

Poznan University of Technology

Doctoral Thesis

***Non-Orthogonal Multiple Access with  
Successive Interference Cancellation and its  
Applications***

Hind Salim Ghazi

Supervisor:

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Wesołowski

*Thesis submitted in fulfillment of the requirements  
for the degree of Doctor of Philosophy  
in the*

Faculty of Computing and Telecommunications

Poznań, 2021

## *Abstract*

Fifth Generation (5G) Mobile Network is the forthcoming revolution of mobile technology beyond 4G standards. Machines, objects, devices in addition to people can be virtually connected by a new network run by 5G technology. Recently 5G wireless communication networks attract a lot of significant research in the era of the increasing demand for connectivity. They offer a set of desirable potential features such as high data rate, ultra-low latency, higher reliability as well as low power consumption.

Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) with Successive Interference Cancellation (SIC) is proposed as one of the candidate radio access technologies for the upcoming 5G networks. In NOMA transmission, multiple users can simultaneously employ common resources in a non-orthogonal manner that can attain high spectral efficiency while some degree of multiple access interference is allowed at receivers.

This dissertation suggests designing of uplink NOMA transmission in multi-carrier wireless communication systems. For simplicity, an example in WiFi application (Standard IEEE 802.11a) was applied aiming to examine NOMA performance in such systems in order to achieve better Quality of Services (QoS) and hence throughput increase.

One of the crucial features of NOMA transmission is the necessity of careful selection of participating users according to their powers and channel conditions. In the context of successive interference cancellation, the research presents an improved detection algorithm, which allows for using the NOMA transmission for much smaller power differences between the users sharing common radio resources in the uplink, as compared with standard successive cancellation being applied in NOMA. The idea of this proposed algorithm lies in the application of tentative decisions about weaker signals in the detection of stronger ones and then, after improved detection of stronger user signals, achieving more reliable decisions about the weaker ones. This approach can achieve user fairness and enhance the throughput of participating users.

The final scope of this dissertation is the application of the proposed improved detection algorithm in the relay node of two-way relaying system when Physical Network Coding (PNC) is applied. PNC is one of the techniques which aim at improving network throughput. It originates from the network coding idea in which network nodes are equipped not only with routing capabilities but also can perform some mathematical operations. Two-way relaying is one of the

scenarios in which an intermediate node (relay) receives and transmits packets exchanged between two end nodes. Its efficiency can be improved when network coding is applied in the physical layer. Intensive simulations performed for the reference and proposed physical layer network coding algorithms applied in the relay of two-way relaying systems have proven that the proposed PNC detection algorithm applied in the relay can be a valuable alternative to the typical, regular one at the price of higher computational requirements in the relay, mostly in the form of separate channel decoding of both data streams generated by the end users.

## *Streszczenie*

Sieci piątej generacji (5G) stanowią istotną rewolucję w dziedzinie technologii mobilnych względem istniejących obecnie standardów 4G. Maszyny, różne obiekty i urządzenia mogą być oprócz ludzi połączone za pomocą nowej sieci działającej zgodnie z technologią 5G. W czasach wzrastających wymagań dostępu do sieci telekomunikacyjnych sieci bezprzewodowe 5G stały się obiektem istotnych badań. Sieci te potencjalnie oferują zbiór korzystnych cech takich jak: wysoka przepływność danych, szczególnie niskie opóźnienia, wyższa niezawodność jak i niskie zapotrzebowanie na moc.

Wielodostęp nieortogonalny (NOMA – *Non-Orthogonal Multiple Access*) wraz z sukcesywną kompensacją interferencji (SIC – *Successive Interference Cancellation*) został zaproponowany jako jedna z kandydujących technologii wielodostępu we wprowadzanych sieciach 5G. W transmisji NOMA wielu użytkowników może równocześnie stosować wspólne zasoby radiowe w sposób nieortogonalny, co ma zapewnić wysoką sprawność spektralną przy pozwoleniu na pewien stopień interferencji między użytkownikami.

Niniejsza rozprawa przedstawia projekt transmisji NOMA w łączu w górę w systemach telekomunikacyjnych z wieloma podnośnymi. W celu zachowania prostoty badań symulacyjnych, zastosowano przykład w postaci systemu WiFi zgodnego ze standardem IEEE 802.11a mający na celu sprawdzenie jakości działania metody transmisji NOMA w takich systemach i zapewnienie wyższej jakości usług QoS i wzrostu przepływności.

Jedną z kluczowych cech transmisji NOMA jest konieczność ostrożnego doboru użytkowników na podstawie ich mocy i warunków propagacyjnych w ich kanałach uczestniczących w dostępie do tych samych zasobów. W kontekście sukcesywnej kompensacji interferencji przeprowadzone badania doprowadziły do zaproponowania ulepszonych algorytmu detekcji, który pozwala na zastosowanie transmisji NOMA w przypadku znacznie mniejszych różnic w poziomach mocy pomiędzy użytkownikami współdzielącymi wspólne zasoby radiowe w łączu w górę w porównaniu z tym, co zapewnia standardowa sukcesywna kompensacja interferencji stosowana w transmisji NOMA. Ideą zaproponowanego w rozprawie algorytmu jest zastosowanie tymczasowych (wstępnych) decyzji dotyczących słabszych sygnałów w detekcji silniejszych a wtedy po ulepszonej detekcji sygnałów silniejszych, uzyskanie bardziej niezawodnych decyzji dotyczących sygnałów słabszych. Takie podejście zapewnia uczciwe traktowanie użytkowników i podnosi przepustowość uczestniczących w transmisji użytkowników.

Końcowym zakresem niniejszej dysertacji jest zastosowanie zaproponowanego ulepszonych algorytmu detekcji w węzle przekaźnikowym systemu dwukierunkowej wymiany danych w przypadku, gdy zastosowano kodowanie sieciowe w warstwie fizycznej (PNC – *Physical Layer Network Coding*).

PNC jest jedną z technik mających na celu podniesienie przepustowości sieci. Pochodzi ona od idei kodowania sieciowego, w którym węzły sieci są wyposażone nie tylko w możliwości określania trasy pakietów, ale także wykonują na nich określone operacje matematyczne. Dwukierunkowa transmisja z pośrednictwem przekaźnika jest jednym ze scenariuszy, w którym węzeł pośredniczący (przekaźnik) odbiera i nadaje pakiety wymieniane pomiędzy dwoma węzłami (terminalami) końcowymi. Jej efektywność może zostać podniesiona, gdy kodowanie sieciowe jest zastosowane w warstwie fizycznej. Przeprowadzono intensywne symulacje dla określenia jakości systemu PNC w jego standardowej wersji i w wersji z zaproponowanym algorytmem detekcji w przekaźniku, które pokazały, że zaproponowany algorytm detekcji działający w przekaźniku może być wartościową alternatywą dla typowego algorytmu za cenę wyższych wymagań obliczeniowych w przekaźniku w większości z postaci osobnego dekodowania kodów kanałowych zastosowanego w obu strumieniach danych generowanych przez użytkowników końcowych.