

dr hab. inż. Mariusz Giergiel, prof. AGH  
Akademia Górniczo - Hutnicza  
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki  
Katedra Robotyki i Mechatroniki  
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Kraków, 21.03.2022

## **R e c e n z j a**

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza Rykały  
pt. „**Kształtowanie systemu lokalizacji przewodnika w aspekcie wyznaczana trasy przejazdu platformy bezzałogowej**”

**dyscyplina naukowa:** inżynieria mechaniczna

### **1. Podstawa opracowania**

Podstawą opracowania recenzji było pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Wojskowej Akademii Technicznej, pana prof. dr. hab. inż. Jerzego Małachowskiego z dnia 24.01.2022 informujące o powołaniu na recenzenta uchwałą Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Wojskowej Akademii Technicznej. Do pisma dołączono wydrukowany egzemplarz rozprawy mgr inż. Łukasza Rykały pt. „Kształtowanie systemu lokalizacji przewodnika w aspekcie wyznaczania trasy przejazdu platformy bezzałogowej”. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Andrzej Typiak, prof. WAT, a promotorem pomocniczym dr inż. Rafał Typiak.

### **2. Wybór tematu, cel i zakres pracy**

Bezzałogowe platformy lądowe zdolne do funkcjonowania bez zapewnienia obecności operatora w ich bliskim otoczeniu mają coraz większe znaczenie zarówno przy realizacji misji niebezpiecznych dla ludzi jak i w realizacji powtarzanych cyklicznie czynności w różnych środowiskach. Nawigacja i sterowanie platformami bezzałogowymi wiążą się

z rozwiązywaniem złożonych problemów obejmujących określanie bieżącego położenia i orientacji oraz wyznaczania trajektorii ruchu i następnie jej realizacji. Ważną ze względu na możliwości ich praktycznego wykorzystania grupą platform lądowych są platformy podążające, to znaczy posiadające funkcjonalność podążania za przewodnikiem, którym może być zarówno operator jak i inny pojazd lub platforma autonomiczna. Istotną zaletą takiego rozwiązania jest fakt, iż operator nie musi sterować platformą ręcznie, lecz podąża ona za przewodnikiem wykorzystując informacje pochodzące z pokładowych systemów sensorycznych. Dużym, nie mającym całościowego rozwiązania problemem jest zapewnienie możliwości pracy zarówno wewnątrz pomieszczeń jak i w terenie otwartym, w tym także terenie trudnym. Technologia Ultra Wideband jest powszechnie stosowaną technologią służącą do bezprzewodowej lokalizacji obiektów z uwagi na możliwość pokrycia względnie dużego obszaru i jest stosowana w magazynach, halach lub ogółem wewnątrz pomieszczeń. Moduły UWB pełniące rolę odbiorników rozstawia się wówczas najczęściej w rogach pomieszczenia, tak aby moduł UWB pełniący rolę nadajnika poruszał się pomiędzy nimi. Omawiane rozwiązanie dobrze sprawdza się w takich warunkach, czego dowód stanowią przedsiębiorstwa wykorzystujące wspomnianą technologię (na przykład system magazynowe Amazon, COMARCH itd.) jednak wymaga to, aby odbiorniki były stacjonarne. Pan Łukasz Rykała w celu zastosowania technologii UWB w podążających BPL dokonał odwrotnej konfiguracji modułów, tzn. odbiorniki rozlokowane są na poruszającym się BPL, a ich montaż jest ograniczony przez geometrię platformy. Takie podejście wymagało przeprowadzenia szeregu badań eksperymentalnych, ponieważ należało zbadać, jak takie bliskie rozmieszczenie modułów wpłynie na pracę układu, czy wystąpią, np. niepożądane interferencje, co zostało dokonane w ramach pracy. Należy zaznaczyć, że aczkolwiek takie podejście co do zasady nie jest nowe i przykłady zastosowania technologii UWB w odwrotnej konfiguracji można znaleźć w co najmniej kilku artykułach naukowych, to jednak brak jest w znanych publikacjach danych o przeprowadzeniu eksperymentalnych badań odnośnie konfiguracji modułów oraz dopasowanych do tego algorytmów lokalizacji i właśnie tą lukę wypełnia niniejsza praca. Dlatego uważam, że podjęty problem jest istotny i wysoce aktualny, a podjęcie tej tematyki przez doktoranta jest uzasadnione i na czasie.

