に加えて、既存周波数帯の周波数利用効率を向上させることが検討されている。ドコモは、周波数利用効率向上を実現する無線アクセス技術として、複数ユーザの信号を同一周波数を用いて同時に送信するNOMA技術を提案してきた。本稿では、NOMA技術のさらなる高度化をめざし、ドコモとMediaTekが共同で行った屋外実験について概説する。

1. まえがき

移動通信システムにおける無線通信方式は、1980年代に普及した第1世代（1G）のアナログ音声通話サービスからほぼ10年ごとに世代が移り変わり、LTEから現在の第4世代（4G）のLTE-Advancedへと進化してきた。第5世代移動通信システム（5G）では、①モバイルブロードバンドのさらなる高度化（eMBB：enhanced Mobile BroadBand）、②多数同時接続を実現するマシンタイプ通信（mMTC：massive

Machine Type Communications）、③高信頼・低遅延通信（URLLC：Ultra-Reliable and Low-Latency Communications）などさまざまな利用シナリオをサポートすることが要求されている [1] [2]。

国際標準化団体である3GPPでは、利用シナリオの実現に向け、LTE-Advanced無線通信方式の発展と並行してLTE-Advancedとの後方互換性の無い新しい無線通信方式（NR：New Radio）の検討を2016年3月から進めている。NRでは、セルラで用いられている既存の周波数帯からミリ波^{*1}を含む高い

周波数帯までをサポートでき、かつeMBBサービス*2やURLLCサービス*3といった多様なサービスを1つのシステムで実現できることが求められる。また、さらなるユーザ体感品質の向上およびシステム性能改善に向けて、LTE-Advancedの発展技術やNR無線インタフェースを周波数利用効率*4向上に活用する必要がある。そのため、多素子アンテナを用いたMassive MIMO (Multiple Input Multiple Output)*5や非直交多元接続 (NOMA: Non-Orthogonal Multiple Access) が5Gにおける主要な要素技術として着目されてきた [3] [4]。中でもドコモから提案された新しい多元接続法であるNOMAは、国外のプロジェクトや国際会議においてキートピックとして扱われており、近年高い注目を集めている [5]。3GPPではLTE Release 14 (LTE-Advanced無線インタフェース) においてNOMAの標準仕様化を完了し、MUST (Multi-User Superposition Transmission) と称すこととした [6]。なお、今後は新たな無線インタフェースであるNR上でのNOMAの導入に向けて送受信機の拡張・高度化などが期待されている。

これまでドコモは、NOMAの性能を実伝搬環境で確認するため、NOMAを開ループ*6 2×2 SU (Single User) -MIMO*7と組み合わせたときの屋内・屋外実験を行ってきた [7]。また、2015年11月からMediaTek Inc. (以下、MediaTek) と協力し、NOMAのさらなる高度化に向けた共同実験を開始した [8]。共同実験の目的として、NOMAを開ループ4×2 SU-MIMOと組み合わせるためのチップセットを開発し、MUSTと比較して無線インタフェース (フィードバック情報およびシグナリング情報など) および受信機の拡張・高度化により周波数利用効率の向上を図る。本共同実験では、NOMA対応チップセットを搭載したスマートフォンサイズの端末を開発し、NOMAを開ループ4×2 SU-MIMOと組み合

わせたときの性能を実伝搬環境において実証した。本稿では、2017年8～10月までにドコモとMediaTekが台湾・新竹市において共同で行った屋外実験結果について概説する。

2. 下りリンクNOMA技術

これまでの無線通信方式における多元接続法は、1GではFDMA (Frequency Division Multiple Access)*8, 2GではTDMA (Time Division Multiple Access)*9, 3GではCDMA (Code Division Multiple Access)*10と進化してきた。4Gはさらにサブキャリア*11間の直交性を利用したOFDMA (Orthogonal FDMA)*12が用いられている。これに対し、NOMAは、下りリンクに適用する場合はセル内の複数のユーザ端末 (UE: User Equipment) への信号を基地局側で同一の無線リソース上に多重し、同時に送信する多元接続法である。これにより、さらなる周波数利用効率の向上が期待できる [9]。NOMAでは電力軸方向で複数ユーザ信号を意図的に非直交で多重させる。下りリンクNOMAの基本原則を図1に示す。

下りリンクを対象にセル内に存圏するUEのうち、基地局に近く受信品質の良いセル中央のUE (図1のUE#1) とセル端付近の受信品質の悪いUE (図1のUE#2) をペアとして選択し、それらに向けて同じ時刻の同じ周波数リソースを使って多重したものを基地局から送信する。ここで、UE#2宛ての信号に対しては、より多くの電力を割り当てるのに対し、UE#1宛ての信号には少ない電力を割り当てる。

