

dr hab. inż. Łukasz Januszkiewicz, prof. uczelni

POLITECHNIKA ŁÓDZKA
Wydział Elektrotechniki Elektroniki
Informatyki i Automatyki
Instytut Elektroniki
Al. Politechniki 10, 93-590 Łódź, budynek B9
REGON 000001583 NIP 727-002-18-95
Adres do korespondencji
ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź

Recenzja rozprawy doktorskiej

Tytuł rozprawy:

„Modeling of directional radio links and the accuracy of 5G link budget estimation”

Autor:

mgr inż. Kamil Bechta

Promotorzy:

dr hab. inż. Cezary Ziółkowski, prof. WAT

dr hab. inż. Jan M. Kelner

Podstawa sporządzenia recenzji

Recenzję sporządzono realizując uchwałę nr 35/RDN ITiT/2021 Rady Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego o wyznaczeniu recenzenta rozprawy doktorskiej mgr. inż. Kamila Mirosława Bechty w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.

Ogólna charakterystyka rozprawy

Praca doktorska dotyczy zagadnień związanych z projektowaniem bezprzewodowych systemów telekomunikacyjnych piątej generacji. Praca sporządzona jest w języku angielskim i stanowi ją zbiór 14 powiązanych tematycznie artykułów naukowych, wymienionych poniżej.

1. **Bechta, K.**, Rybakowski, M., Hsieh, F., Chizhik, D., „Modeling of radio link budget with beamforming antennas for evaluation of 5G systems”, 2018, IEEE 5G World Forum, 5GWF 2018 - Conference Proceedings, art. no. 8516969, pp. 427-432
2. **Bechta, K.**, Rybakowski, M., Du, J., „Impact of Effective Antenna Pattern on Millimeter Wave System Performance in Real Propagation Environment”, 2019, 13th European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2019, art. no. 8740070
3. **Bechta, K.**, Rybakowski, M., Du, J., „Efficiency of Antenna Array Tapering in Real Propagation Environment of Millimeter Wave System”, 2019, 13th European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2019, art. no. 8740259.

4. **Bechta, K.**, Du, J., Rybakowski, M., „Optimized antenna array for improving performance of 5G mmWave fixed wireless access in suburban environment”, 2019, IEEE 5G World Forum, 5GWF 2019 - Conference Proceedings, art. no. 8911630, pp. 376-381
5. J Du, J., Rybakowski, M., **Bechta, K.**, Valenzuela, RA., „Matching in the air: Optimal analog beamforming under angular spread”, arXiv preprint arXiv:1910.11054, 2019
6. **Bechta, K.**, Du, J., Rybakowski, M., „Rework the Radio Link Budget for 5G and beyond”, 2020, IEEE Access, 8, art. no. 9264127, pp. 211585-211594.
7. **Bechta, K.**, Grangeat, C., Du, J., „Impact of Effective Antenna Pattern on Radio Frequency Exposure Evaluation for 5G Base Station with Directional Antennas”, 2020, 33rd General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science, URSI GASS 2020, art. no. 9232371, .
8. **Bechta, K.**, Grangeat, C., Du, J., Rybakowski, M., „Analysis of 5G Base Station RF EMF Exposure Evaluation Methods in Scattering Environment”, nie opublikowana do czasu opracowania tej recenzji
9. **Bechta, K.**, „Centralized spectrum sharing and coordination between terrestrial and aerial base stations of 3GPP-based 5G networks”, 2021, International Journal of Electronics and Telecommunications, 67 (2), pp. 301-308.
10. **Bechta, K.**, Du, J., Rybakowski, M., „Impact of Effective Antenna Pattern on Estimation of Interference in Citizens Broadband Radio Service”, 2021, 30th European Conference on Networks and Communications, Porto, Portugal.
11. **Bechta, K.**, Ziolkowski, C., Kelner, J.M., Nowosielski, L., „Downlink interference in multi-beam 5G macro-cell”, 2020, 23rd International Microwave and Radar Conference, MIKON 2020, art. no. 9253919, pp. 140-143.
12. **Bechta, K.**, Ziółkowski, C., Kelner, J.M., Nowosielski, L., „Modeling of downlink interference in massive mimo 5G macro-cell”, 2021, Sensors, 21 (2), art. no. 597, pp. 1-17
13. **Bechta, K.**, Kelner, J.M., Ziółkowski, C., Nowosielski, L., „Inter-beam co-channel downlink and uplink interference for 5G new radio in mm-wave bands”, 2021, Sensors, 21 (3), art. no. 793, pp. 1-20
14. Kim, S., Visotsky, E., Moorut, P., **Bechta, K.**, Ghosh, A., Dietrich, C., „Coexistence of 5G with the incumbents in the 28 and 70 GHz bands”, 2017, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 35 (6), art. no. 7896555, pp. 1254-1268.