Jako **cel pracy** postawiono opracowanie systemu lokalizacji przewodnika, w tym w szczególności wyznaczania położenia przewodnika oraz ciągłej obserwacji otoczenia z wykorzystaniem kilku różnych technologii, które w połączeniu z opracowanymi algorytmami pozwolą na generowanie trasy przejazdu.

Należy przy tym zaznaczyć, że praca wybiega poza realizację postawionego celu naukowego. Oprócz rozległych badań dotyczących rozmieszczenia modułów na BPL, badań symulacyjnych i eksperymentalnych podsystemu lokalizacji przewodnika, Doktorant podjął również próbę wyznaczenia trasy poruszającego się przewodnika. Ponadto realizacja podsystemu lokalizacji przewodnika wymagała przeprowadzenia szeregu badań eksperymentalnych dotyczących np. filtracji sygnałów, algorytmów konwersji danych geograficznych, zastosowanych metod synchronizacji równoległych pomiarów w dwóch oddalonych od siebie urządzeniach, które to kwestie, aczkolwiek ważne, zostały jednak ograniczone do niewielkich wzmianek w tekście, zapewne aby nie przystaniały one pierwszoplanowych dokonań.

Recenzowana praca doktorska jest dość obszerna i liczy 158 stron. Składa się z dziesięciu ponumerowanych rozdziałów oraz wykazu ważniejszych oznaczeń i bibliografii.

Rozdział pierwszy stanowi wprowadzenie, w którym zaprezentowano zasadnicze zagadnienia stanowiące tło dla późniejszych rozważań. W rozdziale drugim przedstawiono analizę aktualnego stanu wiedzy oraz przegląd technologii i znanych zbliżonych rozwiązań.

Rozdział trzeci zawiera uzasadnienie celowości podjętego w rozprawie problemu badawczego oraz sformułowanie celu pracy. W rozdziale czwartym przedstawiono badania identyfikacyjne podsystemu lokalizacji, opracowaną metodykę badawczą oraz wyniki tych badań. Rozdział piąty przedstawia wstępne badania podsystemu lokalizacji, w tym wyniki badań symulacyjnych oraz badań eksperymentalnych. W rozdziale szóstym zaprezentowano rozważania związane z konfiguracją podsystemu lokalizacji, w tym także globalną analizę wrażliwości. Rozdział siódmy prezentuje kompleksowe badania symulacyjne podsystemu lokalizacji, w tym podstawowe zależności geometryczne i wykorzystane algorytmy lokalizacji przewodnika obejmujące metodę geometryczną, trilaterację oraz metody nieliniowe. W rozdziale ósmym przedstawiono natomiast przeprowadzone badania eksperymentalne podsystemów lokalizacji wraz z omówieniem ich wyników. Rozdział dziewiąty zawiera prezentację badania podsystemu wyznaczania trasy przewodnika, w tym także wyznaczenie

parametru wygładzającego i omówienie autorskiego algorytmu badań, który wykorzystywany jest w dalszej części pracy. W rozdziale dziesiątym przedstawiono podsumowanie, wnioski końcowe oraz wskazano kierunki dalszych badań.

Bibliografia liczy 120 pozycji i warto zaznaczyć, że obejmuje głównie pozycje nowe, opublikowane w ostatnich latach. Na liczbę tę składa się 97 wydawnictw klasycznych oraz 23 odwołania do stron internetowych.

Zamieszczony na początku pracy spis ważniejszych oznaczeń niewątpliwie ułatwia studiowanie rozprawy.

Praca napisana jest kompetentnie i rzeczowo, problem jest najpierw sformułowany, następnie poddany dyskusji i wreszcie podsumowany wraz z prezentacją jasno podanych wniosków tam, gdzie to niezbędne. Nie budzi przy tym wątpliwości kolejność prezentacji poszczególnych zagadnień, zarówno tytuł jak i podział na rozdziały dobrane zostały właściwie. Tekst jest poprawny pod względem językowym, materiał ilustracyjny adekwatny, stosowana w pracy terminologia jest prawidłowa. Warto zaznaczyć wysoki potencjał aplikacyjny wynikający z uzyskanych efektów rozprawy.