受信側に着目すると、基地局に近いUE#1にはUE#1宛てとUE#2宛ての信号が多重されて届くためユーザ間干渉が生じるが、2つの受信信号の間に一定の電力差があれば簡易な干渉除去処理により信

*2 eMBBサービス: モバイルブロードバンドの拡張 (超高速・大容量化) を要求するサービス。

*3 URLLCサービス: 高信頼通信および低遅延通信を同時に要求するサービス。

*4 周波数利用効率: 単位周波数当りに送信可能な最大情報量。単位はbps/Hz。

*5 Massive MIMO: 超多素子のアンテナを利用する大規模MIMOのこと。高い周波数帯ではアンテナ素子サイズを小さくすることができるため、5Gでの実用化が期待されている。なお、MIMOとは、同一時間、同一周波数において複数の送受信アン

テナを用いて信号の伝送を行い、通信品質および周波数利用効率の向上を実現する信号伝送技術。

*6 開ループ: 受信機からのフィードバック情報を送信機が用いない場合のこと。なお、閉ループは、受信機からのフィードバック情報を送信機が用いる場合のこと。

*7 SU-MIMO: 1ユーザを対象に基地局および端末間で複数のアンテナで複数の信号系統を送り、多重化して送信する技術。

*8 FDMA: 同一の無線アクセスシステム帯域内において、複数ユーザの信号を送信する際に互いに異なる周波数を用いて送信すること。

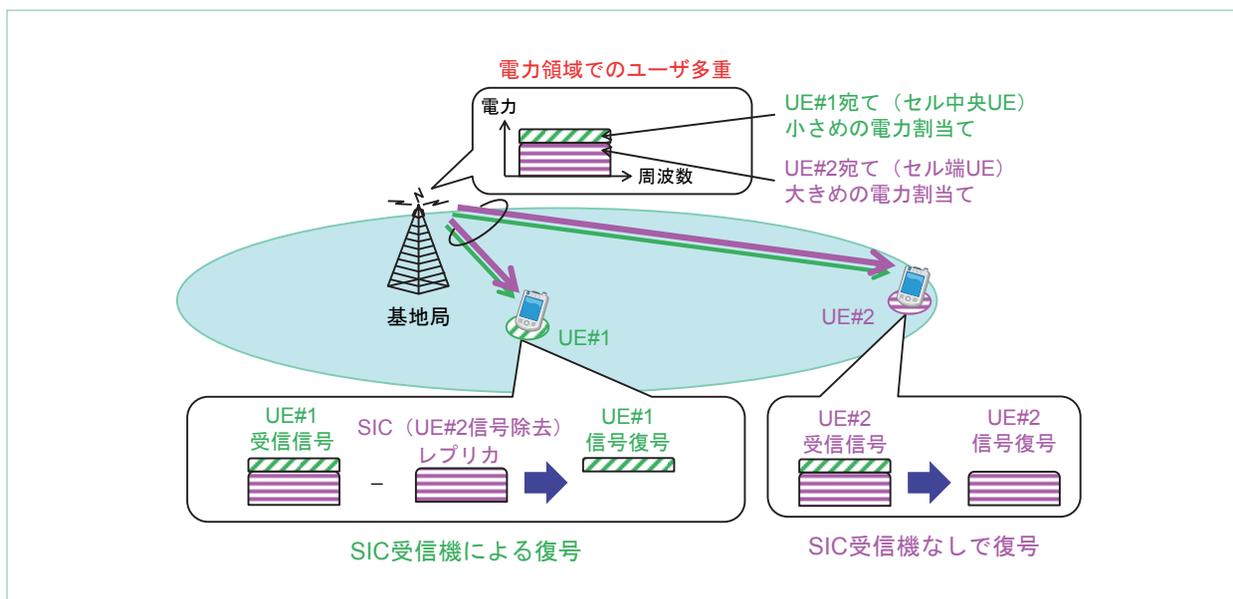


図1 下りリンクNOMA基本原理

号分離が可能となる。

この場合のUE #1とUE #2の受信側の処理を以下に解説する。

(1)UE #1の処理

基地局に近いUE #1は、干渉となる受信電力の強いUE #2宛ての信号のみをまず復号し、この復号した信号を用いてUE #2の信号の複製（レプリカ*13）を作成し、受信信号から減算を行うことでUE #1宛ての信号を分離、復号することが可能となる。このような信号分離処理は逐次干渉キャンセル（SIC：Successive Interference Cancellation）*14と呼ばれている。なお、SICにはシンボル*15単位で行うものとコードワード*16単位で行うもの（CWIC（Codeword level SIC）*17）の2種類がある。シンボル単位で行う場合は、UE #2の干渉信号を除去するにあたり、干渉信号シンボル（UE #2）を復調し、復号を行わずに再度変調することでUE #2からの干渉信号シンボルのレプリカを生成し、受信信号から減算する。

