


Program Współpraca Polska-RPA	RAPORT CZĄSTKOWY			
	z realizacji projektu w ramach programu międzynarodowego Polska-RPA			
Nr raportu	IR-RATfor5G-01			
Data aktualizacji raportu:	2020.01.01	Wersja	3	
Numer umowy	PL-RPA2/02/RATfor5G+/2019	Akronim	RATfor5G+	
Okres realizacji projektu	od	2019.01.01	do	2022.06.30
Tytuł projektu	Technologie dostępu radiowego dla standardu 5G i przyszłych generacji sieci bezprzewodowych			
Tytuł raportu	Symulatory NOMA			

Niniejszy raport przedstawia przegląd symulatorów systemów bezprzewodowych pod kątem ich przydatności do przeprowadzania badań nad algorytmami i technikami NOMA. W raporcie uwzględniono zarówno symulatory systemowe (SLS), jak i symulatory łącza radiowego (LL).

1. Przegląd symulatorów

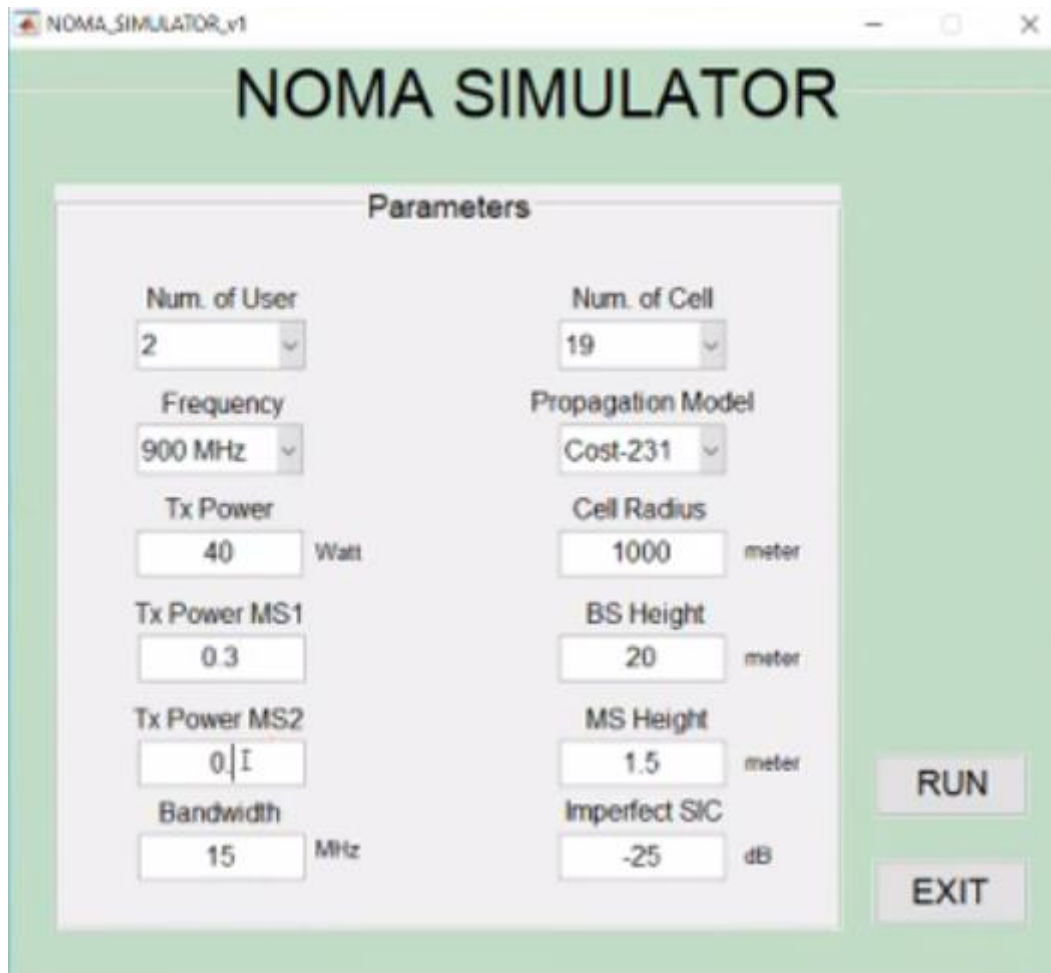
1.1. WENS Lab

Pierwszym symulatorem jest gotowy symulator o nazwie NOMA Downlink System Level Simulator v1. Został on stworzony przez Wireless and Emerging Network System (WENS) Laboratory in Kumoh National Institute of Technology [1]. Charakteryzuje się takimi parametrami, które zostały wyróżnione przez zespół badawczy z powyższego laboratorium:

Parameters	OMA	NOMA
- System Level	Downlink	Downlink
- Random User	2 users	2 users
- Multi-cell	3;7;19 cells	3;7;19 cells
- Frequency	900;1800;2100;2600 MHz	900;1800;2100;2600 MHz
- Propagation Model	Okumura-Hata;Cost-231	Okumura-Hata;Cost-231
- Imperfect SIC	√	N/A
- Interference	Inter-cell interference;SINR	Inter-cell Interference;SINR
- Cell Capacity	User capacity;Ergodic sum capacity	User capacity;Ergodic sum capacity

Narzędzie zostało najprawdopodobniej stworzone w języku MATLAB, ale jest udostępniane bez kodu źródłowego, a jedynie jako proste narzędzie do badania i testowania rozwiązań algorytmicznych, dostarczonych przez autorów.

Widok ekranu symulatora został przedstawiony za pomocą zrzutu ekranu poniżej.



Projekty R&D które teraz realizuje grupa WENS (oraz te historyczne) w zakresie NOMA w załączniku (Załącznik1).

1.1.1. WENS Lab status

Wiemy że narzędzie jest raczej “zamkniętym kodem” ale napisaliśmy maila do autorów z prośbą o kilka ostatecznych wyjaśnień (oryginalny email 03.12.2019, powtórka 02.01.2020). Odpowiedź, mówi że autorzy nie przewidują innej wersji niż oficjalnie dostępna.

1.2. ns3-mmWave status

Moduł ns3-mmWave został stworzony przez NYU Wireless wraz z Uniwersytetem z Padwy i jest dostępny na GitHubie [10], co czyni go wartościowym z perspektywy naukowej. Może zostać użyty do sieci komórkowych 5G na częstotliwościach milimetrowych (FR2), w związku z tym dla zespołu to rozwiązanie jest potencjalnie istotne. Posiada niestandardowe (tj rozszerzone) klasy obsługujące komunikację i sygnalizację na poziomie PHY i MAC, wspierające ramki 3GPP NR i różne numerologie. Obsługuje dynamiczne TDD, zapewnia wysoki poziom konfigurowalności parametrów systemowych. Implementacja ta dla każdej swojej funkcji posiada osobne klasy, takie jak: MmWaveEnbMac, MmWaveUeMac, czy McUeNetDevice, których implementacje są przejrzyste i mogą być łatwo modyfikowane przy pomocy języka C++. Poniżej

1.3. Vienna LTE status

Zespół otrzymał dostęp do "Vienna LTE SLS" - ale okazało się że w tej wersji nie ma wsparcia dla NOMA, takie wsparcie jest w wersji, na którą potrzebna jest osobna licencja - Vienna LTE 5G LL (link level). osobna licencja na wersję 5G LL została pozyskana i wykorzystana w projekcie.

1.4. 5G-Lena status

Członkowie zespołu projektowego skontaktowali się z grupą programistyczną z CTTC (02.01.2020, godz 13:30). Z komunikacji wynika, że oprogramowanie na dzień wysłania zapytania nie wspierało NOMA.