**Nowatorstwa i oryginalności** pracy można upatrywać w:

- Badaniu wpływu rozmieszczenia na bezzałogowej platformie lądowej modułów wykorzystujących technologię ultra wide band na liczbę utraconych pomiarów odległości.
- Globalnej analizie wrażliwości wyników badań utraconych pomiarów odległości.
- Opracowaniu zmodyfikowanych algorytmów lokalizacji przewodnika bazujących na metodach geometrycznych, trilateracji oraz metodach optymalizacji.
- Opracowaniu podsystemu lokalizacji przewodnika bazującego na ww. algorytmach lokalizacji.
- Przeprowadzeniu badań symulacyjnych oraz eksperymentalnych podsystemu lokalizacji przewodnika.
- Opracowaniu metody weryfikacji położenia przewodnika w badaniach eksperymentalnych podsystemu lokalizacji z użyciem odbiornika GNSS

z dostępem do poprawek różnicowych.

### **3. Poprawność metodyki badań i analiza wyników**

W pracy przedstawiono wyniki zarówno badań analitycznych, symulacyjnych jak i eksperymentalnych. Udowodniono słuszność zaproponowanego podejścia oraz co ważne jego praktyczną użyteczność. Zastosowana metodyka badań jest prawidłowa, analiza wyników badań przeprowadzona została w sposób właściwy co świadczy o wysokim zasobie wiedzy, inwencji, pracowitości i rzetelności naukowej autora.

Należy szczególnie podkreślić widoczny duży nakład pracy autora przy wykonywaniu rozprawy i dobre ujęcie problematyki zawierającej badania teoretyczne, symulacyjne oraz badania doświadczalne. Takie kompleksowe rozwiązanie jest niewątpliwie dużym osiągnięciem i zasługuje na uznanie.

### **4. Uwagi krytyczne i dyskusyjne**

Uwagi jakie nasuwają się po lekturze pracy są dwójakiego rodzaju. Po pierwsze są to **uwagi ogólne i redakcyjne**:

- Pomimo, że rozprawa jest dość starannie przygotowana to zawiera jednak szereg różnorodnych usterek redakcyjnych i edytorskich, których wymienienie w tym miejscu nie wydaje się celowe, zwłaszcza że na ogół nie utrudniają one lektury i nie umniejszają merytorycznej wartości pracy.
- Na początku rozprawy umieszczono spis ważniejszych oznaczeń ale brakuje opisu wykorzystanych skrótów, a nie wszystkie zostały wyjaśnione przy pierwszym użyciu.
- Podrozdziały 4.3, 6.3 i 9.4 zatytułowano "Wyniki badań", a w istocie ich zawartość to raczej dyskusja otrzymanych wyników i taki tytuł byłby bardziej adekwatny.
- W rozdziale 10 część wypunktowanych wniosków odnosi się do przeprowadzonego przeglądu a nie do twórczej części pracy. Bardziej czytelne byłoby, gdyby rozdział ten zawierał trzy wyraźnie rozgraniczone podsekcje: podsumowanie prac, główne wnioski oraz kierunki dalszych prac badawczych.

W sensie merytorycznym natomiast pojawiają się raczej **uwagi dyskusyjne** niż krytyczne:

- Odnosnie badań identyfikacyjnych podsystemu lokalizacji przedstawionych w rozdziale czwartym, dlaczego najwięcej pomiarów przeprowadzono dla etykiety zamocowanej na kamizelce a nie na plecaku bądź nodze? Następnie Autor stwierdza, że nie wykazano wpływu konfiguracji kotwic a następnie, że są potrzebne dalsze badania w tym względzie, bo jednak konfiguracja ma wpływ. Jak zatem jest w istocie?
- W rozdziale piątym zbyt lakoniczna jest dyskusja wyników, szczególnie dotyczy to wyników uzyskanych dla etykiety ustawionej powyżej 10 m od kotwic. Tutaj pojawia się także pytanie, co jest źródłem dość dużych błędów?
- W rozdziale siódmym niewiele jest informacji dotyczącej procedury optymalizacji. Powstaje także pytanie jak można uzasadnić, że w metodzie geometrycznej wykorzystano średnią ważoną i jak są dobierane są wagi?
- Czy istnieje pewność, że zastosowany algorytm optymalizacji w istocie prowadzi do rozwiązania optymalnego, a nie zatrzymuje się w którymś z ekstremów lokalnych?

## **5. Ocena dorobku publikacyjnego**

Pan Łukasz brał czynny udział w konferencjach krajowych i międzynarodowych, na których sześciokrotnie przedstawiał wyniki swoich badań. Na dorobek publikacyjny składa się ponadto siedem artykułów opublikowanych w czasopismach o zasięgu międzynarodowym oraz dwa rozdziały w monografiach. Artykuły zostały opublikowane w znanych czasopismach, reprezentatywnych dla dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna. Stwierdzam, że dorobek Doktoranta spełnia wymagania ustawy wymagane przy składaniu rozprawy doktorskiej.

## **6. Podsumowanie**

Omawiana rozprawa zawiera wartościowe wyniki badań i świadczy ona o tym, że Autor potrafi postawić zagadnienie i rozwiązać je na drodze teoretycznej oraz zweryfikować doświadczalnie, a wyniki badań przeanalizować i wyciągnąć poprawne wnioski.

Jego wywody są jasne a wyniki rozprawy mogą być użyteczne zarówno z praktycznego, jak i naukowego, technicznego punktu widzenia.

Opiniowana rozprawa doktorska jest udaną próbą połączenia badań analitycznych oraz symulacyjnych i eksperymentalnych, cel pracy został osiągnięty czego dowodem jest dokonany wybór technologii transmisji sygnałów oraz opracowanie konfiguracji systemu lokalizacji przewodnika, dla którego przeprowadzone badania symulacyjne a następnie badania eksperymentalne potwierdziły osiągnięcie zakładanych parametrów systemu lokalizacji.

Przedstawione w pracy wyniki doboru technologii, wyniki symulacji numerycznych oraz ich weryfikacja metodami badań eksperymentalnych wykonanych na obiekcie rzeczywistym dowodzą, że postawione zadanie zostało w pełni zrealizowane. W trakcie realizacji pracy Doktorant wykazał się umiejętnością rozwiązywania problemów naukowych z zakresu sterowania bezzałogowymi platformami lądowymi, wnikliwej analizy wyników badań symulacyjnych, oraz planowania eksperymentu i jego przeprowadzenia a także, co jest bardzo istotne, zdolnością wnikliwej analizy otrzymanych wyników. Wysoko ocenić należy umiejętności Doktoranta w obszarze analizy przyczyn zaników sygnałów objawiających się liczbą utraconych pakietów i realizowanych dalszych prac prowadzących do eliminacji tego typu zjawisk powodujących przerwy w działaniu systemu lokalizacji.

Biorąc po uwagę powyższe należy uznać, że praca jest zdecydowanie ponadprzeciętna i zasługuje na wyróżnienie.

Reasumując, Pan mgr inż. Łukasz Rykała zrealizował sformułowany cel rozprawy. Wykazał się wiedzą i umiejętnością samodzielnego rozwiązywania nowych, trudnych problemów technicznych wnosząc tym samym istotny wkład w rozwój nauki i reprezentowanej dyscypliny inżynieria mechaniczna. Podsumowując stwierdzam, że przedstawiona do recenzji dysertacja doktorska pt. „Kształtowanie systemu lokalizacji przewodnika w aspekcie wyznaczania trasy przejazdu platformy bezzałogowej” spełnia wymagania ustawowe, określone w ustawie z dnia 3 lipca 2018 r. – Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce, (Dz. U. 30.08.2018 r. poz. 1669 z późn. zm.) oraz wnioskuje o jej przyjęcie, a także dopuszczenie do publicznej obrony.

