

Streszczenie

Technologia *Massive MIMO* jest kluczową technologią standardu 5G i przyszłych generacji standardów telekomunikacji bezprzewodowej. Stacje bazowe wyposażone w systemy wieloantenowe, zdolne do multipleksacji przestrzennej i kształtowania wiązki, znacznie zwiększają przepustowość i zasięg. Systemy te ułatwiają również wprowadzenie wyższych pasm częstotliwości w komunikacji komórkowej, umożliwiając budowę dużych układów antenowych, które kompensują zwiększone straty propagacyjne.

Jednak korzystanie z dużych systemów wieloantenowych stwarza wyzwania w zakresie oceny, kontroli i pomiaru ekspozycji na pola elektromagnetyczne. Wysoki zysk tych anten może prowadzić do zbyt konserwatywnych ocen zgodności opartych na maksymalnej mocy promieniowania, co skutkuje znacznie zawyżonymi odległościami. Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna (*International Electrotechnical Commission*) opracowała nową metodę ewaluacji zawartą w standardzie IEC 62232 dla systemów wieloantenowych. Podejście to uwzględnia dynamiczny charakter kształtowania wiązki, prowadząc do znacznie niższych bezpiecznych odległości od stacji bazowych.

Dokładna ocena systemów *Massive MIMO* pod względem ekspozycji na pola elektromagnetyczne i zastosowanie nowej metody ewaluacji wymaga kompleksowych badań uwzględniających różne czynniki wpływające na dokładność oceny. Niniejsza rozprawa doktorska ma na celu ocenę ekspozycji na pola elektromagnetyczne generowane przez systemy wieloantenowe w rzeczywistych warunkach. Nowe modele i badania, oparte na bardziej realistycznych założeniach, zostały opracowane i zweryfikowane w praktycznych warunkach pracy systemu. Badania te obejmują różne rozkłady parametrów, w tym rozkład terminali, rzeczywiste scenariusze propagacji częstotliwości radiowych i różne techniki kształtowania wiązki.

Badania te wnoszą kilka nowych rozwiązań:

- **Model ruchomego terminala:** Niniejsza rozprawa doktorska wprowadza model ruchomych terminali, pierwszy w tej dziedzinie, w celu dokładnej oceny narażenia na pola elektromagnetyczne w dynamicznych środowiskach.
- **Wpływ algorytmu kształtowania wiązki:** Szczegółowo zbadano wpływ różnych algorytmów kształtowania wiązki na rzeczywistą ekspozycję na pola elektromagnetyczne.
- **Ocena parametrów działania *Extreme Massive MIMO*:** Macierze *Extreme Massive MIMO* są oceniane w kontekście nowych pasm częstotliwości i powstającego standardu 6G.
- **Nowe metody kontroli natężenia i charakteru promieniowania RF:** Opracowano nowe metody kontroli promieniowania RF, zaprojektowane specjalnie do implementacji w stacjach bazowych *Massive MIMO*. Metody te wykorzystują nowe algorytmy kształtowania wiązki, oferując alternatywę dla istniejących metod kontroli mocy nadawania.

Wyniki moich badań przedstawianych w tej rozprawie, zostały opublikowane w recenzowanych czasopiśmie i materiałach konferencyjnych. Poinadto wyniki badań zostały wymienione w raporcie technicznym IEC 62269, zawierającym wytyczne dla operatorów systemów *Massive MIMO* wykorzystujących nową metodę ewaluacji. Przeprowadzone zostaną studia wykonalności w celu oceny praktycznego wdrożenia nowych algorytmów kształtowania wiązki w stacjach bazowych.

Marcin Rybakowski