

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04381

研究課題名（和文）直交多元接続との連携による非直交多元接続方式の特性改善に関する研究

研究課題名（英文）Research on performance improvement of non-orthogonal multiple access in cooperation with orthogonal multiple access

研究代表者

前原 文明（Maehara, Fumiaki）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：80329101

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、第5世代移動通信システム(5G)の中核技術である非直交多元接続(NOMA)を取り上げ、ユーザ間のチャンネル利得差が小さい場合にその適用効果が減少する問題をNOMAと直交多元接続(OMA)の帯域内同時利用により克服するとともに、今後の無線サービスの多様化を見据え、ユーザの伝搬路情報だけでなく、ユーザの多様な要求スループットも考慮したリソース割当て法を提案した。計算機シミュレーションによる特性評価の結果、移動通信特有のマルチセル環境下において、提案方式のスループット特性がNOMAのみあるいはOMAのみによる方式よりも良好となることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

提案するNOMAとOMAのハイブリッド多元接続方式は、ユーザ間のチャンネル利得差の小さい低CNR領域では、OMAを活用し、ユーザ間の高いチャンネル利得差が期待できる高CNR領域では、NOMAを活用できることから、チャンネル利得差の小さい場合に生じるNOMAのシステム容量劣化の問題を効果的に克服できる。また、5Gで想定される多様な要求スループットに対しても、提案方式の有効性が確認できたことから、5G以降の移動通信ネットワークで求められる多様な通信トラフィックを前提とした無線ネットワークの高度化に貢献できる。

研究成果の概要（英文）：In this research, we focus on Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA), a core technology of the fifth-generation mobile communication system (5G), and propose the hybrid multiple access scheme simultaneously using NOMA and Orthogonal Multiple Access (OMA) within the band in order to overcome the problem of degrading the performance of NOMA in the case of small channel gain difference between users. In addition, in anticipation of future diversification of wireless services, we propose a resource allocation method that considers not only users' propagation path information but also their diverse throughput requirements. Performance evaluation through computer simulations showed that in the multi-cell environment specific to mobile communications, the throughput performance of the proposed method is better than that of the cases using only NOMA or only OMA.

研究分野：無線通信ネットワーク

キーワード：NOMA OMA リソース割当て ユーザ要求 システムスループット

1. 研究開始当初の背景

高機能携帯端末の登場以降、モバイルサービスの需要は年 1.5 倍ペースで増加し続けている。また、第 5 世代移動通信システム (5G) では、これまでの人を中心とした無線通信だけでなく、IoT や ITS といったモノを中心とした無線サービスの実現も期待されており、これに伴い、より一層増大する無線トラフィックの効果的・効率的な収容を可能とする技術、すなわち大容量化技術の開拓は、移動通信ネットワークの高度化の観点から極めて重要な課題である。移動通信ネットワークの大容量化の一アプローチとして、5G では、逐次干渉キャンセラ (SIC : Successive Interference Canceller) を用いた非直交多元接続 (NOMA : Non-orthogonal Multiple Access) の適用が検討されている。図 1 に示すように、第 4 世代移動通信システム (4G) で既に採用されている、周波数領域において無線リソースを分割し、複数のユーザを多元接続する直交多元接続 (OMA : Orthogonal Multiple Access) とは異なり、NOMA は、電力領域において無線リソースを分割し、多元接続の実現を図るものであることから、OMA と比較して 1 ユーザ当たりの送信帯域幅を拡大でき、移動通信ネットワークの更なる大容量化に貢献できる。その一方で、NOMA では、電力領域、すなわちユーザ間のチャンネル利得の差異を利用してユーザ多重を実現することから、図 2 に示すように、その差異が小さい場合に無線リソースの分割が不十分となり、OMA と比較してシステム容量が低下する問題が生じる。また、同時接続ユーザ数が増加すると、ユーザ間干渉の影響が深刻となることから、NOMA の適用効果が減少することも知られている。

