

mgr inż. Łukasz RYKAŁA  
Instytut Robotów i Konstrukcji Maszyn  
Wydział Inżynierii Mechanicznej  
Wojskowa Akademia Techniczna

## **STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

pt. „Kształtowanie systemu lokalizacji przewodnika w aspekcie wyznaczania trasy przejazdu platformy bezzałogowej”

Bezzałogowe platformy lądowe (BPL) stanowią złożone urządzenia techniczne stosowane do działań w trudnych lub niebezpiecznych warunkach środowiskowych. Wykorzystanie ich pełnego potencjału wymaga rozwoju wielu technologii, co bezpośrednio przekłada się na poziom autonomii BPL. Najbardziej zaawansowane technologicznie platformy mogą poruszać się w pełni autonomicznie, co jest realizowane poprzez zastosowanie specjalizowanych czujników oraz algorytmów. Podstawowym trybem sterowania BPL jest teleoperacja, jednak w ostatnich latach obserwuje się wzrost liczby badań nad platformami podążającymi, które stanowią odmianę sterowania w układzie teleoperacji platform lądowych. W przypadku wymienionych platform to przewodnik (operator lub platforma autonomiczna) przemieszczając się, wskazuje trasę przejazdu podążającej za nim platformie.

W ramach analizy stanu zagadnienia przeanalizowano rozwiązania platform podążających pod kątem stosowanych w nich technologii w oparciu o następujące kryteria oceny: możliwość pracy w terenie otwartym oraz wewnątrz pomieszczeń, niewrażliwość na zmienne warunki środowiskowe, możliwość pracy w warunkach chwilowej utraty widoczności pomiędzy platformą, a przewodnikiem, zasięg pracy min. 20 m, minimalna częstotliwość wyznaczania lokalizacji przewodnika wynosząca 5 Hz oraz maksymalny błąd całkowity lokalizacji przewodnika równy 0,5 m. W analizie uwzględniono następujące technologie: układy wizyjne, laserowe, ultradźwiękowe, systemy nawigacji satelitarnej, RFID, IMU oraz Ultra Wideband (UWB). Stwierdzono, iż technologia Ultra Wideband spełnia wszystkie przyjęte kryteria dotyczące systemów podążania za przewodnikiem.

W związku z powyższym sformułowano następujący cel naukowy pracy: dobór konfiguracji kotwic oraz opracowanie algorytmów przetwarzania sygnałów do budowy systemu wyznaczania położenia przewodnika dla bezzałogowej platformy lądowej z zastosowaniem technologii Ultra Wideband.

Jako stanowisko badawcze przyjęto bezzałogową platformę lądową „Dromader”, którą wyposażono w układy pomiarowe UWB. Przeprowadzono badania identyfikacyjne mające na celu ustalenie możliwości wyznaczania pomiarów odległości kotwica-etykieta z układów pomiarowych UWB w warunkach poligonowych. Wykazano, iż liczba prawidłowych pomiarów odległości z wszystkich kotwic w ok. 85% sekwencji pomiarowych spełnia przyjęte kryterium (min. 95%), co stanowi uzasadnienie dla zastosowania modułów UWB w badaniach. Ponadto stwierdzono utratę części rejestrowanych danych w sytuacji braku bezpośredniej widoczności pomiędzy antenami kotwic i etykiety.

Wykonano wstępne eksperymentalne badania wyznaczania położenia przewodnika w celu określenia wybranych parametrów modelu symulacyjnego podsystemu lokalizacji przewodnika. W rezultacie przeprowadzonych badań stwierdzono, że minimalna liczba kotwic niezbędna do lokalizacji przewodnika za pomocą metod geometrycznych wynosi dwie. Zaproponowano jednak użycie czterech z nich. Takie podejście pozwoliło zmniejszyć błędy całkowite lokalizacji i wyeliminować część błędnych pomiarów. Ponadto wykazano zgodność wyników badań symulacyjnych i eksperymentalnych.

