

Prof. dr hab. inż. Konrad Wojciechowski
Akademia Śląska

wpłynęło dnia 17.04.2026
nr zał.
Gliwice 07.01.2026

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Przemysława FLAK

**System radioelektronicznej detekcji i przeciwdziałania bezzałogowym statkom
powietrznym**

Przegląd rozprawy i uwagi ogólne.

Recenzowana rozprawa liczy 186 stron, napisana jest w języku polskim składa się ze streszczeń w języku polskim i angielskim, spisu treści poprzedzonego listą skrótów wraz z ich rozwinięciami, ośmiu rozdziałów, spisów rysunków i tabel oraz bibliografii.

W ujęciu Doktoranta: *W rozdziale pierwszym omówiono rys historyczny obejmujący rozwój technologii dronowych/BSP i genezę podjęcia tematu, wraz z nakreśleniem niebezpieczeństwa wynikającego z postępu w tej dziedzinie. Określono także główne cele pracy oraz sposób podejścia do rozwiązania zaznaczonych problemów.*

W rzeczywistości rozdział ten zawiera dwa elementy istotne dla oceny rozprawy.

Pierwszym jest podpunkt **1.3 Cel, tezy i zakres rozprawy** w którym Doktorant sformułował następujące **tezy**: *1. Możliwa jest realizacja układu detekcji oraz zakłócania operacji bezzałogowych statków powietrznych na podstawie informacji z modułu radia definiowanego programowo.*

2. Możliwa jest realizacja systemu detekcji oraz zakłócania komercyjnych dronów, bazującego na gotowych układach elektronicznych i modyfikacji oryginalnego oprogramowania.

3. Zastosowanie architektury sprzętowo-programowej i zwiększenie udziału macierzy programowalnych bramek logicznych w przetwarzaniu sygnałów, w porównaniu do klasycznej koncepcji radia programowalnego, pozwoli na optymalizację procesu detekcji oraz zakłócania.

4. Optymalizacja procesu detekcji, pod względem minimalizacji czasu przetwarzania, może zostać zrealizowana dzięki analizie tylko fragmentów ramek radiowych.

5. System rozproszonej detekcji będzie miał przewagę w terenie zabudowanym nad systemem z detektorem centralnym oraz pozwoli na stworzenie skalowalnej sieci automatycznego nadzoru. Wadą tak sformułowanych tez w szczególności widoczną w tezach 1 i 2 jest ich „bliskość” do tautologii. Dla uwypuklenia odniosę się do reguł dotyczących kamieni milowych

w projektach NCBIIR. W 3M musi być wskazany mechanizm weryfikacji czy kamień został zrealizowany. Takiego mechanizmu nie widać w tezach Doktoranta, termin możliwa/możliwy nie reprezentuje takiego mechanizmu, zawsze coś jest możliwe.

Drugim elementem jest podpunkt **1.4 Dorobek naukowy** Doktoranta z trzema dobrymi, recenzowanymi, publikacjami w tym dwiema samodzielnymi. W mojej ocenie publikacje te mogły być podstawą do tzw. doktoratu z publikacji a w recenzji będą podstawą wniosku o wyróżnienie doktoratu. Oprócz wymienionych wartościowych elementów rozdział zawiera ciekawostki z historii i nazewnictwa dronów co może być elementem ubarwiającym rozprawę.

Rozdział drugi upodabnia rozprawę do monografii, rozumie, że Doktorant chciał nakreślić szersze tło, żeby na nim umieścić swoje wyniki jednak takie podejście nie odpowiada modelowi rozprawy doktorskiej.

Rozdział trzeci zawiera zagadnienia bazowe dla rozprawy w tym analizę częstotliwościową elementy klasyfikacji i uczenia maszynowego. Pomimo, że wymienione zagadnienia są podstawą dla metod rozprawy to ich powszechna dostępność i znajomość zwalniała Doktoranta od obowiązku umieszczania tych zagadnień w rozprawie.

