

Recenzja rozprawy doktorskiej

Mgr inż. Karolina Lenarska

zatytułowanej:

New Two-Way Relaying Transmission Schemes for 5g Wireless Communication System

1. Problem badawczy i jego znaczenie

Współcześnie systemy bezprzewodowe wspierają wszystkie dziedziny działalności człowieka, jego życia i środowiska. Szybki wzrost usług i aplikacji wymagających wykorzystania transmisji bezprzewodowych powoduje lawinowy wzrost wymagań dotyczących wykorzystania zasobów medium transmisyjnego w coraz wyższych pasmach częstotliwości. Wymagania te obejmują również wzrost efektywności wykorzystania aktualnie dostępnych zakresów widma EM poprzez poszukiwanie coraz bardziej efektywnych metod transmisyjnych, włączając coraz wyższy poziom zdolności adaptacyjnych z coraz większym zakresem wykorzystania metod sztucznej inteligencji AI. Techniki wirtualizacyjne wprowadzone w rozwiązaniach sieci 5G są tylko jednym ze sposobów rozwiązania problemu efektywnego dostępu w środowisku zorientowanym usługowo. Znacznie bardziej złożonym problemem jest wykorzystanie zasobów sieci fizycznych z efektywnym zarządzaniem, wymuszającym poszukiwanie metod transmisyjnych spełniających z jednej strony wymagania użytkownika, z drugiej ograniczając energochłonność stosowanych systemów. Jednym ze sposobów rozwiązania tego problemu jest dywersyfikacja systemu fizycznego drogą wzrostu jego heterogeniczności, zarówno z punktu widzenia obszaru pokrycia, rozwiązań topologicznych, jak i metod transmisyjnych, w szczególności w warstwach fizycznej PHY i dostępowej MAC.

Jedną z metod dywersyfikacji topologii jest wykorzystanie przekaźników radiowych RN, inną technika wieloantenowa MIMO, umożliwiającą zwiększenie stopnia swobody w poszukiwaniu efektywnych metod transmisji w kanale radiowym. Wykorzystanie techniki MIMO, w tym Massive MIMO, jest jednym z obszarów intensywnej eksploracji naukowej, w który wpisują się badania Doktorantki.

W przedstawionej dysertacji obejmują one dwa niezmiernie istotne problemy, w których rozwiązaniu zastosowano metodę kształtowania wiązki. Są to: efektywna dwukierunkowa transmisja przekaźnikowa TWR oraz metoda przeciwdziałania zakłóceniom celowym (Antijamming) zmniejszająca podatność transmisji radiowej na to zagrożenie.

W pracy postawione zostały dwie tezy:

- user specific beamforming together with advanced receivers can be efficiently used in terms of achievable Block Error Rate (BLER) and throughput, for interference mitigation in the broadcast phase of two-way relaying, with the ability to support asymmetric traffic and flexible selection of transport layer parameters for each link;

(Specyficzne dla użytkownika kształtowanie wiązki wraz z zaawansowanymi odbiornikami może być efektywnie wykorzystywane pod względem osiągalnej stopy błędów blokowych (BLER) oraz przepustowości, w celu łagodzenia zakłóceń w fazie rozgłoszeniowej dwukierunkowego przekaźnika, z możliwością obsługi ruchu asymetrycznego i elastycznym doбором parametrów warstwy transportowej dla każdego łącza);

- user specific beamforming together with advanced receivers can efficiently eliminate the interference originating from the jammer maintaining lower computational complexity than the well-know Interference Cancellation (IC) receiver.

(Specyficzne dla użytkownika kształtowanie wiązki wraz z zaawansowanymi odbiornikami może skutecznie wyeliminować interferencje pochodzące z jammera, zachowując niższą złożoność obliczeniową niż dobrze znany odbiornik eliminacji zakłóceń (IC)).

Obydwie tezy zostały udowodnione naukowo poprzez wyniki symulacji potwierdzające rozwiązania teoretyczne. Dla pierwszej tezy jest to opracowanie metody TWR wykorzystującej technikę Multi-User MIMO (MU-MIMO) z wprowadzeniem nowych metod kodowania sieciowego, dla drugiej opracowanie dwu strategii przeciwdziałania zakłóceniom zwiększającą odporność na taki atak systemu TWR z wieloma użytkownikami MIMO-Y z zastosowaniem metody SSA (Signal Space Alignment).

Praca ma niewątpliwie charakter naukowy z dużymi perspektywami wdrożenia praktycznego.

2. Wkład autora

Z punktu widzenia analizy problemu i rozwiązań, metodyki badań, przedstawiona dysertacja ma dużą wartość naukową i stanowi znaczący wkład w dziedzinę rozwoju sieci nowej generacji NR.