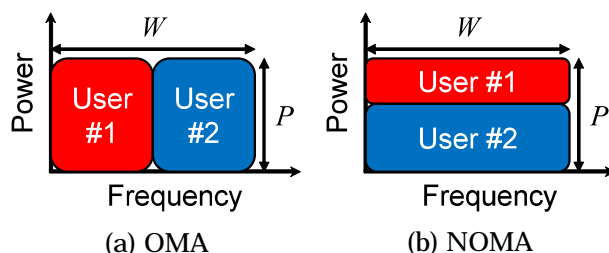


図 1 OMA と NOMA の概念

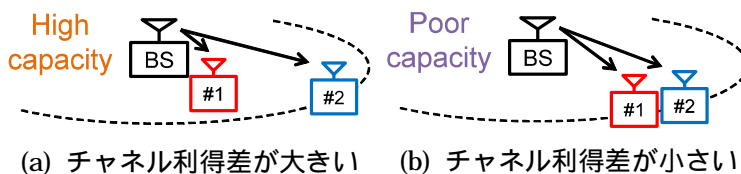


図 2 チャンネル利得差が NOMA に与える影響

2. 研究の目的

本研究課題では、5G の中核技術である NOMA を取り上げ、ユーザ間のチャンネル利得差が小さい場合や同時接続ユーザ数の増加に伴う適用効果の減少を NOMA と OMA の帯域内同時利用により克服し、システム容量の更なる向上を目指すものである。具体的には、図 3 に示すように、NOMA のみでユーザ多重を行うのではなく、OMA ならびに NOMA と OMA の両方を組み合わせたりリソースパターンを伝送帯域内に新たに設定し、各ユーザのチャンネル状態に応じて適切にリソースパターンを選択する方式を提案する。これまでに、NOMA と OMA の方式選択の提案はなされているが、いずれも同一帯域内利用ではなく、比較的長区間を対象とした方式の切替えに留まっており、上述の NOMA 自体が有する瞬時的なチャンネル状況に起因した問題点の解決には至っていない。特に、提案方式では、NOMA と OMA の帯域内同時利用により、NOMA だけでなく OMA に対してもユーザを振り分けることが可能となることから、NOMA の同時接続ユーザ数を低減でき、NOMA 自体の特性の改善も図ることができる。また、5G に代表される将来の移動通信ネットワークでは、多様なモバイルアプリケーションの実現が想定されることから、ユーザ要求の多様化への対応も重要である。本研究課題では、この点に鑑み、各ユーザのチャンネル状況によって決定されるネットワーク側で供給可能なスループットだけでなく、各ユーザの所望トラフィックサイズも視野に入れて、瞬時的に、より柔軟なリソース割り当ての実現を目指すことを特色とする。

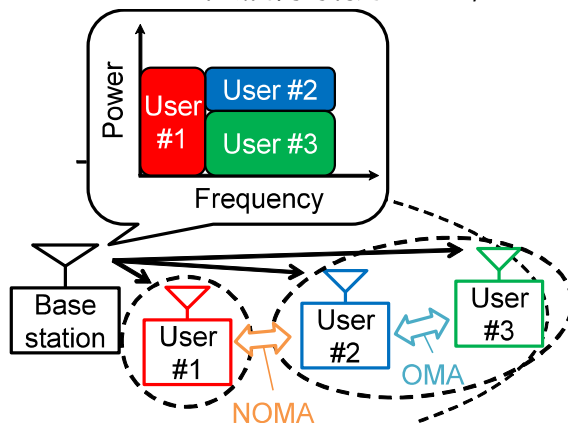


図 3 NOMA と OMA の帯域内同時利用

3. 研究の方法

本章では、2 章の研究目的に必要な研究項目について簡潔に述べる。

(1) NOMA と OMA を同時に活用した無線リソース割り当て法の提案と特性評価

NOMA が有する、ユーザ間のチャンネル利得が小さい場合に OMA と比較してシステム容量が低下するといった問題を克服すべく、NOMA のみでユーザ多重を行うのではなく、OMA なら