Rozdział czwarty zawiera wartościowy, bardzo szeroki i jednocześnie szczegółowy przegląd literatury w obszarze wykrywania i zwalczania BSP na podstawie ich aktywności radiowej. Rozumie, że intencją Doktoranta było dostarczenie już bardziej szczegółowych niż w rozdziale 2 wiadomości pozwalających na ocenę uzyskanych w rozprawie wyników pod względem metodologii badawczej i nowatorstwa. Ocena metodologii badawczej jest możliwa, natomiast ocena nowatorstwa przy obserwowanej obecnie lawinie prac naukowych nie. W tym zakresie opieram się na fakcie opublikowania wyników w serii trzech publikacji w serii IEEE. Sądzę, że podpunkty tego rozdziału zawierające analizę literatury zarówno w dziedzinie detekcji, jak i neutralizacji komercyjnych BSP powinny być przeniesione do oddzielnego opracowania, np. monografii.

Istotnym dla wysokiej pozytywnej oceny wyników rozprawy jest rozdział piąty w który opisano koncepcję radia definiowanego programowo, przedstawiono najpopularniejsze modele

dostępne na rynku, oraz szczegółowo opisano układ wybrany do badań. W aspekcie toru odbiorczego Doktorant zaproponował przeniesienie obliczeń online transformacji czasowo-częstotliwościowej do części sprzętowej z wykorzystaniem FPGA, co stworzyło techniczne podstawy rozprawy. Dodatkowo, dla obu kierunków przepływu sygnału, (nadawanie i odbiór) wprowadzono ulepszenia w oprogramowaniu dotyczące przyspieszenia przestrajania częstotliwości środkowej. Prezentowany prototyp, wraz z wprowadzonymi modyfikacjami, został poddany wstępnym badaniom zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i warunkach zbliżonych do rzeczywistych.

W rozdziale szóstym Doktorant przedstawiła propozycje dwuetapowej analizy widma, zorientowanej na optymalizację procesu przetwarzania sygnałów w zależności od miejsca wykonywania obliczeń (na stacji naziemnej/pokładzie BSP). W zadaniu klasyfikacji zastosowano dwie różne metody uczenia maszynowego. Alternatywnie, przeprowadzono eksperymenty, w których zadanie detekcji i klasyfikacji realizowane jest w jednym kroku przy pomocy głębokich sieci neuronowych. Ciekawym elementem jest wykorzystanie algorytmów wizji komputerowej w procesie klasyfikacji widma sygnałów. Alternatywnym podejściem byłoby zastosowanie falkowej reprezentacji sygnału w miejsce fourierowskiej. Jeszcze ciekawszym byłoby opracowanie metody rozumienia transmisji (rozpoznanie protokołu, rozpakowanie ramki) zamiast analizy widma mocy i na tej podstawie przejęcie kontroli nad BSP lub skierowanie go do wybranej lokalizacji przez podmianę danych lokalizacji.

Rozdział siódmy dotyczy przeciwdziałania BSP przez zakłócanie sygnałów nawigacji satelitarnej i alternatywnie/równocześnie sygnałów sterowania. Dodatkowo dla obu kategorii transmisji przeprowadzono analizę potencjalnego wpływu zakłócania na odbiorniki, oraz zaprezentowano eksperymenty mające na celu potwierdzenie przydatności proponowanego prototypu.

W rozdziale ósmym Doktorant podsumował najważniejsze wyniki i wnioski z zrealizowanych prac, ocenił stopień realizacji przyjętych celów oraz wytyczył kierunki dalszych badań.

Problem naukowy badany w rozprawie i jasność jego sformułowania.

Problem naukowy badany przez Doktoranta można łatwo sformułować na poziomie ogólnym jako wykrywanie i przeciwdziałanie/neutralizacja BSP w na podstawie/(przez wykorzystanie) ich aktywności radiowej. Niestety w bardziej szczegółowym ujęciu problem rozpada się na szereg podproblemów co wynika z różnorodności typów aktywności radiowej. Zestaw tych podproblemów został formalnie i poprawnie opisany przez tezy oraz cele rozprawy zamieszczone w punkcie 1.3 *Cel, tezy i zakres rozprawy*. Uwagi odnośnie sformułowanych tez zamieściłem w przeglądzie zawartości pracy. W mojej opinii wyraźniej problem naukowy charakteryzują punkty określające zakres rozprawy. Z wszystkich zamieszczonych w rozprawie wybrałem następujące które w mojej ocenie najtrafniej określają problemy naukowe rozprawy: i) implementacja funkcjonalności programowych rozszerzających możliwości komercyjnego radia programowalnego, ii) przebadanie prototypu elementu sensora i efektora optymalizowanego dla proponowanej koncepcji, iii) baza danych sygnatur radiowych na potrzeby trenowania i ewaluacji modeli uczenia maszynowego, iv) opracowanie i przebadanie metod detekcji, v) zakłócanie sygnałów nawigacji satelitarnej i alternatywnie/równocześnie sygnałów sterowania.