1.5. Implementacje NOMA w MATLAB

W artykule pt. *Uplink NOMA Scheme for Wi-Fi Applications* autorstwa *Hind Salim Ghazi* i *Krzysztof Wesółowski* znajduje się informacja na temat używanej implementacji kodu do badań NOMA [2].

Na forach specjalistycznych można także znaleźć informacje na temat rozwiązań NOMA, niebędących symulatorami, ale kawałkami kodu, w których zaimplementowano elementy NOMA:

- [Axel Moor](#) wkleił kod, który został zamieszczony w osobnym pliku na dysku. Można również kliknąć w link ze źródeł na dole i odnaleźć kod w komentarzu. Jest on na pierwszy rzut oka dobrze opisany (zakomentowany).[3]
- W folderze [Suboptimal_NOMA_5G](#) użytkownika [yagneshmb](#) na GitHubie dostępny jest pełny kod napisany w Octavie, który według autora działa poprawnie dla liczby użytkowników > 100 i dla liczby użytkowników < 100, co wynika z artykułu, na którym się wzorował [4]. Jest to *A suboptimal scheme for uplink NOMA in 5G systems* opublikowany w [2015 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference \(IWCMC\)](#), dostępny na stronie IEEE. [5] Publikacja przedstawia konkretny schemat NOMA dla kierunku uplink.

Aktualizacja (02.11.2019 r.)

Kolejnym znaleziskiem opisanym przez zespół jest artykuł znaleziony na stronie Departamentu Elektrycznej Inżynierii City University w Hong Kongu skupiający się nie tylko na NOMA, ale również na MIMO i IDMA.

Skupiono się jednak na samej kwestii NOMA i warto wyróżnienia tutaj jest, że na podstawie tego artykułu został stworzony symulator, który ma bez problemu dostępny kod. [7] Po przejrzeniu, postanowiono wyodrębnić najważniejszą część:

Główną trudnością w uzyskaniu korzyści dla wielu użytkowników jest poleganie na dokładnych informacjach o stanie kanału (CSI) w istniejących schematach. Dzięki dokładnemu CSI zarówno OMA, jak i NOMA mogą zapewnić wydajność zbliżoną do maksymalnej pojemności. Jednak bez dokładnego CSI większość istniejących programów nie działa dobrze. Rozwiązujemy tę trudność w oparciu o IDMA i DACE. Ten schemat może zaoferować bardzo wysoką przepustowość i jest odporny na problem

zniekształcenia sygnału pilota. Koszt odbiornika jest niski, ponieważ w grę wchodzi tylko łączenie maksymalnego współczynnika (MRC) i nie występuje inwersja ani rozkład macierzy. W duplexie z podziałem czasu, dokładny CSI uzyskany w łączu up-link może być wykorzystywany do obsługi zero forcing. Odkrycia te oferują przydatne rozważania projektowe dla przyszłych systemów.

Następnym z potencjalnie przydatnych rozwiązań do dalszej analizy jest Ebook dostępny na forum Matlab'a o tytule *5G New Radio Design with MATLAB*, który przeznaczony jest do nauki np. optymalizacji algorytmów 5G warstwy fizycznej i wydajności na poziomie łącza, symulacji RF i rozwiązań antenowych, weryfikacji systemu za pomocą prototypów sprzętowych i testów bezprzewodowych. Podzielono go na 4 sekcje:

1. Technology and Design
2. New Architectures and Algorithms
3. Accelerating Prototypes and Field Trials
4. System Verification and Testing

Zostawiam do przedyskutowania czy jest to przydatne i wtedy ewentualnie można to sprawdzać. [8]

	OPNET Modeler 17.5	Matlab LTE Toolbox	ns3 mmWave	Vienna LTE	Monster	IS-Wireless Toolset	5G-Lena	NYUSIM	Matlab NOMA simulations	Riverbed Modeler	Netsim	Massive NOMA, MIMO and IDMA
Licencja	Tak (UTP)	Tak (UTP)	otwarty kod	otwarty kod	otwarty kod	Tak (UTP)	otwarty kod	Tak (UTP)	otwarty kod	Tak (UTP)	Komercyjna	otwarty kod
Symulator bazowy	-	Matlab	LENA LTE ns3	Matlab	Matlab/LTE Toolbox	Matlab	ns3	-	Matlab	OPNET	Netsim	Matlab
Dostęp do kodu PHY/MAC	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie	Tak		Tak	Tylko Modeler	Nie	Nie
PHY	Tak	Tak	Zależy	Tak	Tak	Ograniczony	Tak			Tak		??
NOMA	Nie	Nie	Nie - wymaga modyfikacji	Tak	Nie	Nie	Nie		Tak	Nie - wymaga modyfikacji	Nie - wymaga modyfikacji	Tak
Środowisko	C/C++	Matlab	ns3 (C++ ,	Matlab	Matlab	Matlab	ns3		Matlab	C, C++	C++, Java	Matlab

			Python)									
PD-NOMA	Nie	Nie	Nie	Tak	?	Nie	Nie	??	??	Nie	??	??
DL/UL	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	??	??	+/+	+/+	??
5G channel models?	Nie	Nie	?	?	?	Nie	Tak	??	??	Tak	??	??
Link level simulator	Tak	Tak	?	?	?	?	?					
System level simulator	Tak	?	Tak	?	Tak	Tak	Tak	??	??	Tak	??	??
Power control	?	?	Nie	Tak	?	Tak	Tak	??	??	??	??	??
Scheduling algorithms	Tak	Tak	Tak, ale tylko dla OMA	?	?	Tak	Tak, ale tylko dla OMA	??	Tak	??	??	??
Mobility support	Tak	?	Tak	?	?	Tak	??	??	??	Nie	Nie	Nie
SIC decoder	Nie	Nie	Nie	Tak	?	Nie	??	??	??	??	??	??

Emulatio n	Tak - wymaga dodatko wej licencji	Nie	Tak	Nie	Nie	Tak, ograniczone	Tak	??	??	Tak	Tak	Nie
---------------	---	-----	------------	-----	-----	---------------------	------------	----	----	------------	------------	-----

Tabela z podsumowaniem symulatorów znajduje się pod poniższym linkiem.

https://docs.google.com/document/d/1XGTUIq6NA343cX_WHxH9h_vcGpsSFv6BskJerkbVp/sk/edit

1.6. Uzupełniający przegląd symulatorów

Interesujące zestawienie informacji o symulatorach sieci 4G oraz 5G można znaleźć w artykule [9].

	ns-3	OMNeT++	Riverbed	NetSim
License Type	Open Source	Open Source (study & research)	Commercial	Proprietary
Language Supported	C++ & Python	C++	C & C++	C++ & Java
Supported OS	Linux, Mac OS Windows	Linux, Mac OS Windows	Linux, Windows	Windows
GUI Support	Good	Good	Excellent	Excellent
Document Available	Yes	Yes	Yes	Yes
Ease of Use	Hard	Easy	Easy	Easy
Simulation Event Type	Discrete event	Discrete event	Discrete event	Stochastic Discrete event
Available Module	Wired, Wireless Adhoc, WSN	Wired, Wireless Adhoc, WSN	Wired, Wireless Adhoc, WSN	Wired & Wireless SN
Scalability	Limited	Enough	Large	Enough
Availability of analysis tool	Yes	Yes	Yes	No
Communication with other modules	No	No	Yes	No
Network visualization tool	Yes	Yes	Yes	Yes
Possibility to design and modify scenarios	Yes	Yes	Yes	Yes
5G native support	Yes	No	No	No

2. Analiza możliwości wybranych symulatorów

W tej sekcji przedstawione zostały wyniki dla wybranych symulatorów, które udało się uruchomić. Celem tej uproszczonej analizy jest rozpoznanie możliwości symulatora, parametry konfiguracyjne scenariusza/systemu, które można modyfikować oraz rodzaje generowanych wykresów.

