



POLITECHNIKA ŚLĄSKA
WYDZIAŁ AUTOMATYKI, ELEKTRONIKI I INFORMATYKI
KIERUNEK INFORMATYKA

**Rozprawa doktorska
Doktorat wdrożeniowy**

Wykorzystanie symulacji komputerowej w systemach autonomii
pojazdów lądowych

Autor: mgr inż. Łukasz Sobczak

Promotor: dr hab. inż. Adam Domański, Prof. PŚ

Gliwice, grudzień 2022

Streszczenie

Celem pracy było przygotowanie szeregu metod oraz środowiska symulacyjnego, które pozwoliłoby na ewaluację wybranych algorytmów autonomii jazdy przeznaczonych dla Bezzałogowych Platform Lądowych (BPL) oraz innych pojazdów robotycznych. Opracowane narzędzia i rozwiązania dotyczą zagadnień z zakresu implementacji systemów symulacji zarówno pojazdów autonomicznych, jak i sensorów stosowanych w systemach autonomii jazdy oraz pozwoliły na stworzenie kompleksowego symulatora pojazdów autonomicznych WST (Wirtualny System Testujący).

Realizacja pracy wymagała od autora szerokiego przeglądu literatury dotyczącej algorytmów wykorzystywanych przez wiele rodzajów samo-kierujących pojazdów. Lokalizacja i mapowanie otoczenia, percepcja otoczenia czy wyznaczanie trasy przejazdu i nawigacja do celu to główne zagadnienia autonomii jazdy, których opracowanie wymaga dostępu do platformy jezdnej, wielu rodzajów czujników i czasochłonnych testów wykonywanych w rzeczywistych warunkach. Autor w ramach rozprawy doktorskiej postawił tezę, że możliwe jest przygotowanie systemu symulacji pojazdu i jego czujników w sposób pozwalający dokonać weryfikacji i ewaluacji algorytmów autonomii bez dostępu do fizycznego pojazdu. Tym samym opracowany symulator może posłużyć do przygotowywania, testowania i oceny metod automatyzacji jazdy oraz zapewni środowisko symulacyjne dla pojazdów typu BPL o niemal dowolnych rozmiarach, przeznaczeniu czy konfiguracji napędu. System oferuje również dużą wydajność działania zapewniając wysoką jakość generowanych danych sensorycznych przy zachowaniu działania w czasie rzeczywistym. Pozwala ponadto na wymianę danych pomiędzy rzeczywistymi, a symulowanymi czujnikami dzięki zastosowaniu wspólnej reprezentacji danych i ich formatowi zgodnym z rzeczywistymi urządzeniami. Dodatkowo przygotowany symulator umożliwia zebranie danych pozwalających na ewaluację zasadności użycia poszczególnych sensorów i ich dobór wraz z fizyczną lokalizacją na danym pojeździe. Opracowane rozwiązanie umożliwia bezpośrednią komunikację między systemem robota ROS (Robot Operating System), a środowiskiem symulacji z wysoką przepustowością danych co potwierdziły wykonane badania i porównanie z istniejącym rozwiązaniem.

Dużą część badań autor poświęcił na wykorzystanie opracowanego symulatora do ewaluacji działania algorytmu lokalizacji i mapowania SLAM, stanowiącego kluczową rolę niemal każdego systemu autonomicznej jazdy. Aby poprawnie ocenić i porównać skuteczność wyznaczania pozycji i jakość generowanej mapy otoczenia z wykorzystaniem danych symulacyjnych niezbędna jest weryfikacja dokładności syntetycznych danych względem danych, dostarczanych przez fizyczne urządzenie. Przeprowadzone badania wykazały, że generowane z użyciem symulatora dane w znacznym stopniu odpowiadają rzeczywistości, przede wszystkim dzięki symulacji charakterystycznych błędów i szumów danych sensorów. Następnie porównano wartości błędu lokalizacji wybranego algorytmu SLAM korzystającego z rzeczywistych i syntetycznych danych. Przygotowany tor testowy oraz jego odpowiednik odwzorowany w środowisku symulacyjnym umożliwiły

zbadanie wpływu zastosowania danych generowanych w symulatorze na jakość lokalizacji pojazdu. Uzyskane wyniki potwierdziły, że wartość błędu pozycjonowania pojazdu przy wykorzystaniu danych symulacyjnych jest zbliżona do tej, uzyskanej w warunkach rzeczywistych potwierdzając tym samym zasadność stosowania symulatora.

Wykonane badania i wykazanie skuteczności symulacji w kontekście lokalizacji i mapowania, umożliwiły ocenę możliwości zastosowania symulatora w procesie doboru czujników LiDAR, IMU i odometrii dla wybranego algorytmu SLAM. Wykorzystując opracowane środowisko zaproponowano procedurę testową pozwalającą na znalezienie odpowiedniej konfiguracji sensorów, przedstawiono również wady i zalety takiego rozwiązania.

Ponadto przygotowany symulator i jego możliwości zostały przeanalizowane pod kątem zastosowania w procesie badań i rozwoju pozostałych algorytmów wykorzystywanych podczas autonomicznej jazdy. Omówiono kwestię zastosowania zaprojektowanego środowiska do testów metod wstępnego przetwarzania danych sensorycznych. Przedstawiono także opracowany mechanizm tworzenia zbioru danych, które mogą posłużyć jako dane testowe i treningowe dla nauki modeli głębokich sieci neuronowych służących np. do segmentacji semantycznej obrazu pochodzącego z kamer umieszczonych na autonomicznym pojeździe. Zaprezentowano również praktyczne zastosowanie symulatora do opracowania i testowania algorytmów autonomicznej nawigacji, w tym tworzenia siatki zajętości przeszkód na podstawie danych lidarowych, wyznaczania ścieżki przejazdu oraz generowania komend sterowania pozwalających na podążania zgodnie z wyznaczonym planem. Ostatecznie przedstawiono również architekturę umożliwiającą testy systemu autonomii, w którym dane z rzeczywistych sensorów są zastąpione danymi symulacyjnymi, a funkcjonalności pozostają bez zmian z perspektywy operatora systemu. Przedstawione rezultaty prac zakończyły się wdrożeniem środowiska symulacyjnego do prac rozwojowych nad pojazdami wyposażonymi w system autonomicznej jazdy, którego komponenty zostały zaprojektowane, ewaluowane i dostosowane w zaprezentowanym symulatorze WST. Pozwoliło to ostatecznie na przygotowanie kilku Bezzałogowych Platform Lądowych spełniających założenia w kontekście autonomicznego poruszania się. Udowadnia to, że uzyskane w pracy wyniki przyczyniły się do opracowania symulatora, który stanowi istotną pomoc w procesie opracowywania systemów autonomii dla BPL.

Uzyskane przez autora wyniki badań i prac prowadzonych w związku z rozprawą doktorską umożliwiły poszerzenie stanu wiedzy poza tą dostępną w literaturze i zaprezentowały w kilku aspektach nowatorskie podejście do zastosowania metod symulacyjnych na potrzeby prac nad pojazdami autonomicznymi, które stanowią istotną gałąź w nowoczesnej informatyce. Ponadto otrzymane rezultaty oraz zaproponowane metody i potencjalne możliwości zastosowania w praktyce zostały opublikowane przez autora w czasopismach naukowych.