CWICの場合は、UE #2の干渉信号を除去するにあたり、干渉信号シンボル（UE #2）を復調、復号して得られるビット系列*18を再度ターボ符号化*19、変調することでUE #2からの干渉信号のレプリカを生成し、受信信号から減算する。

このようなSIC信号分離処理は3Gから検討されてきたが、端末側で高度な処理能力が要求されるため実現が難しかった。しかしながら、昨今の端末性能の急速な向上に伴い、実用化が期待されている技術である。

(2)UE #2の処理

一方でUE #2に着目すると、干渉信号に当たるUE #1宛ての信号には低い送信電力が割り当てられているため、SICを適用せず直接UE #2宛ての信号を復号できる。

基地局は、スケジューラにおいてサブフレーム*20単位で動的にNOMA適用可否を選択できるため、

*9 TDMA：同一の無線アクセスシステム帯域内において、複数ユーザの信号を送信する際に互いに異なる時間を用いて送信すること。
 *10 CDMA：同一の無線アクセスシステム帯域内において、複数ユーザの信号を送信する際に互いにことなる拡散符号を用いて送信すること。
 *11 サブキャリア：OFDMなどのマルチキャリア伝送において信号を伝送する個々の搬送波のことをいい、副搬送波とも呼ばれる。
 *12 OFDMA：OFDMを用いた無線アクセス方式。OFDMは高速データレート of 広帯域信号を多数の低データレートのマルチ

キャリア信号を用いて並列伝送することにより、マルチパス干渉に対する耐性の高い高品質伝送を実現する方式。
 *13 レプリカ：特定された送信信号の推定値に対する受信信号を再生したものの。
 *14 逐次干渉キャンセル（SIC）：複数の信号が合成された受信信号から1つずつ信号を検出、キャンセルしながら信号分離を行う方法。
 *15 シンボル：伝送するデータの単位であり、OFDMの場合は複数のサブキャリアから構成される。各シンボルの先頭にはCPが挿入される。

NOMAは既存のLTE/LTE-Advanced端末をサポートするネットワーク上においても実装可能である。また、LTE/LTE-Advancedで適用されているような技術との組合せも可能となる。例えば、LTE/LTE-Advancedで導入されているMIMOとNOMAを組み合わせることで、送信アンテナ数以上のデータストリーム^{*21}を多重することができ、システム性能を向上させることができる。そして、NOMAはLTE-Advancedの発展技術として位置付けることも可能であり、5Gの新たな無線インタフェース（NR）で利用することも考えられている。

3. 下りリンクNOMAとSU-MIMOの組合せ

基地局数が1、多重UE数が2のときの下りリンク

NOMAとSU-MIMOを組み合わせた場合の動作原理を図2に示す。各ビームは送信レイヤ^{*22}の違いを表している。2つのUEはパスロス差が大きいセル中央（基地局近傍）UE（UE#1）とセル端UE（UE#2）を想定する。基地局において、UEからフィードバックされたチャンネル情報に基づいてプリコーダを生成し、各UEへの送信信号に対してプリコーダを適用（乗算）した後、異なる送信電力で非直交多重を行い送信する。各UEに対して複数レイヤで送信することを前提としているため、両UEの送信ランク^{*23}が共に2の場合、基地局が2送信アンテナを用いて2UEに対して最大4ストリームを送信することになる。プリコーダを用いるLTE TM（Transmission Mode）^{*24} 4閉ループSU-MIMOでは、UEからのフィードバック情報に基づいてプリコーダが決定される。一方で、NOMAにプリコーダを用いるSU-MIMOを