2.1. WENS Lab

Program otrzymany od WENS Labs oferuje możliwość przeprowadzenia szeregu symulacji porównujących OMA z NOMA z różnymi zmiennymi wartościami. Niektóre z nich są wbudowane w program, tak jak np. liczba komórek: 3, 7 lub 19, a niektóre można dowolnie edytować. Po ustawieniu parametrów modelowanego systemu odpowiednich wartości generowane są wykresy. Symulator udostępnia następujące pomiary:

1. Topologia scenariusza
2. Poziom interferencji
3. SINR
4. Pojemność/efektywność widmowa per UE [Mbps/Hz]
5. Ergodyczna pojemność sumaryczna [Mbps/Hz]
6. Pojemność widmowa per UE.

7. Częstotliwość Ergodic Sum [bit/s/HZ]

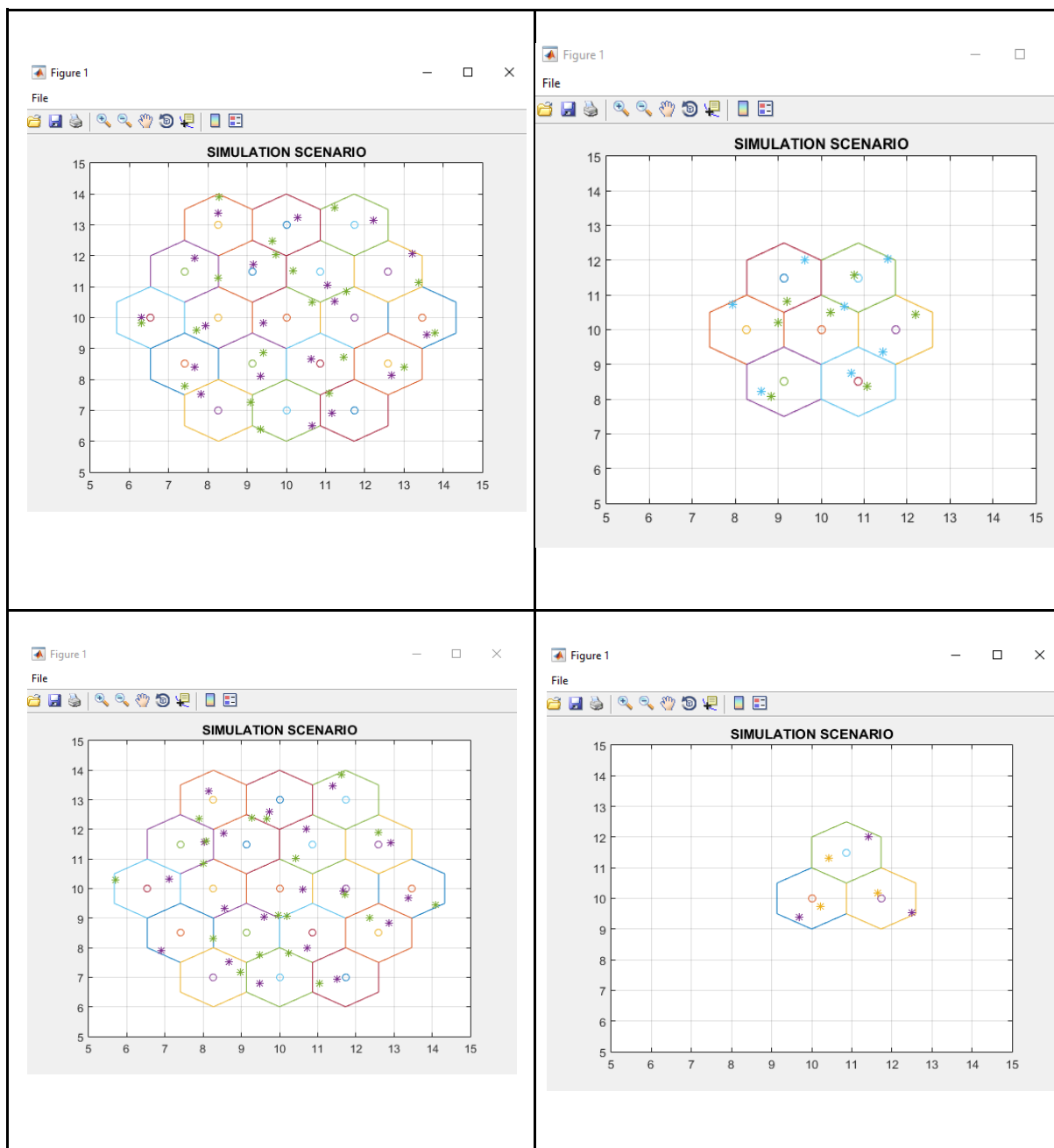
Poniżej tabelka przedstawiająca przeprowadzone testy.

Scenariusz	Scenario1	Scenario2	Scenario3	Scenario4	Scenario5
Liczba użytkowników	2	2	2	2	2
Częstotliwość [Mhz]	900	900	1800	2100	2600
Tx Power [W]	40	45	90	100	200
Tx Power NEU	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3
TX Power FEU	0.9	0.9	0.9	1	2
Pasma [MHz]	15	18	30	33	40
Liczba komórek	19	7	19	3	7
Model propagacji	Cost-231	Cost-231	Okumura-Hata	Okumura-Hata	Okumura-Hata
Promień komórki [m]	1000	900	1200	500	1500
BS Height [m]	20	15	25	13	28
MS Height [m]	1.5	1	2.5	1.3	1.5
Imperfect SIC [dB]	-25	-20	-30	-20	-50

Zrzuty ekranu z poszczególnych scenariuszy będą pokazywane w kolejności 1-5 zgodnie z numeracją scenariusza, z podziałem na badane parametry w poszczególnych sekcjach poniżej.

2.1.1. Topologia scenariusza

Na kolejnych wykresach przedstawiona została topologia rozmieszczenia stacji bazowych oraz terminali końcowych na potrzeby scenariusza. Scenariusze 1 i 5 przedstawiają pomiar dla większej liczby komórek. Pozostałe scenariusze obejmują stosunkowo małe sieci.