Praca składa się z 6 rozdziałów. We wstępie (rozd. 1) Autorka przedstawiła problemy badawcze wraz ze sformulowaniem tez rozprawy, poprzedzając je wprowadzeniem zawierającym charakterystykę ogólną generacji sieci komunikacji mobilnej, w szczególności opisującymi aspekty standaryzacyjne sieci 5G (wspomniano też o systemach 6G), kolejno zamieszczono wprowadzenie do koncepcji sieci z węzłami przekaźnikowymi i problemami związanymi z dwukierunkową retransmisją.

Rozdział 2 zawiera ogólną charakterystykę systemu 5G z opisem podstawowych scenariuszy użytkowych i kluczowych rozwiązań technologicznych, ogólną charakterystykę warstwy fizycznej NR i opis procesów transportowych związanych z kodowaniem kanałowym, dopasowaniem szybkości transmisji, itp., kładąc nacisk w szczególności na wstępne kodowanie (prekodowanie) antenowe. Znaczącą część rozdziału stanowi wprowadzenie do techniki przekaźnikowej w sieciach 5G, przedstawienia jej zalet i podstawowych zastosowań.

Rozdział 3 stanowi szczegółowe wprowadzenie w problematykę TWR, opisano ideę kodowania sieciowego, kodowania sieciowego w warstwie fizycznej PNC oraz technikę tzw. wyrównywania przestrzeni sygnałowej SSA (Signal Space Alignment). Pokazano, że technika TWR-SSA zapewnia większą efektywność widmową w porównaniu z TWR z PNC, NC i bez kodowania, z przewagą rosnącą wraz z indeksem modulacji.

Podstawowy wkład Autorki w rozwiązaniu problemów związanych z udowodnieniem prawdziwości postawionych tez stanowią rozważania zawarte w rozdziałach 4 i 5, z rozwinięciem dość ogólnego sformułowania w tezach rozprawy dotyczącego zaawansowanych odbiorników.

Rozdział 4 zawiera analizy teoretyczne problematyki efektywnej techniki TWR wraz z wynikami badań symulacyjnych. Oryginalność zaproponowanego rozwiązania, nazwanego Maximum Rate Transmission (MRT) polega na nowym sposobie prekodowania, polegającego na określeniu zbioru współczynników wagowych poszczególnych składowych sygnałów odbieranych w przekaźniku tak, aby uzyskać maksymalne wartości SNR. Posługując się metodami analitycznymi porównane zostały właściwości podstawowych klas algorytmów optymalizacyjnych Maximum Likelihood (ML), Zero Forcing (ZF) i Minimum Mean Square Error (MMSE). Następnie wyprowadzone zostały zależności na wartości SNR dla dwóch metod prekodowania: NC (Network Coding) i MU-MIMO dla rozwiązania klasycznego i z prekodowaniem MRT. Dodatkowo metoda CB-MRT została zaproponowana dla systemu, w którym wykorzystywana jest informacja o stanie kanału na podstawie

sygnałów referencyjnych CSI-RF. W tym przypadku stacja przekaźnikowa wybiera wektory prekodujące ze skończonego zbioru z książki kodów dla NR zgodnie ze standardem 3GPP.

W celu przeprowadzenia badań, Autorka opracowała własny symulator na poziomie łącza LTE/NR, na który składają się procedury własne opracowane w języku C++, procedury zaczerpnięte z biblioteki IT++ oraz skrypty napisane w MATLAB dla przetwarzania post oraz wizualizacji.

ZPrzyjmując zalecane parametry symulacyjne oraz wprowadzone kryteria ograniczeń ilości przebiegów symulacji, uzyskano wyniki, których wartości uśrednione przedstawiono w postaci wykresów określających dla łącza RS-MS zależności (w różnych konfiguracjach anten): Przepustowości i BLER w funkcji SNR w fazie MAC, w fazie NC; następnie pokazano wykresy wymienionych parametrów uzyskane dla MU-MIMO w różnych konfiguracjach anten z różnymi metodami prekodowania (MRT, CB-MRT, ZFBF, BDBF, MU-BDBF); kolejno porównano skuteczność rozwiązania z MRT na wykresach parametrów w łączu RS-BS dla różnych konfiguracji anten, a na kolejnych wykresach porównano skuteczność metod MRT i NC dla różnych konfiguracji anten. Podobne wykresy przedstawiono w dodatku dla łącza MS-RS.