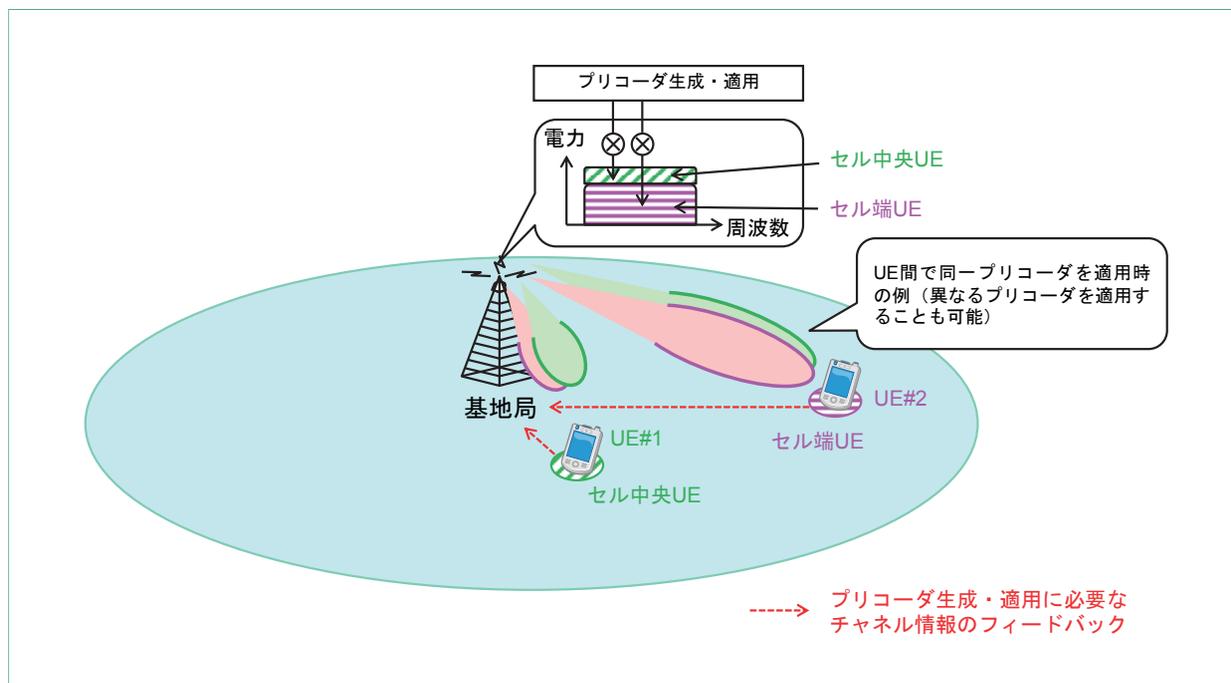


図2 下りリンクNOMAにSU-MIMOを組み合わせた場合の動作原理

*16 コードワード：誤り訂正符号化の単位であり、MIMO多重伝送適用時、1または複数コードワードの伝送を行う。
 *17 CWIC：干渉ユーザの信号を復号して干渉レプリカ信号を生成し、コードワード単位で干渉除去処理を行う方法。
 *18 ビット系列：Word（ワード）と呼ばれる情報ビット系列。Wordは情報の最小単位である1bit（ビット）を複数個束ねた1語のこと。
 *19 ターボ符号化：誤り訂正符号化技術の1つ。復号結果の信頼度情報を用いて、繰返し復号することにより、強力な誤り訂正能力が得られる。

*20 サブフレーム：時間領域の無線リソースの単位であり、複数のOFDMシンボル（LTEでは14OFDMシンボル）から構成される。
 *21 データストリーム：MIMO送信において送信されるデータ系列。
 *22 レイヤ：MIMOにおける空間ストリーム。
 *23 送信ランク：MIMOにおいて同時に送信するレイヤ（空間ストリーム）の数。
 *24 LTE TM：LTEで規定されているMIMO送信モード（TM）。

組み合わせた場合、適用するプリコーダの組合せによって、非直交多重するユーザ間の同一ストリーム間の干渉量が異なる。ユーザ間に同一プリコーダを適用した場合、ユーザ間干渉量は多重電力比に一致する。このとき、UEからのフィードバックに基づくものとは異なるプリコーダが適用される場合もあるため、プリコーディング*25利得*26が減少する可能性がある。一方、ユーザ間に異なるプリコーダを適用する場合、UEからのフィードバック情報に基づいてプリコーダを適用することが可能となるため、所望信号に対するプリコーディング利得を最大化することが可能となる。しかしながら、SICを適用するUE#1に着目すると、UE#2の送信プリコーダはUE#1のチャンネルに対して最適とは限らない。そのため、UE#1に対するUE#2のプリコーディング利得が減少し、ユーザ間干渉が小さくなる可能性がある一方で、UE#1におけるSIC適用時のUE#2の信

号レプリカ生成精度が劣化する可能性もある。

4. NOMA実験概要

2014年4月～2015年7月にドコモが単独で行った実験では、NOMAにより端末2台の信号を非直交多重し、下りリンク2×2開ループSU-MIMO (TM3)を適用した場合の屋内・屋外実伝搬環境におけるスループット特性を測定した [7]。そして、2015年11月からドコモはMediaTekと協力し、NOMAの高度化に向けた共同実験の取組みを開始した [8]。2017年8月から10月の間においては、スマートフォンサイズの端末にNOMA対応チップセットを搭載し、端末3台を用いて4×2閉ループSU-MIMO (TM8)を適用した場合のNOMAおよびSU-MIMOのスループット性能を屋外実伝搬環境において測定した。本伝送実験装置を写真1に示す。