Z spośród powyższego cyklu, 13 pozycji zostało opublikowanych, w tym 5 w czasopiśmie posiadających Impact Factor, 7 w materiałach międzynarodowych konferencji naukowych, 1 w ogólnodostępnym repozytorium cyfrowym (<https://arxiv.org/>). Cykl zawiera 13 publikacji współautorskich i jedną autorską publikację Doktoranta. W przypadku publikacji współautorskich, Doktorant jest pierwszym autorem 11 z nich. Praca doktorska w rozdziale 2 zawiera opis wkładu Doktoranta w powstanie każdej z publikacji, z którego wynika, że był on głównym autorem koncepcji każdego artykułu oraz głównym autorem prac. Omawiany cykl publikacji, w świetle deklaracji Doktoranta oraz przesłanych dodatkowo oświadczeń współautorów stanowi wyodrębnioną, spójną tematycznie część pracy zbiorowej.

Publikacje stanowiące zasadniczą część rozprawy zostały poprzedzone autoreferatem („Overview of the dissertation”) stanowiącym 3 rozdział dysertacji. Doktorant omówił w nim zakres pracy, sformułował tezę oraz przedstawił osiągnięcia zawarte w poszczególnych artykułach.

Celem badawczym sformułowanym przez Doktoranta w streszczeniu pracy, jest ocena poprawności estymacji bilansu energetycznego łącza radiowego w systemach 5G

z uwzględnieniem charakterystyk kierunkowych anten oraz kąowego rozpraszania mocy w kanale radiowym. W kolejnych rozdziałach autoreferatu (3.1 i 3.2), Autor bardzo zwięźle naszkicował kontekst prowadzonych badań w odniesieniu do ewolucji systemów bezprzewodowych oraz uzasadnił wybór podjętego problemu badawczego. W podrozdziale 3.3 autoreferatu postawiona została teza pracy, brzmiąca w oryginale: „Mapping the impact of angular spread phenomenon on the beamformed antenna patterns significantly improves the accuracy of radio link budget estimation and the efficiency of 5G NPO process”. Można ją przetłumaczyć w następujący sposób: „Mapowanie wpływu zjawiska rozproszenia kąowego na charakterystyki promieniowania anten z kształtowaną wiązką znacząco poprawia dokładność szacowania budżetu łącza radiowego oraz wydajność procesu planowania i optymalizacji sieci 5G”. Tak szeroko postawiona teza dowodzona jest w kilku wązszych obszarach badawczych, które streszczono w kolejnych podrozdziałach pracy.

Podrozdział 3.3.1 streszcza wyniki badań opublikowanych w artykułach 1-6, które dotyczyły modelowania bilansu energetycznego łącza radiowego w systemach 5G z uwzględnieniem skutecznej charakterystyki antenowej. Doktorant przedstawił tu również przykładowe wyniki badań, ilustrujące wpływ uwzględnienia efektu kąowego rozpraszania energii na symulowane parametry systemu bezprzewodowego.