Przeprowadzono eksperymentalne badania rozmieszczenia modułów UWB na bezzałogowej platformie lądowej w celu określenia docelowej konfiguracji układów pomiarowych. Stwierdzono, iż wartość średnia procentowej liczby utraconych pakietów dla kotwic przednich i tylnych nie przekroczyła ok. 1%, co przekłada się na procentową średnią liczbą prawidłowych pomiarów równą ok. 99% w przypadku kotwic przednich oraz tylnych. Wykazano, iż kotwice są najlepiej rozmieszczone pod względem procentowej liczby utraconych pomiarów (minimalna wartość średniej procentowej liczby utraconych pakietów danych spośród wszystkich konfiguracji) w konfiguracji K11 (konfiguracja wybrana do dalszych badań).

Opracowano algorytmy wyznaczania położenia przewodnika z zastosowaniem technologii UWB bazujące na metodach geometrycznych (GEO), trilateracji (TRI) oraz metodach optymalizacji (NLP). Przeprowadzono badania symulacyjne podsystemu lokalizacji przewodnika wykorzystującego opracowane algorytmy lokalizacji. W wyniku badań symulacyjnych stwierdzono, iż algorytm NLP uzyskał minimalną wartość średniego wskaźnika jakości spośród wybranych analizowanych algorytmów, co przekłada się na najmniejsze błędy całkowite lokalizacji przewodnika. Stwierdzono, iż wprowadzone zakłócenie pomiarów odległości z kotwic ma zauważalny wpływ na dokładność lokalizacji dla wszystkich rozpatrywanych algorytmów. Ponadto wskazano na konieczność zastosowania filtracji sygnałów (wyniki lokalizacji przewodnika) w przetwarzaniu danych eksperymentalnych.

Dokonano eksperymentalnej weryfikacji podsystemu lokalizacji przewodnika z wykorzystaniem opracowanych algorytmów lokalizacji. Wykazano, iż moduł UWB na przewodniku powinien być zwrócony w kierunku BPL w celu minimalizacji zjawiska zaników sygnałów. Zastosowano filtrację sygnałów (filtr medianowy i filtr średniej ruchomej), co pozwoliło poprawić wyniki lokalizacji dla TRI o ok. 12%, dla NLP o ok. 16%, a dla GEO o ok. 9%. Dokonano modyfikacji struktury algorytmów lokalizacyjnych, którą dostosowano do struktury sprzętowej rozwiązania (cztery kotwice UWB). W ten sposób zmaksymalizowano liczbę wyznaczonych lokalizacji w zależności od liczby dostępnych pomiarów sygnałów z kotwic. W przypadku TRI oraz GEO uzyskano średni procentowy wzrost liczby wyznaczonych lokalizacji o ok. 6% (dla GEO o ok. 7%). W wyniku badań eksperymentalnych stwierdzono, iż algorytm NLP uzyskał minimalną wartość średniego wskaźnika jakości spośród wybranych analizowanych algorytmów, co przekłada się na najmniejsze błędy całkowite lokalizacji przewodnika. Ponadto wykazano, iż występowanie zjawiska szumu w pomiarach odległości ma negatywny i zauważalny wpływ na dokładność lokalizacji dla wszystkich rozpatrywanych algorytmów.

Dokonano również opracowania sposobu wyznaczania trasy przewodnika z zastosowaniem technologii UWB przy pomocy splajnu wygładzającego. Wykazano, iż splajn wygładzający z uwagi na zaimplementowany model matematyczny, pozwala na odtworzenie trajektorii przewodnika w przypadku występowania zaników wyników lokalizacji przewodnika trwających do kilku sekund. Zauważono, iż występowanie wspomnianych zaników lokalizacji przewodnika zwiększa błędy całkowite wyznaczania trasy przewodnika. Ponadto, w ramach badań wykazano, iż wzrost wartości parametru wygładzającego splajnu powoduje zwiększenie wartości średniokwadratowej przyspieszenia liniowego przewodnika.