びに NOMA と OMA の両方を組み合わせたリソースパターンを新たに設定し、各ユーザのチャネル状態に応じてシステム容量が最も良好となるリソースパターンを選択する方式を提案する。また、提案方式の有効性を、NOMA 単独、OMA 単独及び NOMA と OMA を切り替える従来方式を比較対象にとって、システム容量の観点から計算機シミュレーションにより検証する。

図 4 は、3 ユーザ多重を想定した場合の提案方式の概念を示したものである。同図に示すように、提案方式では、NOMA と OMA、そしてそれらの中間的な役割を果たす NOMA と OMA を同時に活用する 3 種類のリソースパターンを設定する。ここで、NOMA と OMA を同時に活用するリソースパターンでは、ユーザ配置の際に、3 種類の組み合わせが生じることから、この場合、結局、全部で 5 パターンがユーザ配置の対象となる。ユーザ配置の決定については、各ユーザからフィードバックされる伝搬路情報に基づき、各リソースパターンの瞬時システム容量を算定し、それらの中で瞬時システム容量が最良となるリソースパターンを選択する。

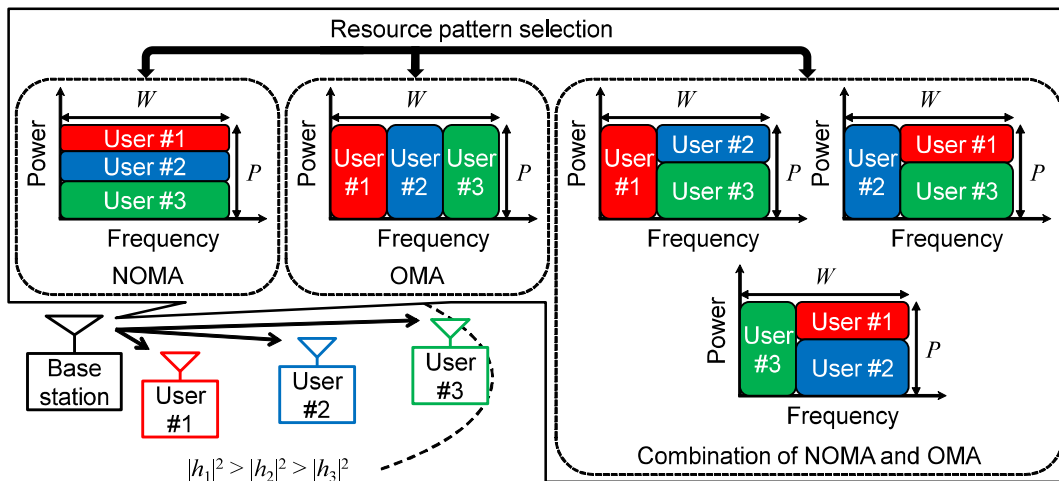


図 4 提案する NOMA と OMA を同時に活用した無線リソース割り当て法の概念

(2) ユーザ要求に基づく無線リソース割り当て法の提案と特性評価

5G 以降のモバイルネットワークで想定されるユーザ要求スループットの多様性を考慮して、(1) で検証した提案方式の拡張を進めるとともに、その有効性を、eMBB (enhanced Mobile Broadband) や URLLC (Ultra-reliable and Low-latency Communications) といった異なるユーザトラヒックが混在する環境下において、計算機シミュレーションにより検証する。図 5 に示すように、提案方式は、各ユーザのチャネル状態だけでなく、所望トラヒックサイズも考慮して、

