

Dr hab. inż. Sławomir Jerzy Ambroziak, prof. PG
Politechnika Gdańska
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki
slawomir.ambroziak@pg.edu.pl

20.10.2024 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Karoliny Lenarskiej

zatytułowanej:

*Nowe techniki transmisji dwukierunkowej przez stację przekaźnikową w systemach 5G
(New Two-Way Relaying Transmission Schemes for 5G Wireless Communication Systems)*

1. Problem badawczy i jego znaczenie

Rozprawa doktorska pani mgr inż. Karoliny Lenarskiej porusza kwestie zwiększenia niezawodności i pojemności systemów piątej generacji (5G) poprzez zastosowanie stacji przekaźnikowych. Problemy badawcze rozważane w rozprawie dotyczą poprawy jakości sygnału odbieranego w sieciach wykorzystujących stacje przekaźnikowe, poprzez odpowiednie kształtowanie charakterystyk promieniowania układów antenowych, przy jednoczesnym minimalizowaniu wpływu zakłóceń, zarówno tych pochodzących od innych użytkowników sieci, jak i tych pochodzących z zewnętrznych źródeł zakłócających.

Rozważane problemy badawcze, mające zdecydowanie charakter naukowy, zostały sformułowane przy użyciu dwóch tez rozprawy. Pierwsza z nich zakłada, że kształtowanie charakterystyki promieniowania układu antenowego z przeznaczeniem dla konkretnego użytkownika, który wykorzystuje odpowiednio zaawansowany odbiornik, może zmniejszyć możliwą do osiągnięcia blokową stopę błędów (BLER – *Block Error Rate*) oraz zwiększyć szybkość transmisji, przy jednoczesnym zmniejszeniu zakłóceń powstających w fazie rozgłoszeniowej transmisji dwukierunkowej. Jednocześnie teza ta zakłada, że takie rozwiązanie może wspierać obsługę asymetrycznego ruchu telekomunikacyjnego w sieci i elastyczny dobór parametrów warstwy transportowej dla każdego łącza. Druga teza zakłada dodatkowo, że dzięki zaproponowanym w rozprawie rozwiązaniom możliwa jest eliminacja interferencji pochodzących od innych urządzeń zakłócających przy jednoczesnym zachowaniu niższej złożoności obliczeniowej niż ma to miejsce w przypadku znanych rozwiązań.

Znaczenie praktyczne rozważanych problemów jest bardzo duże. Zarówno wzrost niezawodności transmisji, przejawiającej się mniejszą liczbą błędów w niej występujących, jak i wzrost możliwej do uzyskania szybkości transmisji, mają bezpośrednie przełożenie na jakość usług oferowanych przez operatorów sieci telekomunikacyjnych. Z kolei zastosowanie stacji przekaźnikowych może istotnie zwiększać pojemność sieci.

2. Wkład autora

Wkład pani mgr inż. Karoliny Lenarskiej w prezentowane wyniki jest znaczący. Do oryginalnych osiągnięć rozprawy należy zaliczyć opracowanie i zaimplementowanie dwóch nowych algorytmów kodowania wstępnego: MRT (*Maximum Ratio Transmission*) i CB-MRT (*Codebook Maximum Ratio Transmission*), które – jak wykazano z zastosowaniem autorskiego symulatora warstwy fizycznej i transportowej analizowanego systemu – maksymalizują stosunek mocy sygnału do mocy szumu po stronie odbiorczej łącza radiowego oraz redukują interferencje, co pozwala uzyskać niższą wartość BLER oraz wyższą szybkość transmisji w porównaniu z innymi znanymi rozwiązaniami, takimi jak: *Zero Forcing Beamforming* (ZBF), *Block Diagonalization Beamforming* (BDBF) i *Multi User Block Diagonalization Beamforming* (MU-BDBF).