Konkludując stwierdzono, że metoda MRT zapewnia lepsze parametry transmisji w porównaniu z metodami wcześniej opisanymi. Przy czym wyjątkiem jest tu porównanie MRT i NC, gdzie ta druga wykazuje przewagę nad metodą MRT w przypadku stosowania większej liczby anten odbiorczych. Jak stwierdza Autorka dodatkowa przewaga NC tkwi w mniejszej złożoności i braku potrzeby informacji o stanie kanału, ale znaczącym jej ograniczeniem jest jednakowa długość transmitowanych bloków, co w zaproponowanej metodzie MU-MIMO nie jest istotne. Natomiast, jak dalej stwierdza Autorka konieczne są dalsze badania nad praktyczną realizacją zaproponowanej przez nią metody w warunkach niepełnej znajomości CSI.

Sposób przeprowadzenia dowodu prawdziwości drugiej tezy opisano w rozdziale 5. W celu zmniejszenia wpływu sygnału zakłócającego na funkcje węzła przekaźnikowego w systemie retransmisji sygnałów wielu użytkowników MIMO Y zaproponowane zostały dwie metody: AJ-SSA (Antijamming based on SSA) i J-IC (Jammer's Interference Cancellation). W pierwszym przypadku wykorzystano iteracyjny algorytm optymalizacji wiązki dla kanału MIMO Y, który zastosowano w scenariuszu z zakłódczem jednoantenowym. Sformułowany problem AJ-SSA polega na optymalizacji wiązki oraz mocy. Przyjęto, że wiązka jest optymalizowana dla każdej pary sygnałów przyjmując, że w tym czasie inne wektory formowania wiązki są stałe. Przedstawiono rozwiązanie problemu optymalizacji wiązki dla dwóch przypadków: $N_S \geq N_R$ i $N_S < N_R$, gdzie N jest liczbą anten węzła i przekaźnika odpowiednio. Zarówno dla tych przypadków, jak i optymalnej alokacji mocy sformułowano kryteria optymalizacyjne. W rozwiązaniu pierwszego problemu wykorzystano metody zaawansowanej algebry liniowej, gdzie problem przyjmuje postać Ilorazu Rayleigha także w postaci uogólnionej, a rozwiązanie polega na określeniu uogólnionego wektora własnego o największej wartości. Drugi problem ma postać optymalizacji Convexu, do rozwiązania którego wykorzystano metodę punktu wewnętrznego. W metodzie J-IC interferencja jest usuwana w przekaźniku metodą odejmowania zakłócenia estymowanego na podstawie przychodzącego sygnału przy założeniu znajomości charakterystyki kanału zakłóceń.

Dla porównania określono złożoność obliczeniową dla obydwu metod, z której wynika, że najbardziej czasochłonnym w metodzie AJ-SSA jest proces wyznaczania wektorów prekodowania, a w metodzie J-IC proces equalizacji. Porównanie wskazuje jednak, że prostsza koncepcyjnie metoda J-IC jest bardziej czasochłonna niż AJ-SSA. Badania symulacyjne proponowanych rozwiązań przeprowadzono metodą Monte Carlo wykorzystując symulator poziomu łącza dla parametrów o wartościach, jak w symulacjach poprzednich, ale dla mniejszej liczby PRB. Jak stwierdza Autorka, otrzymane rezultaty można traktować jako górną granicę BLER. Symulacje pokazują, że obydwie metody mają podobne właściwości i są godne implementacji.

W konkludującym pracę rozdziale 6 przedstawiono uogólnione wnioski dotyczące zarówno opracowanych metod dwukierunkowej transmisji przekąźnikowej oraz schematów przeciwwzakłóceńowych.

W tym miejscu recenzent zgadza się ze sformulowaniem Autorki, że wykazano poprawność sformulowanych problemów i przeprowadzono walidację tez rozprawy. Natomiast nieco zabrakło zapisów dotyczących praktycznego wykorzystania wyników i perspektywy dalszych badań w prezentowanym obszarze. Przy czym, jak wskazałem wcześniej wszystkie opracowane przez Autorkę procedury mogą być zaimplementowane praktycznie.

Na uwagę zasługuje duża aktywność publikacyjna Autorki dysertacji, która w dorobku posiada 15 artykułów konferencyjnych, 2 publikacje w renomowanych wydawnictwach (Sensors i IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems) oraz opracowanie jednego rozdziału w zwartej publikacji Wydawnictwa Politechniki Poznańskiej.