Ocena wiedzy w zakresie obszaru rozprawy.

Doktorant wykazała się bardzo szeroką i jednocześnie bardzo szczegółową wiedzą. O szerokości wiedzy stanowią przeglądy literatury, ogólny i szczegółowy ograniczony do aktywności radiowej BSP z odnośnikami wraz z charakterystyką ich treści. O szczegółowości badań świadczy obszar radia programowanego i technologii FPGA w której Doktorant zrealizował sprzętowo wybrane algorytmy przetwarzania sygnału.

Ocena przedstawionego rozwiązania problemu oraz metodologii prowadzenia badań.

Przedstawione rozwiązanie problemu rozpoznawania typu/rodzaju BSP na podstawie sygnatury radiowej określanej na bieżąco na podstawie wyznaczanego sprzętowo spektrogramu jest oryginalne o czym świadczy publikacja *Hardware-Accelerated Real-Time Spectrum Analyzer With a Broadband Fast Sweep Feature Based on the Cost-Effective SDR Platform*

Ocena oryginalności rozprawy, w tym samodzielnego i oryginalnego dorobku.

Rozprawa jest samodzielna i oryginalna zarówno w zakresie szerokiego przedstawienia problemu wykrywania i przeciwdziałania/neutralizacji BSP w aspekcie ich aktywności radiowej jak i zrealizowanego rozwiązania szczególnego opartego na rozpoznawaniu sygnatury aktywności radiowej z wykorzystaniem metod uczenia maszynowego.

Ocena umiejętności poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych wyników.

Redakcja rozprawy świadczy o umiejętności poprawnego przedstawiania uzyskanych wyników może posuniętej zbyt daleko w intencji szerokiego przedstawienia tła dla wyników. Niezależnie bardziej formalnie umiejętność ta została potwierdzona publikacjami w dobrym recenzowanym czasopiśmie.

Słabe strony rozprawy i uwagi dyskusyjne.

Rozprawa napisana jest bardzo starannie, nie zauważyłem istotnych błędów. Można dyskutować spolszczenia nazwy UAV do BSP. Problem w tym, że jeśli osoba zainteresowana uzyskaniem dodatkowych wiadomości wpisze do przeglądarki BSP to niczego nie znajdzie. Już wcześniej adresowaną uwagą dyskusyjną jest moim zdaniem niepotrzebne rozszerzenie rozprawy do postaci monografii.

Przydatność rozprawy.

Wysoką przydatność rozprawy oceniam pośrednio przez fakt, że Doktorant przedstawiał swoje wyniki w gremiach wojskowych w szczególności w referacie „Wykorzystanie nowoczesnych technologii we flocie Bezzałogowych Systemów Powietrznych produkcji WB Group” biorąc pod uwagę aktualną pozycję WB na rynku dronów bojowych.

Wnioski końcowe.

Stwierdzam, że przedstawiony w rozprawie problem badawczy ograniczony do identyfikacji i klasyfikacji źródeł promieniowania elektromagnetycznego występującego w transmisji radiowej pomiędzy dronami/stacją naziemną z wykorzystaniem sprzętowej realizacji, jak również zakłócania ich działania, został rozwiązany. Doktorant wykazał się opanowaniem warsztatu naukowego zarówno w zakresie bardzo dobrej znajomości stanu aktualnego jaki i

dobrej metodologii prowadzenia badań naukowych. Rozprawa stanowi istotny wkład Doktoranta w rozwój BSP w aspekcie komunikacji radiowej jako podstawy do rozpoznawania i przeciwdziałania takim obiektom. Recenzowaną rozprawę oceniam jako spełniającą wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Wniosuję o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

Na podstawie własnej oceny wzmocnionej faktem opublikowania 3 prac w znaczącym czasopiśmie serii IEEE wniosuję o wyróżnienie rozprawy.