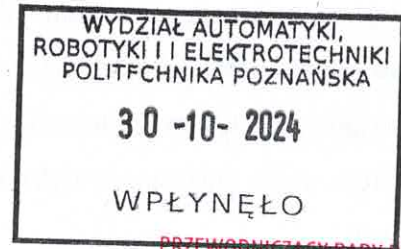


Warszawa, dnia 25 października 2024

dr hab. Barbara Siemiątkowska, prof. PW  
Politechnika Warszawska  
Wydział Mechatroniki  
e-mail Barbara.Siemiątkowska@pw.edu.pl



PRZEWODNICZĄCY RADY DISCYPLINY  
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika  
i Technologie Kosmiczne  
prof. dr hab. inż. Wojciech Szelaąg

## RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Aleksandra Kostusiaka

pt. „Metody doboru struktury oprogramowania i optymalizacji parametrów  
w zadaniu lokalizacji wizyjnej na podstawie danych RGB-D”

Promotor: prof. dr hab. inż. Piotr Skrzypczyński

Podstawą recenzji jest uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Poznańskiej z dnia 17 września 2024 roku oraz pismo Przewodniczącego Rady z dnia 19 września 2024r. w tej sprawie.

### 1. Wybór tematu badawczego

W dobie zaawansowanej technologii roboty mobilne stają się coraz bardziej powszechne nie tylko w przemyśle, ale także w życiu codziennym. Kluczowym elementem funkcjonowania tych urządzeń jest zdolność do określenia położenia. Cecha ta umożliwia robotom planowanie optymalnej trajektorii. Precyzyjna lokalizacja jest niezbędna, aby roboty mogły unikać przeszkód i reagować na zmieniające się warunki w otoczeniu, jest też kluczowa dla zapobiegania wypadkom. Dzięki algorytmom lokalizacji roboty mogą przewidywać ruchy innych obiektów i odpowiednio na nie reagować, co znacząco zwiększa bezpieczeństwo. W miarę postępu w dziedzinie sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego algorytmy określenia położenia robota stają się coraz bardziej zaawansowane i otwierają nowe możliwości np. w

zakresie monitorowania i zarządzania flotą robotów. Istnieje wiele metod określenia położenia robota, ale każda z opracowanych metod ma swoje ograniczenia i zestaw parametrów, których wartość jest kluczowa do osiągnięcia celu. Badania nad optymalizacją parametrów mogą prowadzić do znaczących usprawnień w wydajności algorytmów, co jest kluczowe w zastosowaniach wymagających szybkiego przetwarzania danych w czasie rzeczywistym.

Opracowanie efektywnych metod doboru struktury oprogramowania oraz optymalizacji parametrów może znacząco zwiększyć dokładność i szybkość systemów nawigacji robotów mobilnych.

Wybór sensorów ma istotny wpływ na percepcyjne zdolności pojazdu i możliwości systemów nawigacji. Sensory wizyjne stanowią cenne źródło informacji o otoczeniu, ale dane RGB nie dostarczają informacji o odległości do przeszkód. Ostatnio popularne są sensory RGB-D, które łączą informacje o kolorze obiektów i głębi. Ta cecha może znacząco zwiększyć precyzję lokalizacji w porównaniu do standardowych kamer RGB. Stosowane obecnie metody głębokiego uczenia, w tym sieci konwolucyjne (CNN) są dostosowane do danych RGB. Wykorzystanie CNN do danych RGB-D wymaga zmian w strukturze sieci.

Biorąc pod uwagę aktualny stan badań i potrzeby rynku robotów mobilnych uważam, że podjęty przez Doktoranta temat: „Metody doboru struktury oprogramowania i optymalizacji parametrów w zadaniu lokalizacji wizyjnej na podstawie danych RGB-D za aktualny i istotny. Prowadzone badania mogą przyczynić się do powstania innowacyjnych rozwiązań wykorzystania systemów RGB-D w nawigacji.

## **2. Struktura rozprawy**

Recenzowana praca została wykonana w Instytucie Robotyki i Inteligencji Maszynowej Wydziału Automatyki, Robotyki i Elektrotechniki Politechniki Poznańskiej pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Piotr Skrzypczyńskiego. Rozprawa doktorska została wydana w formie raportu. W wyniku prowadzonych badań powstało 10 publikacji, w siedmiu z nich Pan Aleksander Kostusiak jest głównym autorem. Pod względem formalnym praca ma klasyczny układ treści. Rozprawa doktorska zawiera stronę tytułową z wszystkimi istotnymi danymi, streszczenie w języku polskim i angielskim, wykaz skrótów i symboli użytych w pracy, spis treści, część literaturową, tezę i cele pracy, badania eksperymentalne, dyskusję wyników, podsumowanie razem z wnioskami oraz bibliografię.