Ponadto oryginalnym i bardzo istotnym osiągnięciem rozprawy jest opracowanie dwóch schematów przeciwdziałania intencjonalnym zakłóceniom radiowym w kanałach typu MIMO wykorzystujących technikę SSA (*Signal Space Alignment*), a mianowicie: *Antijamming Signal Space Alignment* (AJ-SSA) i *Jammer's Interference Cancellation* (J-IC), które – jak wykazały badania symulacyjne – dają porównywalne wyniki, jeżeli chodzi o poprawę jakości sygnału odbieranego (wyrażanej przez BLER) w odniesieniu do przypadku, w którym zastosowano tradycyjną technikę SSA, przy czym poprawa jest bardzo znacząca i pozwala uzyskać charakterystyki szumowe zbliżone do przypadków bez obecności sygnału zakłócającego.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że przytoczone powyżej, zaprezentowane w rozprawie osiągnięcia zostały już poddane pozytywnej weryfikacji przez środowisko naukowe, o czym świadczą dwa artykuły naukowe: jeden opublikowany w materiałach konferencyjnych (pozycja [28] w spisie literatury) oraz jeden opublikowany na łamach czasopisma (pozycja [77] w spisie literatury).

Znaczenie praktyczne wszystkich zaproponowanych rozwiązań jest duże i może mieć przełożenie na poprawę jakości oferowanych przez operatorów usług, a także na zapewnienie odporności systemów radiokomunikacji ruchomej na zagrożenia bezpieczeństwa związane z intencjonalnym zakłócaniem transmisji.

3. Poprawność

Zarówno stwierdzenia zawarte w rozprawie, jak i ich uzasadnienia są poprawne i godne zaufania. Dowody obu postawionych tez przeprowadzone są na bazie badań symulacyjnych, którym poświęcono dwa oddzielne rozdziały. Każdy z tych rozdziałów rozpoczyna się od przedstawienia istniejących prac badawczych w przedmiotowym zakresie, następnie opisane są modele analizowanych scenariuszy wraz z zastosowanym aparatem matematycznym. Następnie przedstawiono procedury i parametry



przeprowadzonych symulacji i bardzo szczegółowo przeanalizowano ich wyniki, podkreślając te aspekty, które dowodzą postawionych tez. Takie podejście świadczy o rzetelnym podejściu doktorantki do planowania i przeprowadzania badań naukowych oraz potwierdza wiarygodność ich wyników.

Podobnie jak w każdej pracy naukowej i każdym opracowaniu ją opisującym, także w recenzowanej rozprawie wnikliwy czytelnik może dopatrzeć się słabszych stron, które zostały wymienione poniżej, przy czym nieliczne błędy i uchybienia mniejszej wagi, takie jak literówki, błędy gramatyczne, czy też stylistyczne nie zostały wymienione, gdyż nie mają one istotnego znaczenia dla oceny merytorycznej rozprawy, co jest głównym celem niniejszej recenzji. Należy jednak sformułować kilka następujących uwag natury polemicznej.

W rozprawie nie zostało wyjaśnione, dlaczego do oceny jakości transmisji zdecydowano się zastosować blokową stopę błędów (BLER), a nie bitową stopę błędów (BER – *Bit Error Rate*). Doktorantka zakłada również, że dla zadowalającej jakości transmisji wystarczająca jest wartość BLER w zakresie od 10^{-3} do 10^{-2} . Recenzent nie polemizuje z założonymi wartościami, jednakże przyjmując określone kryteria oceny warto powoływać się na źródła literaturowe potwierdzające słuszność przyjętych założeń. Dodatkowo pewną wątpliwość budzi sposób przeprowadzania symulacji mających na celu wyznaczenie wartości BLER – symulator został tak skonfigurowany, że transmisja trwała aż do nadania 10000 szczelin i jeżeli w tym czasie nie odebrano z błędem co najmniej 100 bloków danych, to symulacja była kontynuowana aż do osiągnięcia tej liczby albo do nadania 1000000 szczelin. Takie rozwiązanie spowodowało, że BLER dla poszczególnych przypadków obliczany był na podstawie innej liczby nadanych szczelin. Nie zostało wyjaśnione dlaczego symulator został zaprogramowany w ten sposób. W opinii recenzenta bardziej odpowiednie byłoby szacowanie BLER na podstawie symulacji przeprowadzanych przez taki sam czas.