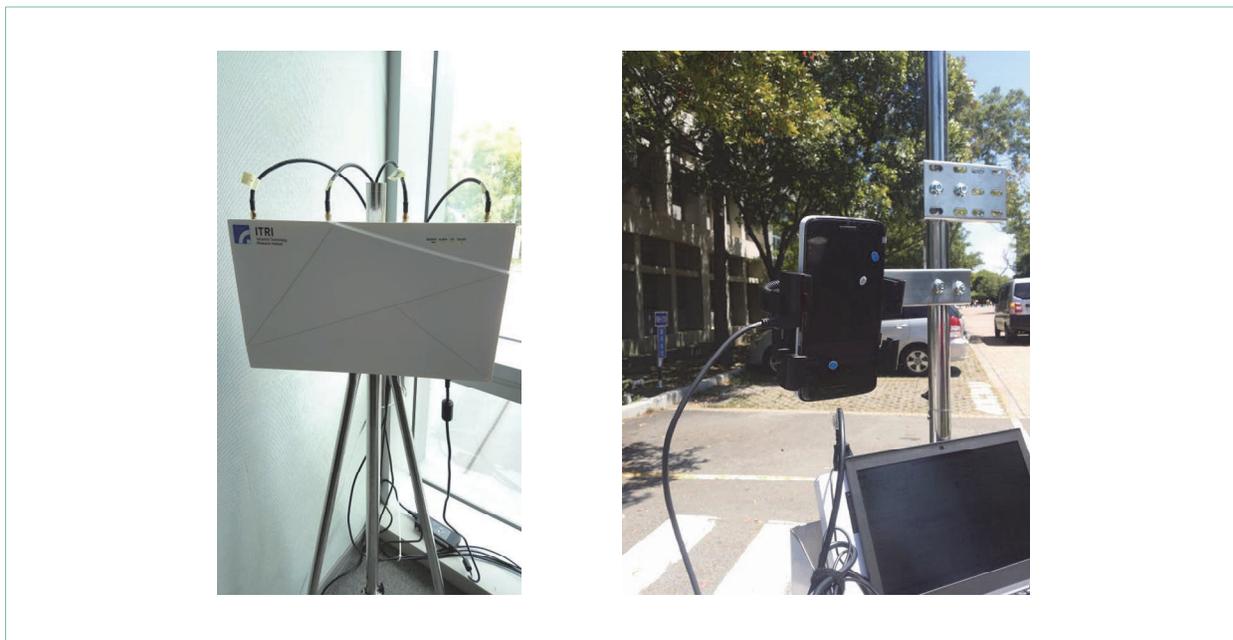


写真1 基地局装置（左）および移動局装置（右）の外観

*25 プリコーディング：MIMOにおいて、送信する前の信号に送信機から受信機までの無線伝搬路に応じた重みをあらかじめ乗算することで、受信品質を向上させる処理。

*26 利得：アンテナの放射特性の1つで、アンテナの最大放射方向の放射強度が基準アンテナの何倍あるかを示す指標。

(1)実験構成

フレーム構成はLTE Release 8下りリンクをベースとし [10], 1msのサブフレーム内にチャンネル推定^{*27}に用いるセル固有参照信号 (CRS: Cell-specific Reference Signal)^{*28}, データチャンネルなどがマッピングされる。基地局とUEの諸元を表1に示す。基地局の最大総送信電力は500mW, アンテナ高は基地局が約10m, UEが約1.5mであり, 基地局側は同一偏波^{*29}の4送信アンテナでアンテナ間隔を1.5波長とした。また, UE側は2受信アンテナを用いた。送信信号の帯域幅が10MHzで, 中心のキャリア周波数^{*30}としては3.5GHzを使用した。端末の最大総送信電力は200mWとして市販のMediaTek Helio[®]^{*31}

チップセットのNOMA試験版を搭載した。同時多重UE数は最大3とし, データ信号はUEごと独立にターボ符号化, データ変調およびプリコーディングを適用し, ビーム (レイヤ) ごとに最大2台までを非直交多重し, MIMO送信にはLTE TM8 [3] に基づく4×2閉ループSU-MIMOを適用する。ユーザあたりのレイヤ数は最大2とした。また, 非直交多重を適用するユーザ間のプリコーダとして同一のものを適用した。プリコーダのフィードバック情報に関して送信ランクを2に固定した想定で, 本実験の目的で設計した12個のPMI (Precoding Matrix Indicator)^{*32}をフィードバック可能な, TM8の改良版を用いた。フィードバック周期は10msとした。

表1 NOMA屋外実験装置諸元

項目	値
キャリア周波数	3.5GHz
帯域幅	10MHz
アンテナ高さ	基地局: 10m, UE: 1.5m
UE送信電力	最大200mW
基地局送信電力	最大500mW
デュプレックス	TDD
サブキャリア間隔	15kHz
サブフレーム長	1ms
UE数	最大3台
基地局送受信機数	4
UE送受信機数	2
MIMOモード	TM8の改良版 (24個のPMIのフィードバックに拡張)
フィードバック情報の周期	10ms
レイヤ数	最大2レイヤ (UE当り)
受信機	CWICなど