Rozprawa doktorska liczy 234 strony, zawiera rysunki i tabele, które są udokumentowaniem przeprowadzonych badań. Cytowana literatura obejmuje 248 pozycji właściwie dobranych i związanych z tematyką rozprawy. Przedstawiona struktura pracy odpowiada oczekiwaniom stawianym rozprawom doktorskim.

### 3. Ocena merytoryczna pracy

Tytuł rozprawy: „Metody doboru struktury oprogramowania i optymalizacji parametrów w zadaniu lokalizacji wizyjnej na podstawie danych RGB-D” odzwierciedla zawartość pracy.

We wstępie Autor rozprawy przedstawił motywację do podjęcia badań, sformułowanie problemu badawczego oraz plan badań. Dobór struktury oprogramowania i optymalizacji parametrów w zadaniu lokalizacji wizyjnej na podstawie danych RGB-D wymaga wiedzy z kilku dziedzin: optymalizacji, widzenia maszynowego, robotyki i metod sztucznej inteligencji. Przegląd istniejących rozwiązań został zaprezentowany w czterech kolejnych rozdziałach (rozd. 2-5). Każdy z rozdziałów jest poświęcony innemu zagadnieniu, ale wszystkie są istotne z punktu widzenia tematu rozprawy. W rozdz. 2 Autor przedstawił krótki przegląd sensorów aktywnych i pasywnych oraz omówił algorytmy SLAM (EKF-SLAM, Fast-SLAM, Graph-SLAM). Opisano też techniki uzupełniania danych i usuwania szumów. W rozdz. 3 zaprezentowano koncepcję prostego systemu odometrii wizyjnej. Przedstawiono podstawowe deskryptory obrazu, algorytmy dopasowania par deskryptorów, metody filtracji dopasowań i oszacowanie trajektorii robota. W rozdz. 4 opisano wybrane algorytmy optymalizacji. Autor pracy opisał i porównał metody przeszukania logarytmicznego, roju cząstek i algorytm ewolucyjny. W rozdz. 5 przedstawiono podstawowe problemy związane w zastosowaniem metod głębokiego uczenia. Autor wymienił podstawowe narzędzia programistyczne ułatwiające tworzenie algorytmów sztucznej inteligencji. W bardzo rozbudowanym (97 str.) rozdz. 6 opisana jest zarówno metodologia badań jak i wyniki przeprowadzonych eksperymentów. Przedstawiono metodologię uczenia sieci Monodepth, omówiono wykorzystywane bazy danych oraz miary błędów wykorzystywane w procesie oceny dokładności systemu. W części eksperymentalnej zaprezentowano tabele i rysunki opisujące błędy określenia trajektorii robota dla szerokiego zastawu deskryptorów obrazu (ORB, SURF, KAZE, ...) i algorytmów: odometrii wizyjnej i RGB-D SLAM v2. Przedstawiono także czas detekcji i dopasowania elementów charakterystycznych oraz czas działania algorytmu RANSAC. Określono także wpływ sposobu przemieszczania się sensora na dokładność wyników. W rozdz. 6.6.5-6.6.6 opisano zastosowanie metod populacyjnych do poszukiwania optymalnych parametrów OV RGB-D online i offline. W kolejnych podrozdziałach porównano klasyczne metody uzupełniania mapy głębi z metodami wykorzystującym sieci neuronowe. W rozdz. 6.7 oceniono czas obliczeń dla opracowanych i testowanych algorytmów. Rozdz. 7 zawiera podsumowanie prowadzonych badań i możliwość dalszego rozwoju prac.

Do najważniejszych osiągnięć pracy, będących elementami nowości naukowej, należy zaliczyć:

- Zastosowanie populacyjnych metod optymalizacji do określenia parametrów systemu odometrii wizyjnej, RGB-D i algorytmu RANSAC.
- Zastosowanie metod głębokiego uczenia do analizy i uzupełniania brakujących danych RGB-D.
- Sprawdzenie jak różne metody analizy i przetwarzania danych RGB-D oraz RGB wpływają na dokładność określenia położenia robota w systemach SLAM.
- Uwzględnienie w prowadzonych badaniach wpływu różnego rodzaju czynników związanych ze sposobem przemieszczania się robota np. drgań, dużej prędkości itp. na dokładność lokalizacji.