2. Analiza poziomego interferencji

Figure 1

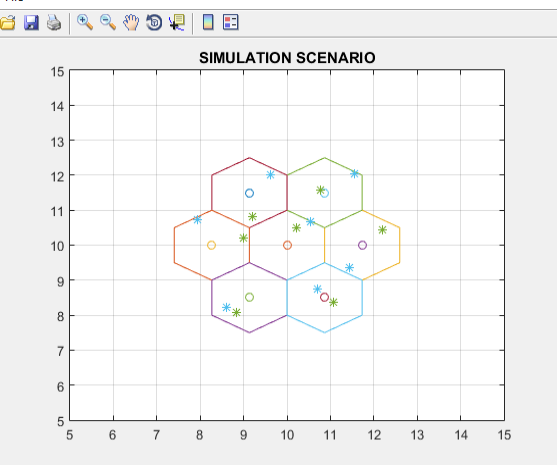


Figure 2

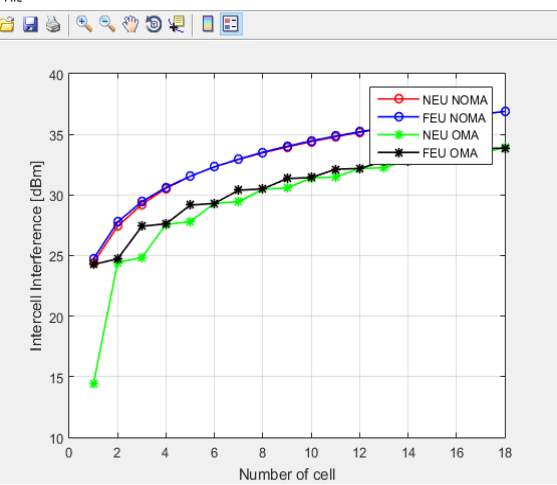
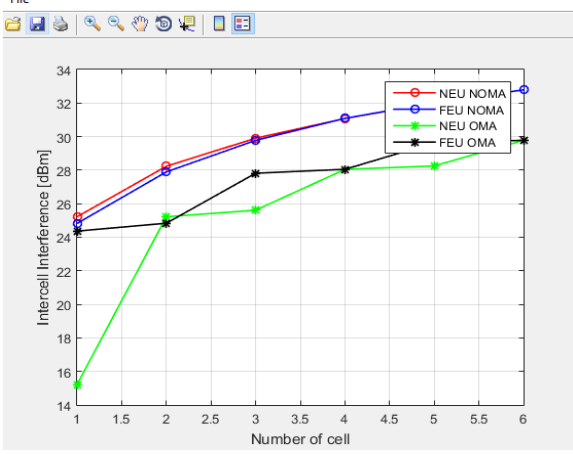
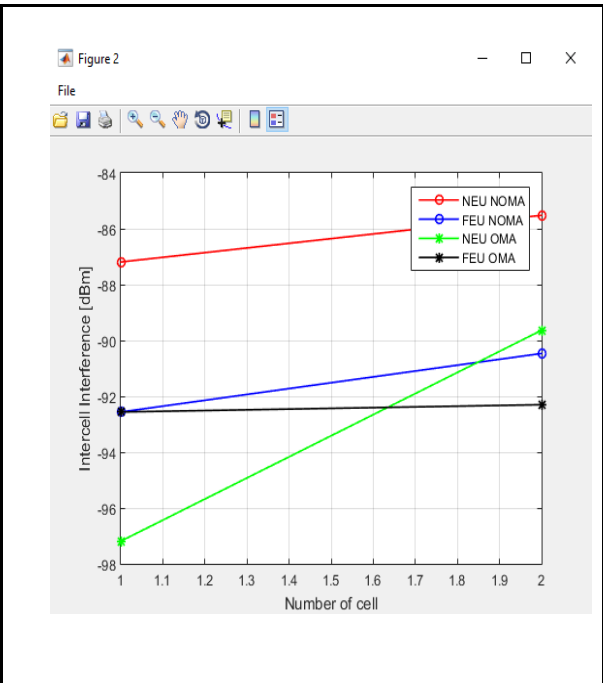
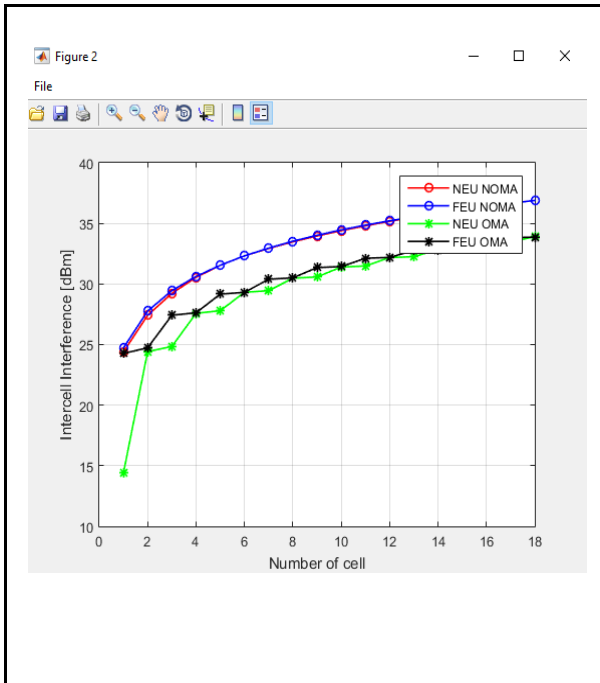
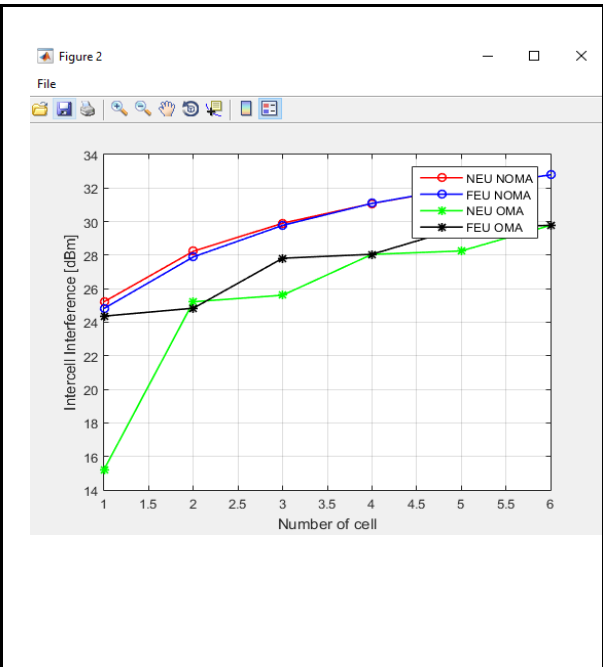
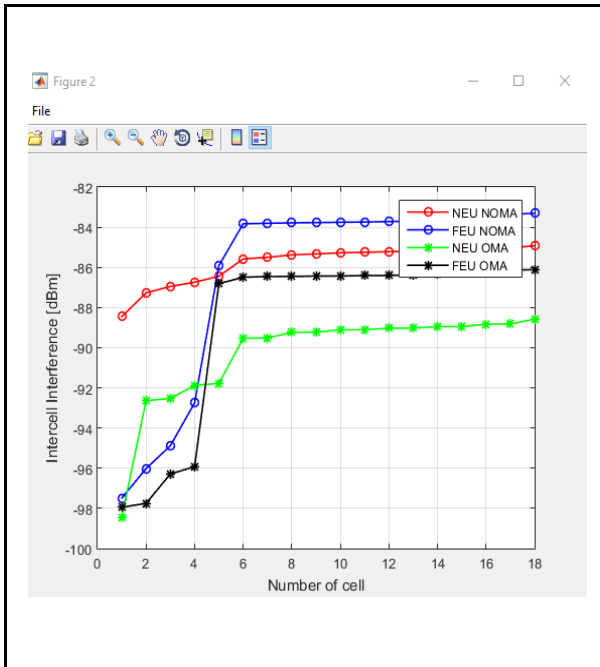
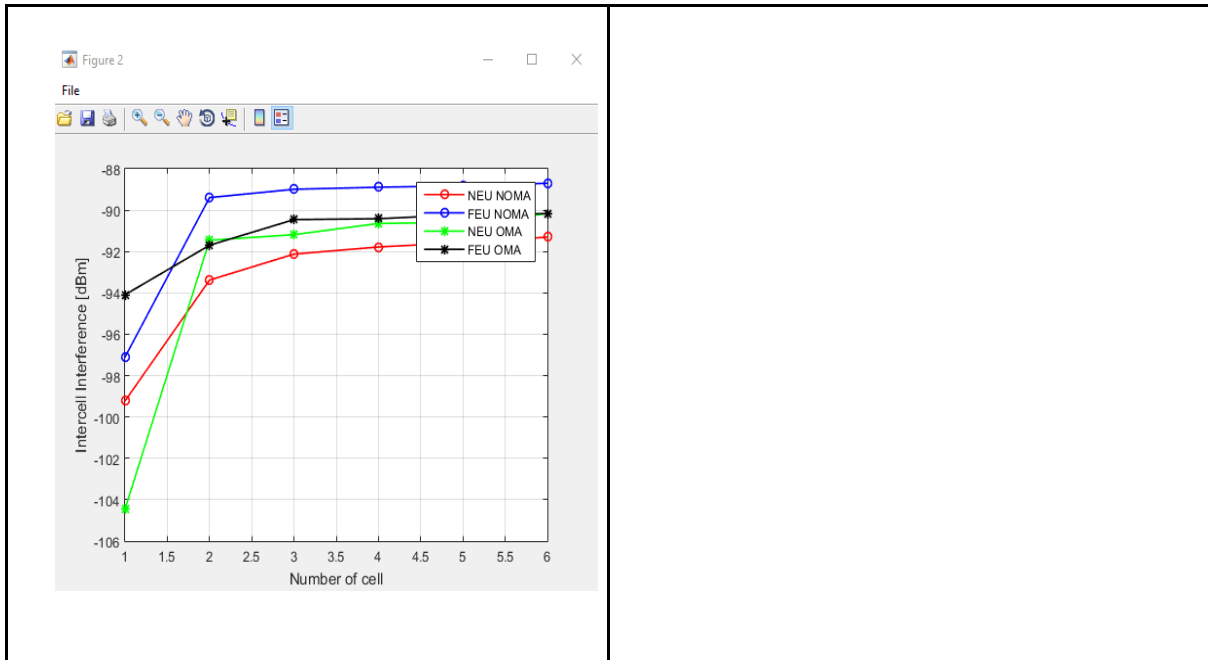