Kolejny podrozdział 3.3.2 zawiera zwięzły opis prac dotyczących optymalizacji charakterystyk promieniowania anten z uwzględnieniem efektu kąowego rozpraszania energii w systemie bezprzewodowym. Omówiono tu również opracowaną przez Doktoranta metodę umożliwiającą oszacowanie kąowego rozpraszania mocy w rzeczywistym systemie bezprzewodowym. Wyniki tych badań opublikowane zostały w artykułach 4-6. Przedstawiono tu oprócz wyników symulacji również wyniki pomiarów przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych.

W podrozdziale 3.3.3 Doktorant podsumował badania opublikowane w artykułach 7 i 8, które dotyczyły symulacji poziomów pól elektromagnetycznych generowanych przez systemy bezprzewodowe z wykorzystaniem koncepcji skutecznej charakterystyki anten. Doktorant przedstawił tu zaproponowany przez siebie sposób wyznaczania współczynnika umożliwiającego oszacowanie poziomu ekspozycji („extrapolation factor”) z uwzględnieniem charakterystyk nominalnych anten oraz efektu rozpraszania kąowego mocy.

Podrozdział 3.3.4 poświęcony jest omówieniu badań stanowiących treść publikacji 9 i 10, które dotyczą zastosowania koncepcji skutecznej charakterystyki anten do analizy systemów ze współdzieleniem kanałów. W tej części zbadany został wpływ sposobu modelowania charakterystyk promieniowania anten na efektywność mechanizmu alokacji zasobów widmowych systemu.

W podrozdziale 3.3.5 zawarto podsumowanie publikacji 11 – 14. Dotyczyły one porównania różnych metod obliczania budżetu łącza z uwzględnieniem wpływu środowiska na kąowe rozproszenie mocy. Doktorant omówił tutaj różnice pomiędzy przedstawionym wcześniej sposobem modelowania wykorzystującym skuteczną charakterystykę anteny oraz wieloeliptycznym modelem propagacji wskazując na jego wydajność obliczeniową.

W podsumowaniu autoreferatu (rozdział 3.4) Doktorant wymienił główne osiągnięcia swojej pracy, do których zaliczył m.in. wprowadzenie koncepcji skutecznej charakterystyki anteny oraz sposobu jej określania, jak również poprawę dokładności symulacji budżetu energetycznego łącza. Kolejnymi osiągnięciami wymienionymi w tej części pracy są opracowanie metody optymalizacji szyków antenowych oraz współczynnika oszacowania ekspozycji na promieniowanie

EM, jak również wnioski z prac dotyczące poprawy alokacji zasobów oraz metod modelowania kanału.

W kolejnych częściach rozprawy zawarto wykaz ilustracji, listę skrótów oraz teksty publikacji naukowych stanowiących dysertację.

Ocena merytoryczna

Przedstawiona do oceny praca doktorska dotyczy zagadnień związanych z projektowaniem bezprzewodowych systemów telekomunikacyjnych piątej generacji. Jej cel badawczy obejmuje ocenę poprawności estymacji bilansu energetycznego łącza bezprzewodowego w systemach piątej generacji (5G) z uwzględnieniem zjawisk zachodzących w kanale radiowym. Dokonanie takiej estymacji jest konieczne zarówno podczas projektowania, jak i optymalizacji systemów bezprzewodowych i stanowi bardzo istotne zagadnienie o dużym znaczeniu praktycznym. Podjęta problematyka badawcza jest zatem istotna i aktualna. Systemy łączności bezprzewodowej piątej generacji są obecnie intensywnie rozwijane i doskonalenie metodyki ich projektowania ma duże znaczenie praktyczne dla operatorów sieci.