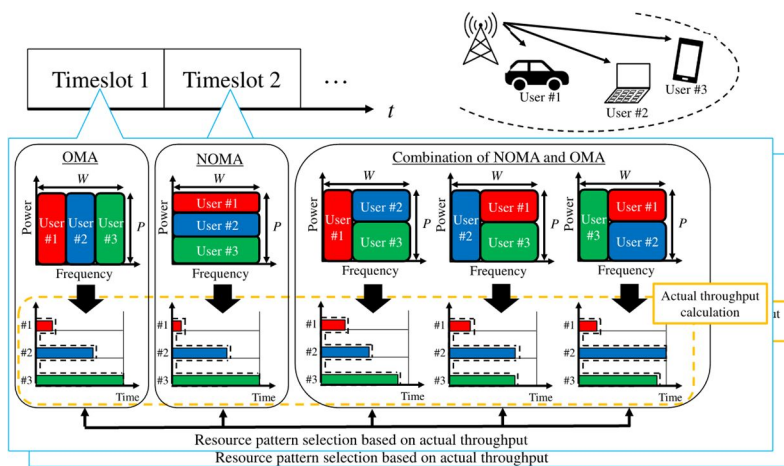


図 5 提案するユーザ要求に基づく無線リソース割り当て法の概念

NOMA 単独、OMA 単独ならびに NOMA と OMA の両方を組み合わせたリソースパターンの中から最も実質的なシステムスループットが良好となるものを選択するものである。

図 6 は、提案方式における実質的なシステムスループット $R_{i,Actual}$ の計算方法を示したものである。ただし、 T_{TTI} は伝送時間間隔 (TTI : Transmission Time Interval) であり、 $R_{k,i}$ と $T_{k,i}$ は、それぞれリソースパターン # i におけるユーザ # k のスループットと所要伝送時間である。

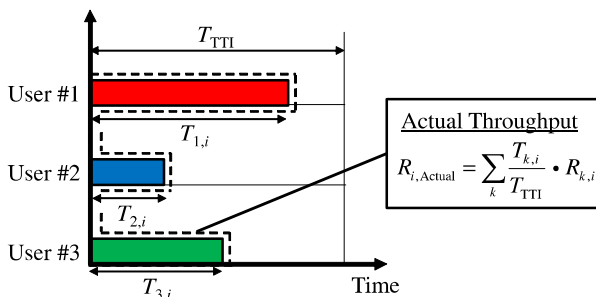


図 6 実質的なシステムスループットの計算方法

(3) 複数アンテナがユーザ要求に基づく無線リソース割り当て法に与える影響の評価

最近の移動通信システムにおいて、基地局が複数の送信アンテナを備えていることに鑑み、最大比送信 (MRT) を (2) で検証した提案方式に適用する。また、提案方式の有効性を、送信アンテナ数をパラメータにとって、システムスループットの観点から計算機シミュレーションにより検証する。

4. 研究成果

本章では、3章の研究の方法に記載した各研究項目の成果について簡潔に述べる。

(1) NOMA と OMA を同時に活用した無線リソース割り当て法の提案と特性評価

ここでは、提案する NOMA と OMA を同時に活用した無線リソース割り当て法の有効性を、NOMA 単独、OMA 単独及び NOMA と OMA を切り替える従来方式を比較対象にとって、システム容量特性の観点から計算機シミュレーションにより検証する。表 1 は、シミュレーション諸元を示したものである。本評価では、NOMA の送信電力割り当て法として、固定電力割り当て法を適用するものとし、送信電力差を決定づけるパラメータは $\alpha_{fpa} = 0.25$ とする。また、ユーザの発呼としては、セル全体から発呼される通常の形態と、低 SINR (Signal-to-interference-plus-noise Ratio) かつユーザ間の電力差が小さい最悪な状態を反映できるセルエッジのみから発呼される形態の 2 種類の形態を想定するものとする。

表 1 シミュレーション諸元

Total bandwidth	20 MHz
Transmit power	12W
Number of multiplexed users	3
Number of cells	37 (Frequency reuse factor = 1)
Cell radius	1000 m
Path loss model	$L = d^{-3.5}$ (d in m)
Channel model	Rayleigh fading channel
Thermal noise density	-174 dBm/Hz
Noise figure	10 dB