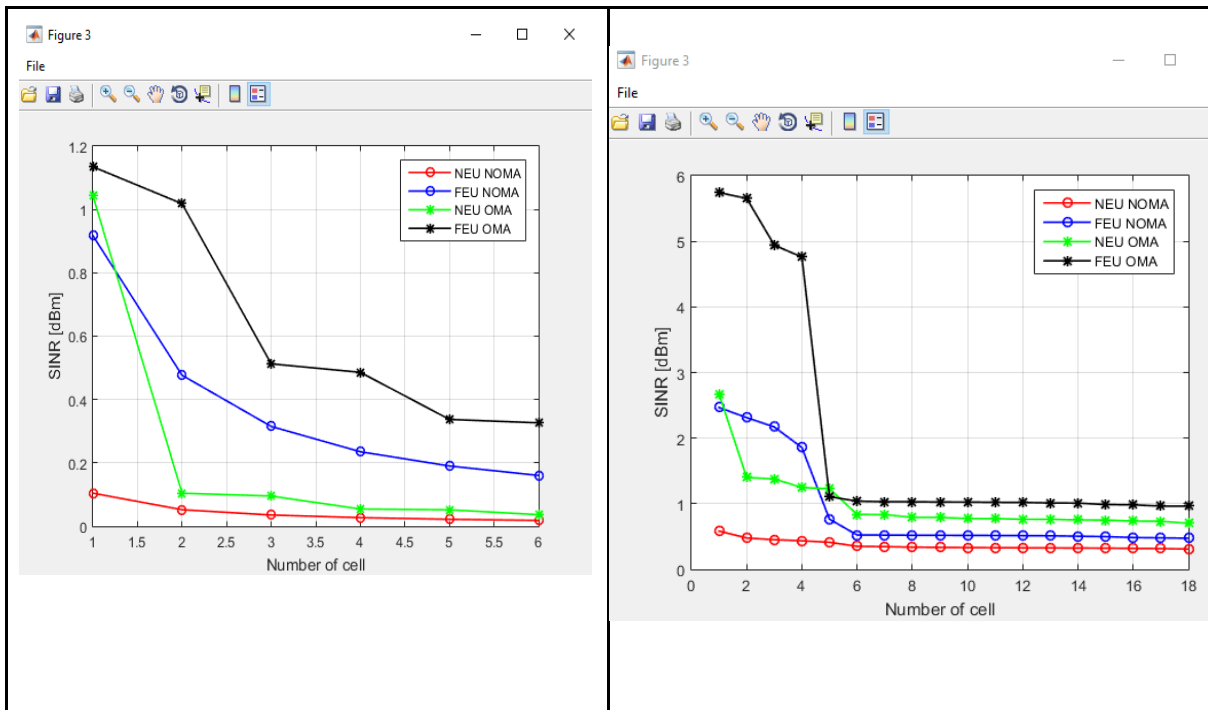
Figure 2

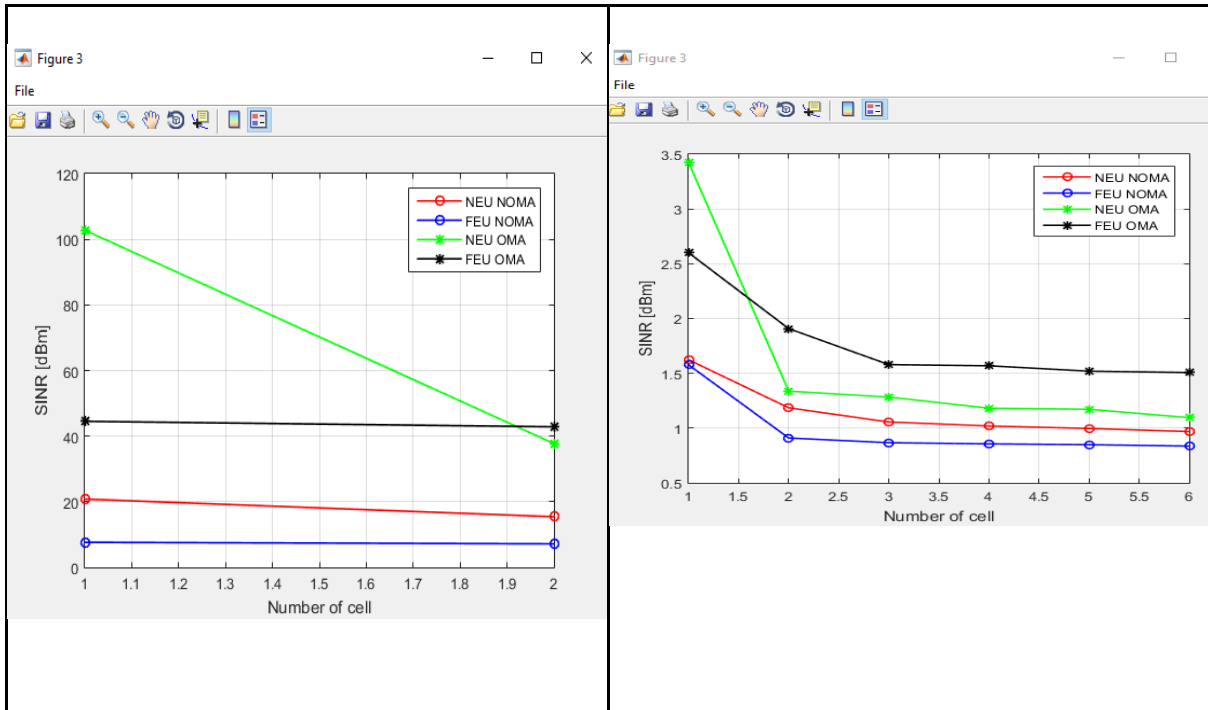