^{*27} チャンネル推定: 信号が無線チャンネルを経由した際に受けた減衰量および位相回転量などを推定すること。得られた推定値 (チャンネル情報) は, 受信側でMIMOの信号分離やデータ復調およびフィードバックするチャンネル情報の算出などに用いられる。

^{*28} セル固有参照信号 (CRS): 下りリンクの受信品質測定などに用いられる各セル固有の参照信号。

^{*29} 偏波: 電界の振動する方向。電界が地面に対して垂直な面内で振動する場合を垂直偏波, 水平な面内で振動する場合を水平偏波という。

^{*30} キャリア周波数: 搬送波周波数。搬送波とは情報を伝達するために変調される電波。

^{*31} MediaTek Helio[®]: 台湾MediaTek Inc.の登録商標。

^{*32} PMI: 好適な下りリンクプリコーダを指定するために移動端末からフィードバックされる情報。コードブック内から選択される項番として通知される。

(2)実験環境

実験環境を図3に示す。本実験を台湾・新竹市にある、ITRI (Industrial Technology Research Institute) のキャンパスで行った。2つの道路で複数測定ポイントにUEを配置し、ユーザスループットが最大となるプリコーダや、変調方式および符号化率 (MCS: Modulation and Coding Scheme)*33を適応的に選択し、ユーザスループットを測定した。また、NOMAとMIMOを組み合わせる際、MIMOの送信レイヤ数 (送信ランク) の組合せ ($R_1: R_2: R_3$) を任意に設定可能として、各ユーザの受信品質に柔軟に対応させた。非直交多重ユーザ間で適用する多重電力比はレイヤごとに異なるものを設定可能とした。

(3)評価シナリオ

本実験で主に評価したシナリオを図4に示す。図4に示すようにNOMA適用時 (右) は3つのUEが10MHz帯域幅を同時に利用する。ここで、UE3台

の合計スループットが最大となるMCSおよび多重電力比の組合せを適用した。また、近傍UE (UE #1) の送信ランクは2, 遠方UE (UE #2, UE #3) の送信ランクは1とした。SU-MIMO適用時 (左) は10MHz帯域幅を時間分割することにより近傍UEと遠方UE間のリソース配分を行った。

受信機では、受信信号に対して基地局近傍UE (UE #1) ではCWIC受信機を適用し、セル端UE (UE #2, UE #3) ではSICを適用せずに所望信号を検出した。UE #1におけるMIMOストリーム分離やUE #2, UE #3におけるユーザ間干渉除去に関してはR-ML (Reduced Maximum Likelihood Detection) 規範*34のMIMO信号検出 [11] を適用した。

5. NOMA実験結果

本試作装置を用いた屋外実電波環境における実験結果を表2に示す。UEの受信SNR (Signal to Noise

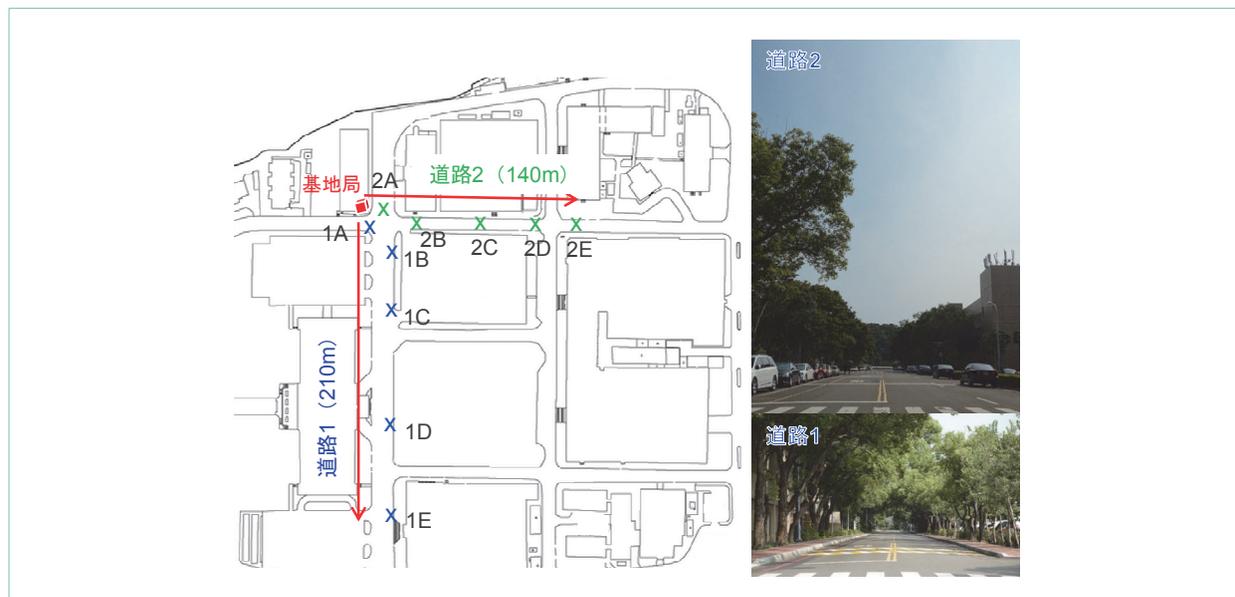


図3 実験環境 (台湾・新竹市, ITRIキャンパス)