図 7 は、システム容量の累積分布特性を示したものである。同図 (a) より、ユーザの発呼がセル全体の場合、NOMA と OMA の特性を比較すると、NOMA は高システム容量となる確率を高め、OMA は低システム容量となる確率を抑える効果があることがわかる。これより、NOMA と OMA で、互いに優位となるシステム容量の領域が異なることがわかる。また、提案方式は、従来方式と比較して、NOMA と OMA を帯域内で同時利用できることから、システム容量を向上できることがわかる。更に、同図 (b) より、ユーザの発呼がセルエッジの場合、伝搬減衰が大きい上に、ユーザ間のチャネル利得差が小さくなることから、NOMA のシステム容量が劣悪となるものの、提案方式は最も良好なシステム容量を達成できることがわかる。

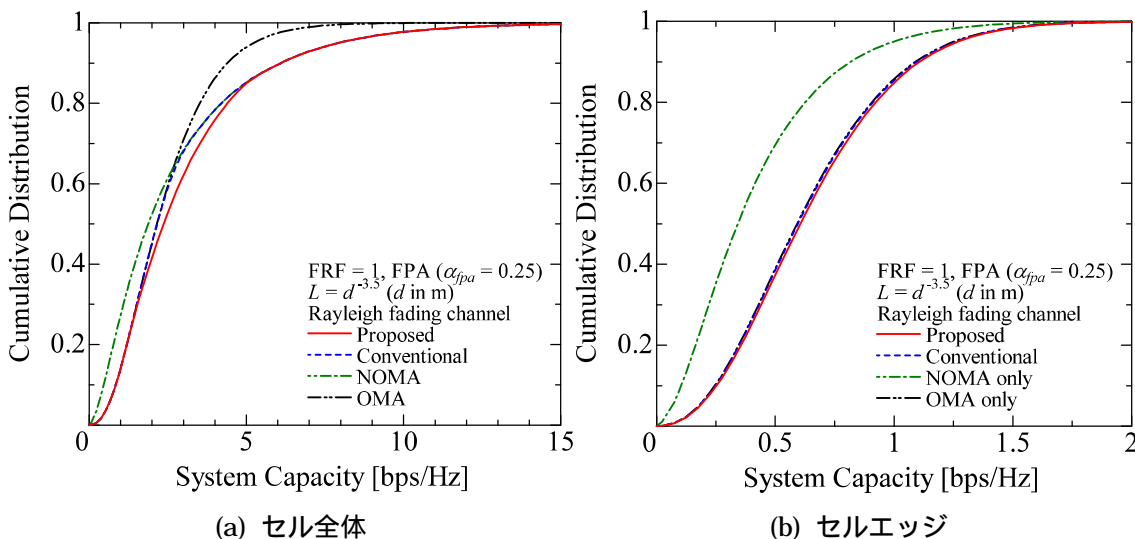


図 7 システム容量の累積分布特性

(2) ユーザ要求に基づく無線リソース割り当て法の提案と特性評価

ここでは、提案するユーザ要求に基づく無線リソース割り当て法の有効性を、eMBB や URLLC といった異なるユーザトラフィックが混在する環境下において、計算機シミュレーションにより検証する。なお、本評価のシミュレーション諸元については、最大多重ユーザ数を 3、TTI を 1 ms とし、他のパラメータは表 1 に従うものとする。表 2 は、ユーザトラフィックモデルを示したものである。同表に示すように、eMBB と URLLC の 2 種類のトラフィックモデルを想定し、異なるトラフィックサイズのユーザが混在するものとする。ユーザの発呼の形態としては、セル全体とする。

表 2 ユーザトラフィックモデル

	eMBB	URLLC
Traffic model	Poisson	
Average arrival rate [packet/ms]	8	3
Packet size [byte]	200-1000	32
Number of users	10	10