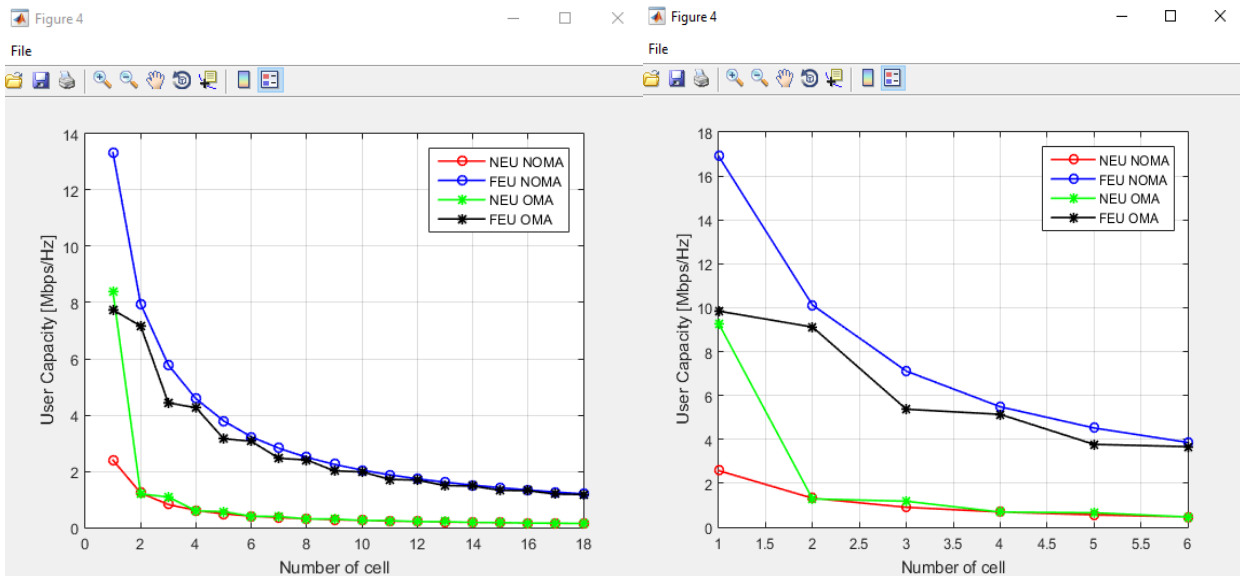


3. SINR

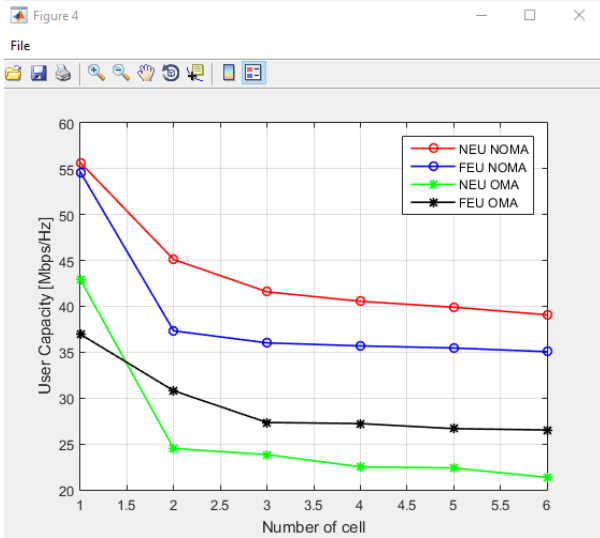
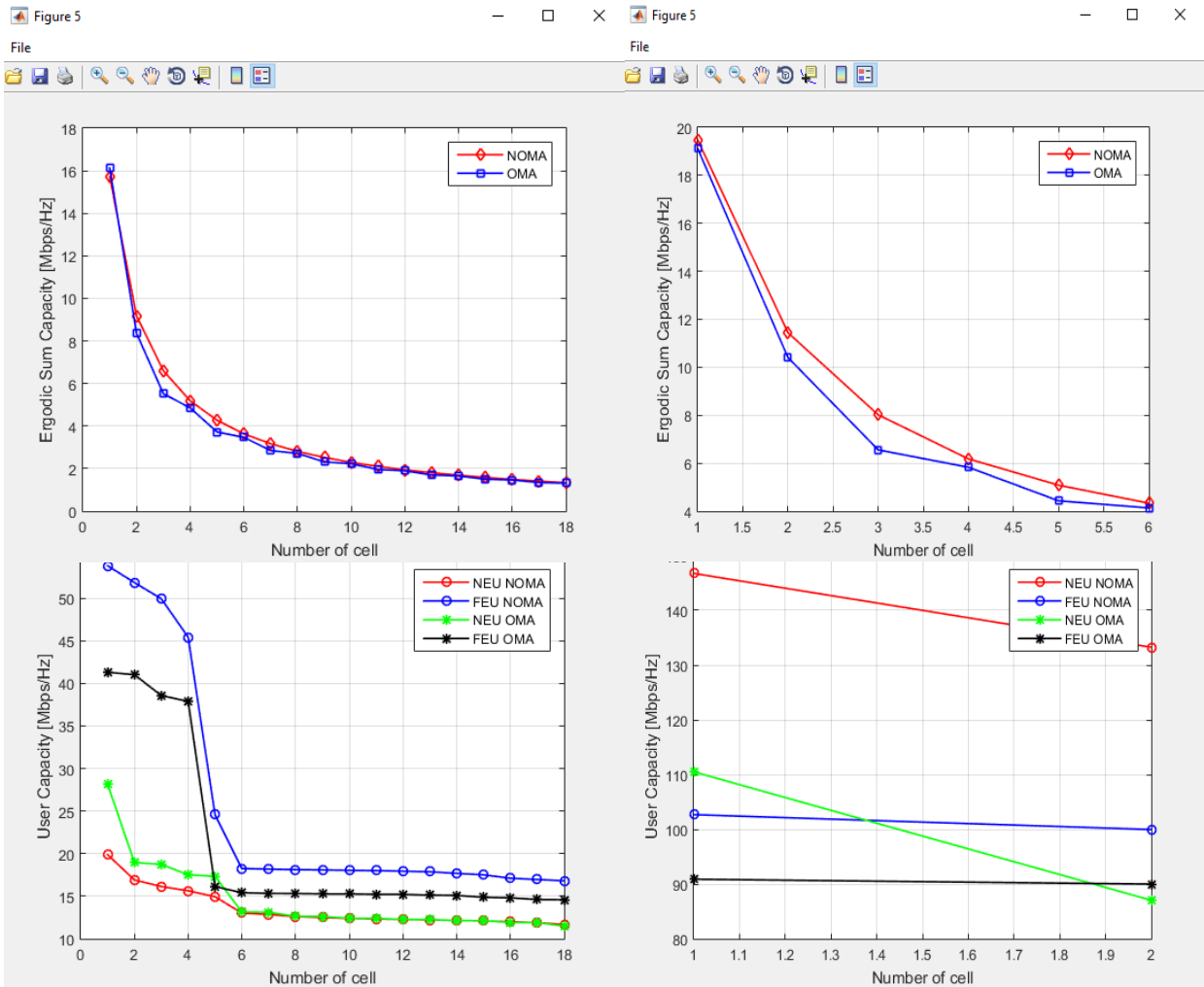