Zaletą pracy są też:

- Liczne badania eksperymentalne, które potwierdzają przyjęte w pracy tezy.
- Ocena dokładności i wydajności zaproponowanych algorytmów.
- Szeroki przegląd aktualnej literatury.
- Krytyczna ocena własnych osiągnięć.

Uwagi krytyczne:

1. W pracy przedstawiono hipotezę badawczą dwukrotnie.
2. Bezpośrednio po przeglądzie literatury znajduje się rozdział opisujący badania eksperymentalne. Brakuje rozdziału w którym przedstawiona jest metodologia badań. Metodologia badań jest opisana częściowo w rozdz. 1, 5 i 6, ale w sposób niespójny.
3. Rozdz. 6 pt. „Badania eksperymentalne” jest bardzo rozbudowany i według mnie powinien być podzielony na dwie części („metodologia badań” i „badania eksperymentalne”), tytuł rozdziału nie odzwierciedla zawartości.
4. Według mnie przytoczona przez Autora definicja robota autonomicznego jako urządzenia, którego ruchu nie ogranicza, nie jest słuszna. Autonomia jest związana z podejmowaniem decyzji. Np. samochód zdalnie sterowany nie jest autonomiczny.
5. W opisie metod sztucznej inteligencji pominięto transformery, które dzięki mechanizmowi uwagi mogą wykrywać współwystępowanie cech, a to może umożliwić w połączeniu z Graph-SLAM tworzenie zaawansowanych metod lokalizacji.
6. W pracy występują sformułowania potoczne lub nieściśle np. „składniki nie są tak liniowe jak byśmy chcieli” (str 40), dopasowanie w sensie normy euklidesowej (str. 46),

estymata Monte Carlo (str. 100) i błędy stylistyczne np. innych dziedzinach zagadnieniach (str. 97).

7. Na str. 104 Autor używa sformułowania adoptować, według mnie powinno być adaptować (od adaptacji, a nie adopcji).
8. Zdanie: „W dodatku obiekty, które będą dalej będą obarczone mniejszą karą podczas uczenia” (str. 107) nie jest dla mnie jasne.
9. Zdanie: „wszystkie mediany błędów dla poszczególnych osi  $x, y$  ...są albo ujemne albo bliskie zero” (str. 178) nie jest jasne, jak liczne były błędy?

### **Pytania do Doktoranta**

1. Jak dokładnie uczona była sieć Monodepth? W pracy znajduje się informacja, że estymacja głębi odbywa się bez nadzoru ( sposób samokontrolowany), będę wdzięczna za rozwinięcie tego tematu.
2. Na stronie 34 pojawia się sformułowanie optymalizacja pozycji. Jakie kryterium optymalizacji Autor ma na myśli?
3. Dlaczego Autor zdecydował się na zastosowanie czasochłonnych metod populacyjnych, a nie klasycznych metod optymalizacji?
4. Metody populacyjne były przez Autora rozprawy wykorzystywane do poszukiwania optymalnych parametrów systemu OV w zagadnieniach offline i online. Jak dokładnie przebiegał eksperyment online, jaki był czas generowania odpowiedzi?

### **Wniosek końcowy**

Uwagi krytyczne nie wpływają na pozytywną ocenę pracy. Uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandra Kostusiaka stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Obszerny materiał eksperymentalny potwierdza, że przyjęty w pracy cel został osiągnięty. Doktorant opracował metody, które w mojej ocenie posiadają potencjał aplikacyjny. Mgr inż. Aleksander Kostusiak wykazał się wiedzą naukową w dziedzinie robotyki mobilnej, umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych, eksperymentalnych i aplikacyjnych oraz korzystania z nowoczesnych narzędzi i metod badawczych, niezbędnych w zakończonej sukcesem realizacji doktoratu.

Podsumowując, przedstawiona do recenzji rozprawa mgr inż. Aleksandra Kostusiaka pt. „Metody doboru struktury oprogramowania i optymalizacji parametrów w zadaniu lokalizacji wizyjnej na podstawie danych RGB-D” spełnia wszystkie warunki stawiane przez art.13-ty ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki

(Dziennik Ustaw z dn. 14.03.2003 wraz z późniejszymi zmianami) oraz art. 187 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dn. 20 lipca 2018 r. (Dz. U. z 2023 r. poz. 742 z późn. zm.), wnoszę więc do Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Poznańskiej o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie mgr inż. Aleksandra Kostusiaka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Barbara Siemiątkowska