図8は、システムスループットの累積分布特性を示したものである。ただし、同図では、eMBBのパケットサイズを600 byteに設定している。同図より、(1)で検証した従来方式のシステムスループットは、NOMA単独のそれと比較して劣化することがわかる。これは、従来方式では、各ユーザのチャネル状態のみを考慮するため、URLLCのユーザに過剰な無線リソースを割り当ててしまうことがあり、リソースパターンの柔軟性を十分に活かすことができないためである。しかしながら、提案方式は、各ユーザのチャネル状態だけでなく、所望トラフィックサイズも考慮することから、ユーザトラフィックに関わらず、最も良好なシステムスループットを達成できることがわかる。特に、提案方式は、要求の異なるユーザの無線リソースを柔軟に組み合わせられることから、NOMA単独と比較して、システムスループットを大幅に向上できることがわかる。

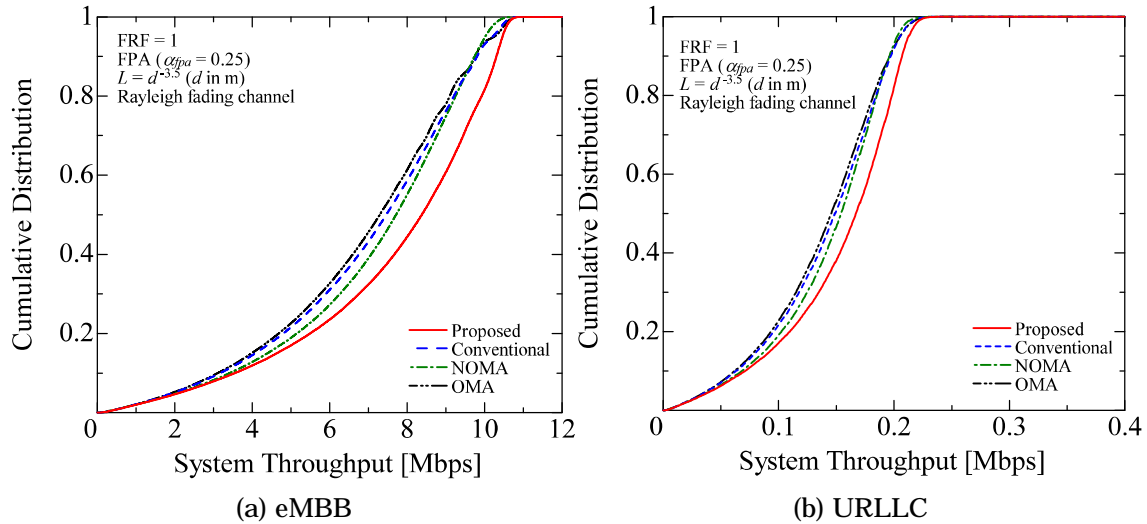


図8 システムスループットの累積分布特性

(3) 複数アンテナがユーザ要求に基づく無線リソース割り当て法に与える影響の評価

ここでは、最近の移動通信システムでは基地局が複数の送信アンテナを備えていることに鑑み、(2)で検証した提案方式にMRTを適用するとともに、その有効性を、送信アンテナ数をパラメータにとって、システムスループットの観点から計算機シミュレーションにより検証する。なお、本評価のシミュレーション諸元については、全帯域幅を10 MHz、送信アンテナ数を1、2及び4とし、他のパラメータは表1に従うものとする。また、ユーザトラフィックモデルは表2に従うものとし、ユーザの発呼の形態はセル全体とする。

図9は、eMBBのパケットサイズ対システムスループット特性を示したものである。同図より、送信アンテナ数 N_t が2または4の場合、NOMA単独のシステムスループットは、OMA単独のそれよりも劣化することがわかる。しかしながら、従来方式の適用により、NOMAとOMAの帯域内同時利用が可能となることから、システムスループットが向上することがわかる。更に、提案方式では、チャネル状態だけでなく、所望トラフィックサイズも考慮したリソースパターンの選択により、伝送効率が向上することから、送信アンテナ数に関わらず、NOMA単独、OMA単独及びチャネル状態のみを考慮する従来方式と比較して、システムスループットが良好となることがわかる。特に、eMBBのパケットサイズが大きくなるほど、提案方式と従来方式のシステムスループットの差が大きくなることがわかる。これは、eMBBとURLLCのパケットサイズの差が大きくなるほど、従来方式ではeMBBユーザに必要な無線リソースが十分に割り当てられなくなるものの、提案方式では所望トラフィックサイズを考慮して柔軟にリソース割り当てを行うため、伝送効率が向上することに起因した結果である。また、送信アンテナ数 N_t が大きくなるほど、空間ダイバーシチ効果を獲得できることから、システムスループットが良好となることがわかる。