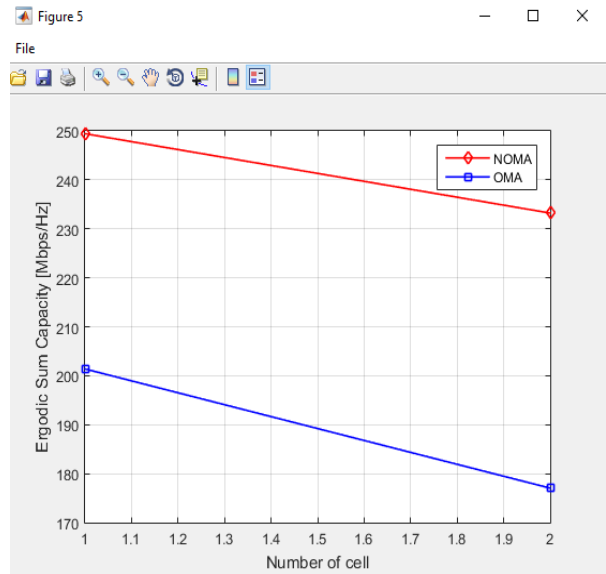
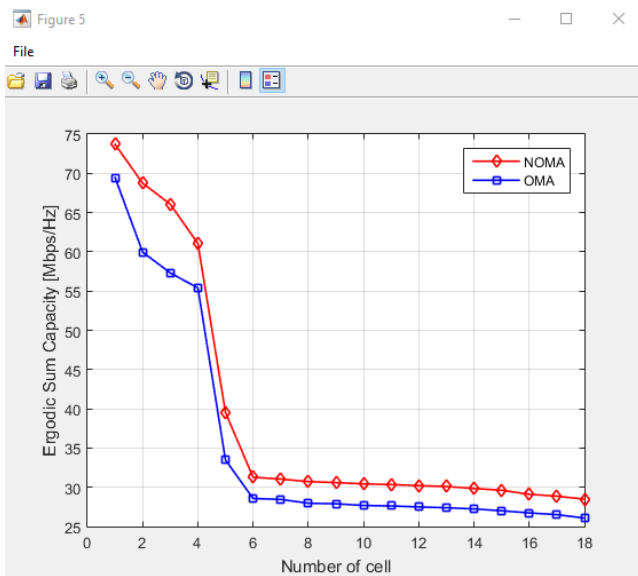


4. Pojemność/efektywność widmowa per UE

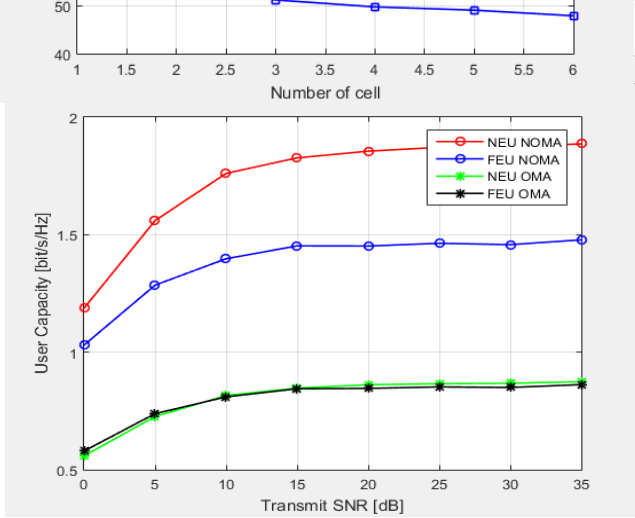
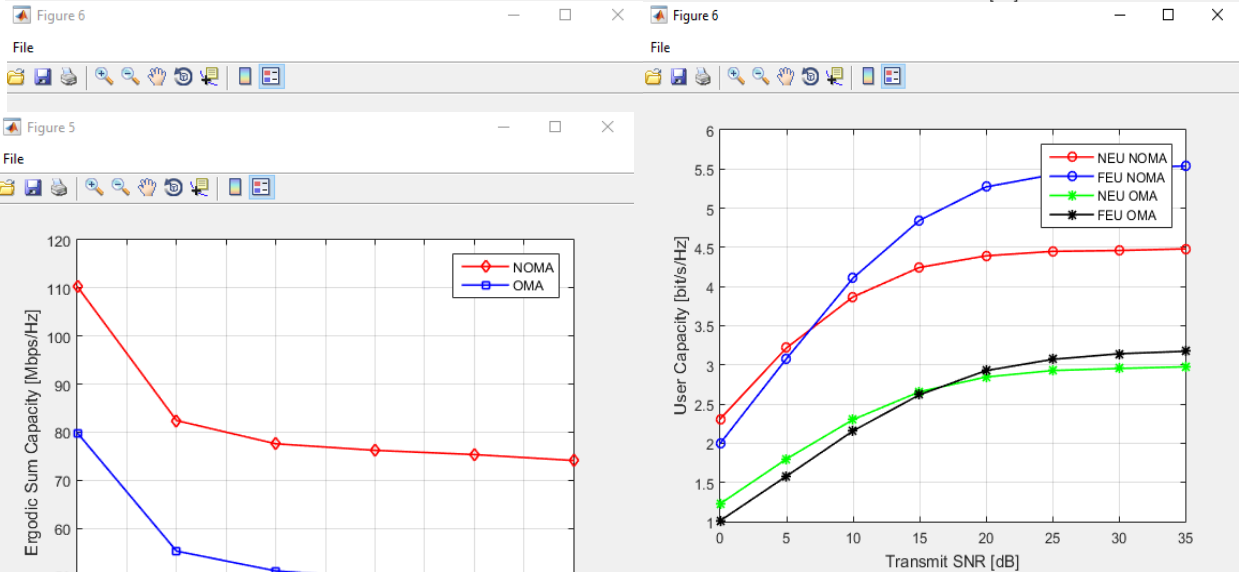
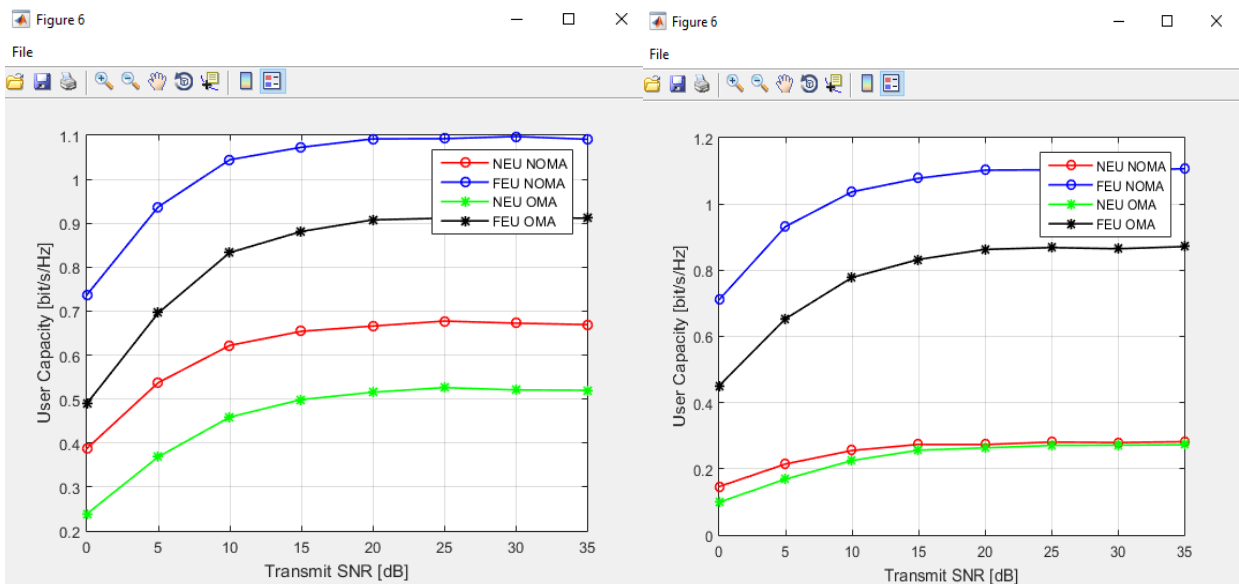