Jak wiadomo jedną z kluczowych właściwości systemów piątej generacji jest duża mobilność terminali ruchomych, których prędkość może dochodzić nawet do 500 km/h. W tym kontekście nie jest zrozumiałe dlaczego symulacje zostały przeprowadzone tylko dla jednego modelu profilu opóźnienia mocy kanału przeznaczonych dla użytkownika pieszego (EPA – *Extended Pedestrian A*). Uwzględnienie modeli dla użytkownika zmotoryzowanego (EVA – *Extended Vehicular A*) i dla typowego środowiska miejskiego (ETU – *Extended Typical Urban*) mogłoby znacząco wzbogacić pracę o dodatkowe analizy i wnioski. Z drugiej strony fakt ograniczenia analizy tylko dla jednego modelu kanału powinien zostać stosownie umotywowany w rozprawie.

Za słabą stroną rozprawy można również uznać fakt, że kwestie dotyczące wspierania obsługi asymetrycznego ruchu telekomunikacyjnego w sieci i elastycznego doboru parametrów warstwy transportowej łącza (poruszone w pierwszej tezie rozprawy) nie zostały przedstawione w rozprawie w wyczerpujący sposób.

Należy podkreślić, że powyższe uwagi nie są krytyczne i nie mają znaczącego wpływu na wysoką wartość merytoryczną recenzowanej rozprawy.

4. Wiedza kandydata

Pani mgr inż. Karolina Lenarska bardzo poważnie potraktowała niezwykle istotną kwestię przedstawienia istniejącego stanu wiedzy, aby na tym tle uwypuklić oryginalny wkład badań własnych w rozwój dyscypliny Informatyka techniczna i telekomunikacja. Rozdział drugi zawiera kompleksowy opis systemów radiokomunikacji ruchomej piątej generacji, natomiast w rozdziale trzecim przedstawiono problematykę dotyczącą transmisji dwukierunkowej przez stację przekaźnikową w tych systemach. Dodatkowo w podrozdziałach 4.1. i 5.1. przedstawiono dotychczasowe prace badawcze w zakresie dotyczącym obu celów prowadzonych badań sformułowanych w tezach rozprawy i opisanych w pierwszym punkcie recenzji. Tak gruntowny opis kluczowych zagadnień stanowi potwierdzenie ogólnego stanu wiedzy doktorantki w dyscyplinie Informatyka techniczna i telekomunikacja. Jednocześnie należy podkreślić, że jakość wyżej wymienionych rozdziałów i podrozdziałów stoi na bardzo wysokim poziomie, zarówno merytorycznym, jak i językowym. Notabene rozprawa została napisana w języku angielskim.

Dodatkowym argumentem przemawiającym za dużą wiedzą doktorantki w przedmiotowej tematyce jest przebieg jej drogi zawodowej obejmujący pracę naukową w macierzystej jednostce badawczej, ale także pracę w firmie z branży telekomunikacyjnej oraz udział w wielu projektach badawczych dotyczących zagadnień radiokomunikacyjnych. Doktorantka brała również udział w wielu konferencjach naukowych i jest autorką bądź współautorką licznych publikacji.

Bibliografia rozprawy zawiera 85 pozycji literaturowych, czego ponad 48% (41 pozycji) publikacji pochodzi z ostatniej dekady, co świadczy o aktualności przedstawianych zagadnień i poruszanej w rozprawie problematyki. W skład bibliografii wchodzi artykuły naukowe opublikowane w czasopismach i w materiałach konferencyjnych. Ponadto znaleźć tam można również dokumenty normalizacyjne i techniczne dotyczące analizowanych zagadnień. Wkład autorski doktorantki w bibliografię obejmuje 4 pozycje literaturowe, w tym 3 artykuły w czasopismach i jeden referat w materiałach konferencyjnych. Tak skonstruowana bibliografia jest poprawna i kompletna dla potrzeb przedłożonej do recenzji rozprawy.

5. 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)¹ 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


Podpis

¹ http://www.nauka.gov.pl/g2/oryginal/2013_05/b26ba540a5785d48bee41aec63403b2c.pdf