Rozprawa doktorska mgr inż. Kamila Bechty, stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego jakim jest poprawa dokładności estymacji bilansu energetycznego łącza systemów piątej generacji poprzez łączne modelowanie charakterystyki promieniowania anteny oraz zjawiska kąтового rozproszenia mocy w kanale. Doktorant zastosował w tym celu skuteczną charakterystykę promieniowania anteny jako łączny opis właściwości elementu promieniującego oraz właściwości środowiska propagacyjnego, w którym analizowany jest system. Mimo iż koncepcja skutecznej charakterystyki promieniowania anteny nie jest koncepcją oryginalną Autora, to w ramach badań przedstawionych w rozprawie Autor gruntownie zweryfikował jej przydatność do projektowania i analizy systemów piątej generacji pracujących w paśmie mikrofalowym. Do jego oryginalnych osiągnięć można zaliczyć:

- opracowanie metody oszacowania skutecznej charakterystyki anten systemów 5G
- opracowanie metody poprawy charakterystyki promieniowania anteny z uwzględnieniem efektu rozpraszania kąтового w kanale transmisyjnym
- opracowanie algorytmu alokacji kanałów w systemie 5G uwzględniającego skuteczną charakterystykę promieniowania anteny
- opracowanie sposobu wyznaczania współczynnika umożliwiającego oszacowanie poziomu ekspozycji na promieniowanie elektromagnetyczne pochodzące od nadajnika z uwzględnieniem charakterystyk nominalnych anten oraz efektu rozpraszania kąтового mocy
- analizę porównawczą różnych metod obliczania budżetu łącza z uwzględnieniem wpływu środowiska na kątowne rozproszenie mocy.

W ramach prowadzonych prac badawczych Doktorant konsekwentnie stosował skuteczną charakterystykę promieniowania anteny uzyskując zarówno poprawę dokładności modelowania bilansu energetycznego łącza, jak i oszacowania poziomów ekspozycji na promieniowanie elektromagnetyczne pochodzące od systemów 5G. Opracował również sposób określania kąowego rozpraszania mocy dzięki czemu możliwe jest wyznaczanie skutecznej charakterystyki anteny w rzeczywistym systemie. Przedstawiona praca jest spójna i mieści się w dziedzinie nauk inżynierjno-technicznych, dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.

Prowadząc swoje prace Doktorant wykazał się umiejętnością prowadzenia badań naukowych z wykorzystaniem metod właściwych dla przyjętego obszaru badawczego. W szczególności Doktorant wykazał się umiejętnością przeprowadzania symulacji komputerowych parametrów systemu bezprzewodowego z zastosowaniem złożonych, statystycznych modeli kanału transmisyjnego. Doktorant dokonał również weryfikacji eksperymentalnej prac teoretycznych stosując technikę pomiarową do identyfikacji parametrów systemu bezprzewodowego pracującego w warunkach laboratoryjnych.

Prace naukowe doktoranta przedstawione w ocenianej rozprawie są przedmiotem międzynarodowych zgłoszeń patentowych. Świadczy to o ich dojrzałości i potencjale wdrożeniowym.

Uwagi krytyczne

Zgodnie z artykułem Art. 187. 1. Ustawy prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z 2018r, rozprawa doktorska powinna prezentować ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej. Przedstawiona rozprawa doktorska zawiera wyniki samodzielnej pracy naukowej Doktoranta jednak w bardzo wąskim zakresie przedstawia ogólną wiedzę teoretyczną kandydata. Została ona ukazana jedynie w zakresie wąsko rozumianego zespołu pojęć, stanowiących zasadniczy obszar badań Doktoranta, pomijając nieco szerszy kontekst problemu badawczego. Pewnym ograniczeniem pracy jest brak przedstawienia własnych badań dotyczących modelowania kanału radiowego w odniesieniu do innych metod statystycznych i deterministycznych. Stanowiące zasadniczą część pracy artykuły naukowe nie mogły spełnić tej funkcji i zdaniem recenzenta rozprawa zyskałaby znacznie na wartości gdyby Doktorant rozszerzył ją o część poświęconą przeglądowi metod modelowania stosowanych do projektowania i optymalizacji rozważanej klasy systemów łączności bezprzewodowej.