3. Poprawność

Rozprawa napisana jest w języku angielskim, a jej poprawność językowa nie budzi zastrzeżeń recenzenta, który nie jest ekspertem językowym, a ocena dotyczy jasności sformułowań i czytelności przedstawiania problemów. Na wysoką ocenę zasługuje kompleksowy sposób przedstawienia problemów i ich rozwiązań zawierający charakterystykę problemu, rozwiązanie analityczne i badania symulacyjne odpowiednio przeprowadzone w celu udowodnienia prawidłowości wyznaczonych celów i postawionych tez. Właściwe rozwiązania poprzedzone są opisami zawierającymi charakterystykę obiektu badań i rozwiązywanych problemów. Przedstawiona wiedza jest uporządkowana w sposób zapewniający ciągłość merytoryczną dysertacji. A badania przeprowadzone za pomocą opracowanego przez Autorkę symulatora są kompletne umożliwiające zarówno ocenę właściwości metod, jak i porównanie z innymi rozwiązaniami opisanymi w literaturze.

Praca jest napisana z wyjątkową dbałością o stronę edycyjną, jednak Autorka nie ustrzegła się kilku błędów:

- str.60 3 wiersz pkt.4.5.1 powinno być „Table 4.1”
- na str. 89 jest dokładne powtórzenie ze str. 42 „Notations:...”
- brak wyjaśnień symboli N_S , N_R ,
- str.92 i 93 Rayleigh Quotient i Generalized Rayleigh Quotient są nazwami własnymi i powinny być pisane jak pokazano z dużej litery, podobnie jak Convex
- jednozdaniowy podrozdział 5.2.3 z powodzeniem mógłby być dołączony do poprzedniego,
- w wykazie artykułów konferencyjnych na str.110 w poz. 11 brak jest roku wydania,
- niezręczne jest stosowanie w jednym opracowaniu jednakowych akronimów dla kilku oznaczeń, w tym przypadku dotyczy to akronimu MAC – Medium Access Control i Multiple Access Channel, dla tego drugiego lepszym rozwiązaniem byłoby zastosowanie akronimu MACH.

4. Wiedza kandydata

Sposób przedstawienia problemu, dyskusja stanu wiedzy dotyczącej prezentowanych zagadnień i rozwiązywanych problemów świadczą o dużej wiedzy Autorki rozprawy w zakresie Informatyki Technicznej i Telekomunikacji. Potwierdzeniem tego stwierdzenia jest obszerna bibliografia, która w tekście rozprawy została omówiona w sposób kompletny, prezentujący stan wiedzy w obszarze badań Doktorantki. W rozdziale 2 wykorzystano część pozycji literaturowych do przedstawienia ogólnej charakterystyki generacji bezprzewodowych sieci komunikacyjnych, odniesienia literaturowe w rozdziale 3 dotyczą technik stosowanych w dwukierunkowej transmisji przekąźnikowej, W

rozdziałach 4 i 5 Doktorantka przywołuje źródła, na których opierają się jej rozwiązania autorskie. Pozytywną opinię o wszystkich rozdziałach zawarłem w punkcie 2 recenzji. Dodatkowym argumentem przemawiającym za stwierdzeniem, że Kandydatka posiada ogólną wiedzę w dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja jest jej autorskie rozwiązanie symulatora, w którym część procedur została napisana przez Doktorantkę.

5. Inne uwagi

Moim zdaniem na uwagę i wysoką ocenę zasługuje znakomity warsztat badawczy Doktorantki, który obejmuje: zdolność do pozyskiwania wiedzy, jej uogólniania i analizy, zdolność do poszukiwania i formułowania problemów badawczych, zdolności matematycznego modelowania problemów i wyprowadzania analitycznych rozwiązań oraz zdolność prawidłowego planowania i realizacji badań symulacyjnych

6. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę opinie zaprezentowane w poprzednich punktach i wymagania zdefiniowane przez artykuł 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym (z późniejszymi zmianami) moja ocena rozprawy pod względem trzech podstawowych kryteriów jest następująca:

A. Czy rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie problem naukowego? (wybierz jedną opcję stawiając znak X)

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zdecydowanie TAK	Raczej TAK	Trudno powiedzieć	Raczej NIE	Zdecydowanie NIE

B. Czy po przeczytaniu rozprawy zgadzasz się, że kandydat posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie Informatyka techniczna i telekomunikacja?

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zdecydowanie TAK	Raczej TAK	Trudno powiedzieć	Raczej NIE	Zdecydowanie NIE

C. Czy kandydat posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej?

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zdecydowanie TAK	Raczej TAK	Trudno powiedzieć	Raczej NIE	Zdecydowanie NIE

Ponadto, biorąc pod uwagę kompleksowość rozwiązań i ich zdolność implementacyjną w sieciach 5G NR, nowatorskie koncepcje, szczegółowość opracowań analitycznych i wyniki symulacji rekomenduję wyróżnienie rozprawy doktorskiej.


Podpis