*33 変調方式および符号化率 (MCS): 適用変調を行う際にあらかじめ決めておく変調方式と符号化率の組合せ。

*34 R-ML規範: 従来の最尤検出 (MLD: Maximum Likelihood Detection) の膨大な演算処理量を低減した最尤検出規範。

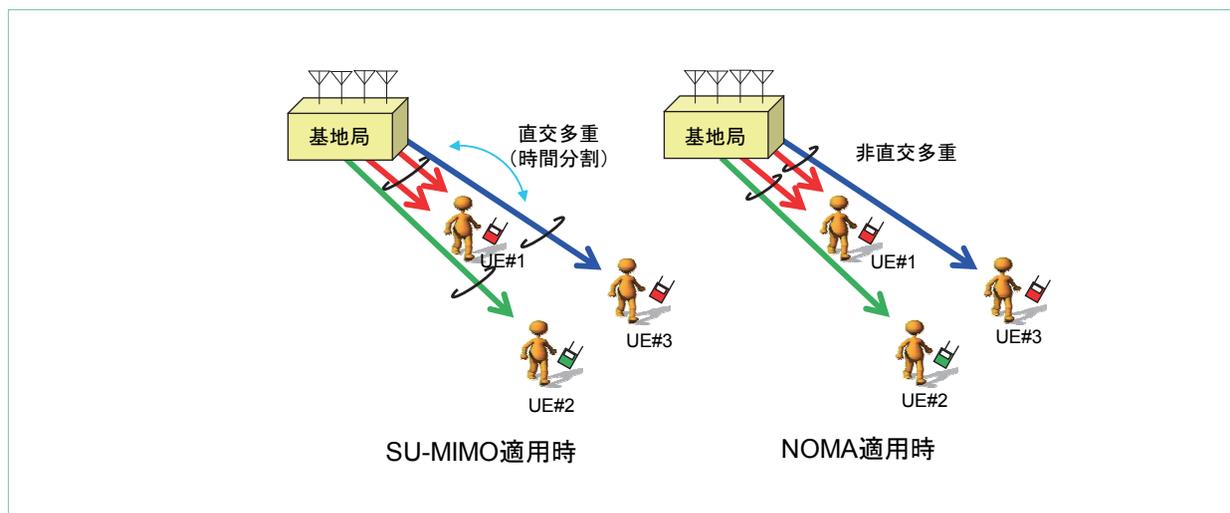


図4 評価シナリオ

表2 SU-MIMOと比較したNOMAのスループット改善量

UE配置場所		UE #1 (2A)	UE #2 (2D)	UE #3 (2D)
	受信SNR (dB)	30	7	7
SU-MIMO	ユーザスループット (Mbps)	16.3	2.63	1.53
NOMA	ユーザスループット (Mbps)	39.9	5.1	3.6
NOMA 対 SU-MIMO	ユーザスループットのゲイン	+144.79%	+93.92%	+135.29%
	ユーザスループット合計のゲイン	+137.54%		
	ユーザスループット積のゲイン	11.17倍		

Ratio)^{*35}はCRSを用いて算出した。本実験結果は、近傍UEの1台を30dB（測定ポイント2A）で、遠方UEの2台を7dB（測定ポイント2D）で配置した条件で測定されたものである。また、セル中央ユーザ（UE#1）およびセル端ユーザ（UE#2, UE#3）の送信ランクの組合せ（ $R_1 : R_2 : R_3$ ）は2 : 1 : 1とし、SU-MIMOおよびNOMA適用時のスループットを測定した。表2ではユーザスループット、システムスループット（3台の合計スループット）およびユーザスループットの積について、NOMAを用い

ることによる改善量を併せて示している。なお、ユーザスループットの積は公平性を表す指標であり、プロポーションアルフェアネス^{*36}を示す指標として利用可能である。

表1に示す結果より、NOMAはSU-MIMOと比較して全UEのスループットを向上できている。また、NOMA適用時はSU-MIMO適用時と比較してシステムスループットが2.3倍改善し、ユーザスループット乗算値については、11倍の改善が確認できた。

*35 受信SNR：受信信号のうち、雑音の電力に対する所望波の電力の比。

*36 プロポーションアルフェアネス：システム容量とフェアネスのバランスを最大化する指標。

6. NOMA関連標準化

3GPPでは、2015年4月よりLTE Release 13のSI (Study Item)^{*37}としてMUSTの性能について検討が開始され、LTE Release 14のWI (Work Item)^{*38}で仕様化された [6] [12]~[14].