W podsumowaniu autoreferatu, na stronie 41 pracy Autor wymienia swoje osiągnięcia naukowe stanowiące wkład w stan wiedzy. Może z niego wynikać, że Doktorant przypisuje sobie autorstwo skutecznej charakterystyki anteny, cyt. „Concept of effective antenna pattern was introduced and the method for effective gain estimation was presented, together with the proposal for improvement of accuracy in simplified radio link budget calculations” co tłumaczę jako: „Zaproponowano koncepcję efektywnej charakterystyki promieniowania anteny i przedstawiono metodę szacowania efektywnego zysku anteny wraz z propozycją poprawy dokładności w uproszczonych obliczeniach budżetu łącza radiowego”. Moim zdaniem Autor wykorzystał koncepcję skutecznej charakterystyki anteny do analizy i projektowania systemów bezprzewodowych piątej generacji, która już wcześniej została opracowana przez innych badaczy na potrzeby analizy systemów czwartej generacji. W pracy zabrakło odniesienia do prac naukowych, w których inni autorzy stosowali wcześniej koncepcję skutecznej charakterystyki anteny do analizy systemów bezprzewodowych, a w szczególności do pracy [Dimitra Zouboti, George Tsoulos, Georgia Athanasiadou, Constantinos Valagiannopoulos, "The Effective Radiation Pattern Concept for Realistic Performance Estimation of LTE Wireless Systems", *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2013, Article ID 746831, 8 pages, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/746831>]. Co prawda Doktorant w swoim artykule [2] stwierdza cyt. „The need for effective antenna pattern inclusion in system level simulations of mobile networks have been already indicated in [4] ...” jednak praca doktorska zyskała by gdyby Doktorant poświęcił w niej więcej miejsca na odniesienie się do wcześniejszych prac prowadzonych w tym obszarze.

Kolejnym osiągnięciem, które wymienia Doktorant w podsumowaniu autoreferatu jest wynalezienie optymalnej geometrii szyku antenowego (cyt. „Invention of optimal antenna array geometry was made to increase the effective gain of antenna array under given angular spread conditions...”). Zdaniem recenzenta jest to twierdzenie, z którego wynika osiągnięcie optimum globalnego, co nie zostało w pracy dowiedzione. Zaproponowana metoda optymalizacji szyku antenowego opracowana została przy założeniu daleko idących uproszczeń dotyczących konstrukcji anteny i właściwości elementów promieniujących, z pominięciem choćby efektu sprzężeń pomiędzy promiennikami. Ponadto zaproponowane podejście sprowadza się do jednokryterialnej optymalizacji anteny jedynie pod kątem jej charakterystyki promieniowania. Z tego względu nie sposób spodziewać się po takiej procedurze możliwości zidentyfikowania globalnie optymalnej konfiguracji rzeczywistej anteny wieloelementowej, której właściwości ograniczone są choćby układem zasilającym. Również w tym przypadku Doktorant nie przedstawił swojej pracy w odniesieniu do stanu wiedzy z zakresu optymalizacji szyków antenowych.

Doktorant powołuje się w tekście pracy na złożone wnioski patentowe, których jest współautorem i które są związane bezpośrednio z pracą doktorską. Celowe byłoby zamieszczenie ich treści w pracy wraz z oświadczeniami współautorów.

Podsumowanie

Podsumowując recenzję stwierdzam, że rozprawa doktorska p.t. „Modeling of directional radio links and the accuracy of 5G link budget estimation”, której autorem jest mgr. inż. Kamil Bechta spełnia wymogi dotyczące rozpraw doktorskich określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

Wnioskuje do Wysockiej Rady Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego o dopuszczenie mgr. inż. Kamila Bechta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Łódź, 17 lipca 2021r.


Łukasz Januszkiewicz