5. Ergodyczna pojemność [Mbps/Hz]

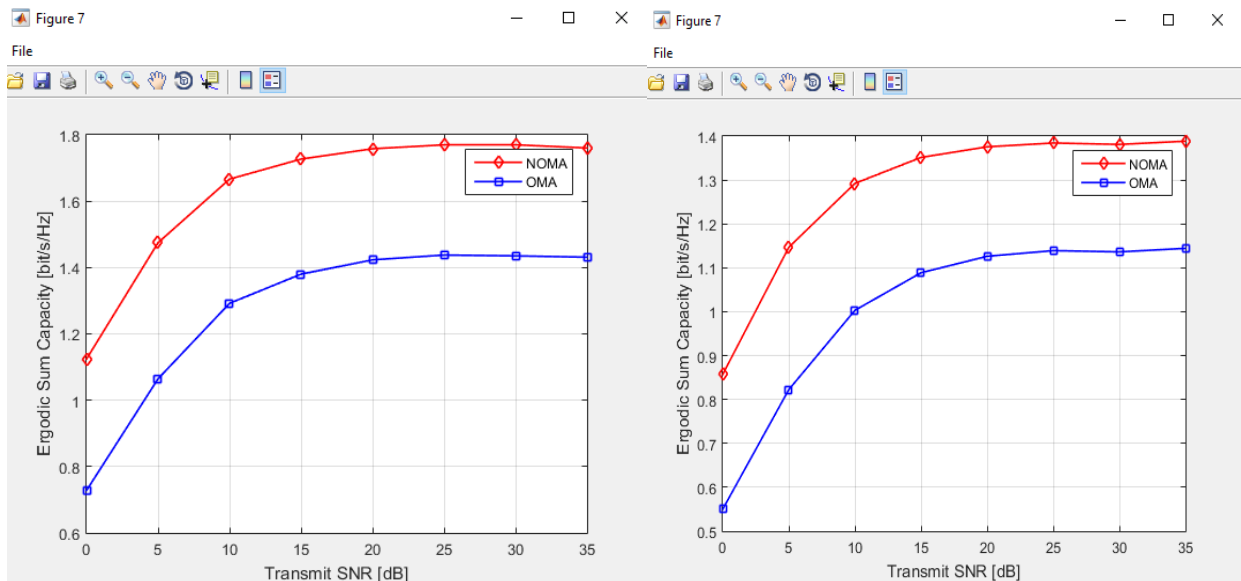




6. Wydajność widmowa per UE



7. Wydajność widmowa - wartość ergodyczna



Źródła

- [1] - <http://wens.re.kr/home/news/noma-simulator-v1>
- [2] - http://journals.pan.pl/Content/107764/PDF/65_1341.pdf
- [3] - <https://www.mathworks.com/matlabcentral/answers/329970-i-am-struggling-with-a-code-the-code-for-signal-transmission-in-non-orthogonal-multiple-access-pleas>
- [4] - https://github.com/yagneshmb/Suboptimal_NOMA_5G?files=1
- [5] - <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7289292/authors#authors>
- [6] - <http://www.ee.cityu.edu.hk/~liping/Research/Journal/6%20Massive%20MIMO,%20Non-Orthogonal%20Multiple%20Access%20and%20Interleave%20Division%20Multiple%20Access.pdf>
- [7] - <http://www.ee.cityu.edu.hk/~liping/Research/Simulationpackage/>
- [8] - <https://www.mathworks.com/campaigns/offers/5g-technology-ebook.html>
- [9] - [Comparison of 4G and 5G Network Simulators - ThinkMindhttp://www.thinkmind.org/icwmc_2019_2_10_20025](http://www.thinkmind.org/icwmc_2019_2_10_20025)
- [10] <https://github.com/nyuwireless-unipd/ns3-mmwave>

Załącznik1 - Projekty grupy WENS

A Novel Radio Access Technology Based On Mmimo, Non-Orthogonal Multiple Access And Index Modulation For B5G

01 Sep 2019 - 12:09 AM KST

- **Title**
 - 국문: B5G를 위한 mMIMO, 비직교 다중 접속 및 인덱스 변조 기법 기반 새로운 무선 접속 기술 연구
 - English: A Novel Radio Access Technology based on mMIMO, Non-Orthogonal Multiple Access and Index Modulation for B5G
- **Funded by:** National Research Fund
- **Period:** 2019-09-01 ~ 2022-02-28
- **Role:** leader
- **Manager:**
- **Project summary:**
 - Novel wireless radio access technology combining massive MIMO (mMIMO) in spatial domain, non-orthogonal multiple access (NOMA) in power domain, and Index Modulation (IM) utilizes the index area.

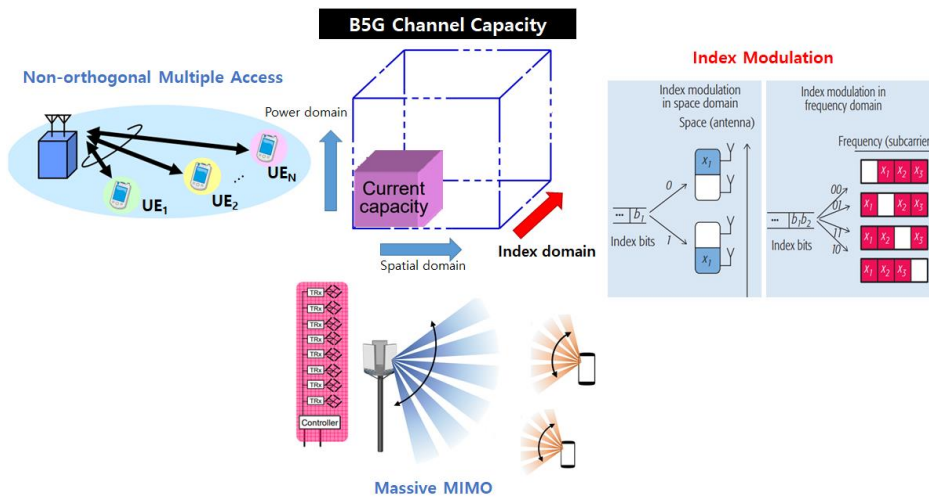
 - IM is a technology that can additionally transmit data by using the components (index) of the communication system, and can improve frequency efficiency performance by selecting and combining an appropriate index. In this study, we will conduct research for IM optimized for mMIMO and NOMA, and this is a unique approach that is rarely underway.

 - The wireless access technology to be derived from this study aims to develop a new high efficiency break-through technology through the combination of mMIMO, NOMA, and IM for the first time in the world, and at least 5 times the frequency efficiency target of 5G (DL: 150). Aiming to achieve greater than UL: 65)

 - The proposed new radio access technology is expected to achieve additional performance improvements through the optimized combination of various resources such as antenna, beam, power, user pairing, index, etc., so that deep learning based channel prediction and pilot allocation, game theory and Perform optimization study to increase communication capacity such as optimal resource allocation based on quantum-based mixed algorithm
- **Acknowledgement**

- 국문표기: 이 논문은 2019년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019R1A2C1089542).
- English: This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MEST) (No. 2019R1A2C1089542)

- Images:



Research On Optimization Of Non-Orthogonal Multiple Access And Spatial Modulation For 5G And Fra

31 Oct 2018 - 12:10 AM KST

- Title
 - 국문: 5G 및 미래 무선 접속을 위한 NOMA 및 SM 기반 무선 접속 기술의 최적화 기법 연구
 - English: Research on optimization of Non-Orthogonal Multiple Access and Spatial Modulation for 5G and FRA
- Funded by: NRF(National Research Fund)
- Period: 2015-11-01 ~ 2018-10-31
- Role: leader
- Manager: 이상훈 (Sanghoon Lee)
- Project summary:

- Novel wireless broadband radio access technologies for 5G and Future Radio Access (FRA)
- By exploiting Non-orthogonal Multiple Access (NOMA), Faster Than Nyquist (FTN), Generalized Spatial Modulation (G-SM) known as wireless capacity and spectral efficiency improving technologies, propose new hybrid schemes for spectral efficiency and system capacity enhancement.
- Acquire fundamental technologies for 5G and FRA

● **Acknowledgement**

- 국문표기: 이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2015R1D1A1A01061075)
- English: This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIP; Ministry of Science, ICT & Future Planning) (2015R1D1A1A01061075).

● **Images:**