なお、3GPPではmMTCへのNOMAの適用が着目されている。mMTCの例として大量のセンサーによるスモールパケットの送信が挙げられる。mMTCの場合、カバレッジ拡大や非同期通信をサポートできる信号波形の設計に加えて、同時接続端末数向上のため制御チャネル容量の増加を可能とする上りリンクのNOMA [15] や、制御情報を不要とする制御チャネルの設計 (例えば、データ送信の際に事前許可を不要とするチャネルアクセス方法 (Grant free access^{*39}) など) が重要となる。3GPPでは上りリンクNOMAを含めて16個以上の多くの上りリンクアクセス方式が主要会社から提案され検討が進められている。

7. あとがき

本稿では、NOMAと4×2 SU-MIMOの組合せによる、NOMA対応チップセット搭載の端末を用いた屋外送信実験の結果について解説した。NOMAの高度化により、より高い周波数利用効率を実現することが可能となる。本実験においては、NOMAにより端末3台を非直交多重することにより、SU-MIMOと比較してシステムスループットにおける周波数利用効率を最大2.3倍まで改善できることを確認した。また、スマートフォンサイズのNOMA対応チップセット搭載端末を用いた実証実験により、NOMAが必要とする干渉キャンセル技術の実現性を明らかにした。今後は5Gの発展技術として3GPPに

おけるNOMA高度化技術の標準化をめざしていく。

文献

- [1] アナス, ほか: “ITU-RにおけるIMT-2020無線インタフェース標準化動向,” 本誌, Vol.25, No.3, pp.50-58, Oct. 2017.
- [2] 岸山, ほか: “ドコモの5Gに向けた取組み—2020年での5Gサービス実現に向けて—,” 本誌, Vol.23, No.4, pp.6-17, Jan. 2016.
- [3] 須山, ほか: “5Gマルチアンテナ技術,” 本誌, Vol.23, No.4, pp.30-39, Jan. 2016.
- [4] A. Benjebbour, A. Li, Y. Kishiyama, J. Huiling and T. Nakamura: “System-level Evaluations of SU-MIMO Combined With NOMA,” IEEE Globecom, Dec. 2014.
- [5] K. Higuchi and A. Benjebbour: “Non-orthogonal Multiple Access (NOMA) with Successive Interference Cancellation for Future Radio Access,” IEICE Trans. Commun., Jan. 2015.
- [6] 3GPP TR36.859 V13.0.0: “Study on Downlink Multiuser Superposition Transmission (MUST) for LTE (Release 13),” Dec. 2015.
- [7] 齊藤 敬佑, ベンジャブール アナス, 岸山 祥久, 奥村 幸彦, 中村 武宏: “下りリンク非直交多元接続 (NOMA) に2-by-2開ループSU-MIMOを組み合わせた場合の屋外実験,” 信学技報, Vol.115, No.288, RCS2015-213, pp.139-144, Nov. 2015.
- [8] NTTドコモ報道発表: “MediaTekとの5G共同実験ならびに技術開発に合意,” Feb. 2016.
https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/notice/2016/02/22_00.html
- [9] A. Benjebbour, K. Saito, A. Li, Y. Kishiyama and T. Nakamura: “Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA): Concept and Design,” Signal Processing for 5G: Algorithms and Implementations, pp.143-168, Aug. 2016.
- [10] 3GPP TS36.213 V8.8.0: “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures (Release 8),” Sep. 2009.
- [11] Y. Sano, K. Takeda, S. Nagata, T. Nakamura, X. Chen, A. Li, X. Zhang, J. Huiling, and K. Fukawa: “Investigation on Non-Orthogonal Multiple Access with Reduced Complexity Maximum Likelihood Receiver and Dynamic

*37 SI: 「実現性の検討および仕様化すべき機能の大きな特定」作業のこと。

*38 WI: 「仕様化すべき機能の決定および機能の詳細仕様化」作業のこと。

*39 Grant free access: データ送信する前に基地局側からの事前許可を不要とする無線チャネルへのアクセス方法。これよりいつでも端末が基地局に対してデータ送信が可能となる。

- Resource Allocation,” IEICE Trans. Commun., Aug. 2017.
- [12] 3GPP RP-150496: “New SI Proposal: Study on Downlink Multiuser Superposition Transmission for LTE,” Mar. 2015.
- [13] 3GPP R1-152493: “Candidate schemes for superposition transmission,” May 2015.
- [14] 3GPP R1-1613802: “Summary of RAN1 Agreements for Rel-14 DL MUST,” Nov. 2016.
- [15] X. Chen, A. Benjebbour, A. Li and A. Harada: “Multi-User Proportional Fair Scheduling for Uplink Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA),” IEEE VTC2014-Spring, May 2014.