以上、本提案方式により、NOMAのシステムスループットがより一層向上することが明らかとなったことから、本研究成果が移動通信ネットワークのさらなる高速・大容量化に貢献できるものと考えられる。

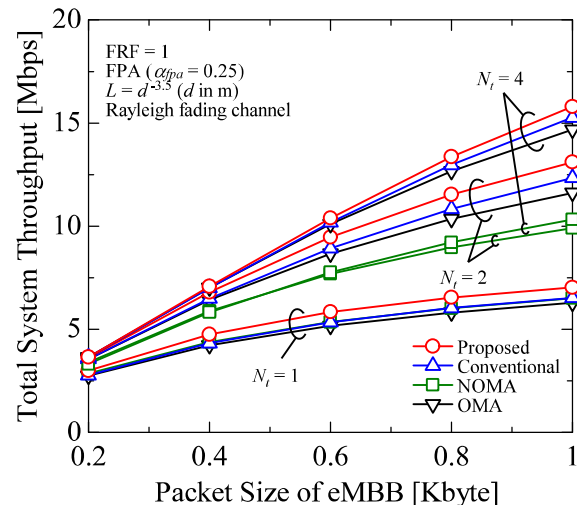


図9 パケットサイズ対システムスループット特性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1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 F. Tanaka, H. Suganuma, and F. Maehara	4. 巻 Volume 11 Issue 6
2. 論文標題 Impact of multiple antennas on hybrid multiple access scheme employing NOMA and OMA simultaneously considering user request	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 342-348
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/comex.2022XBL0039	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 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 1件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 佐々木希実, 田中風我, 齋藤周平, 菅沼碩文, 前原文明
2. 発表標題 不均一なユーザ分布と送信ダイバーシチを考慮したユーザ要求に基づくハイブリッド多元接続方式に関する一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会 B-5-61
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 F. Tanaka, H. Suganuma, and F. Maehara
2. 発表標題 Hybrid multiple access scheme using NOMA and OMA simultaneously considering user request
3. 学会等名 Proc. 24th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 F. Tanaka, H. Suganuma, and F. Maehara
2. 発表標題 A study on impact of multiple antennas on hybrid multiple access scheme employing NOMA and OMA simultaneously considering user request
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会 B-5-76
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 前原 文明
2. 発表標題 Beyond 5G無線通信における要素技術間連携の試みとその効果について
3. 学会等名 電子情報通信学会 信学技報 RCS2021-262 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Kumagai, N. Gonda, Y. Shimbo, H. Suganuma, and F. Maehara
2. 発表標題 Deep learning based hybrid multiple access consisting of SCMA and OFDMA using user position information
3. 学会等名 Proc. 2021 Int. Conf. Artificial Intell. Inf. Commun. (ICAIIIC 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Suganuma, H. Suenaga, F. Maehara
2. 発表標題 Hybrid Multiple Access Using Simultaneously NOMA and OMA
3. 学会等名 Proc. 2019 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Sasaki, F. Tanaka, S. Saito, H. Suganuma, and F. Maehara
2. 発表標題 Hybrid Multiple Access Scheme Employing NOMA and OMA Simultaneously Under Non-uniform User Distribution and Multiple Transmit Antennas
3. 学会等名 Proc. 2023 Joint European Conference on Networks and Communications & 6G Summit (EuCNC/6G Summit) (国際学会)
4. 発表年 2023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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------