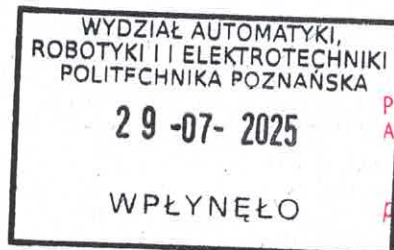


Prof. dr hab. inż. Leszek Podsędkowski

Łódź, 21 lipca 2025 r.

Politechnika Łódzka

Wydział Mechaniczny



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

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Ćwiana
zatytułowanej

„Efficient problem representations and computational models for 3D laser-based simultaneous localization and mapping”

Recenzja została opracowana na zlecenie z dnia 14 maja 2025 r. wystawione przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Poznańskiej zgodnie z uchwałą tej Rady z dnia 13 maja 2025 r. oraz na podstawie umowy o dzieło z dnia 21.05.2025.

Recenzję wykonano zgodnie z wymogami ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

1. Ocena układu rozprawy doktorskiej

Rozprawa mgr inż. Krzysztofa Ćwiana zatytułowana „Efficient problem representations and computational models for 3D laser-based simultaneous localization and mapping” została opublikowana na Politechnice Poznańskiej w 2025 r. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Piotr Skrzypczyński, a promotorem pomocniczym dr hab. inż. Michał Nowicki.

Rozprawa jest napisana w języku angielskim. Dzieło liczy 136 stron, w tym 109 stron tekstu rozprawy oraz 27 stron wstępu, spisów i bibliografii. Tekst zasadniczy poprzedzony jest podziękowaniami, dwoma streszczeniami (po angielsku i po polsku), spisem treści oraz indeksem skrótów. Główna część rozprawy zawiera 7 rozdziałów oraz wykaz 172 pozycji literatury. Objętość rozprawy jest standardowa dla typu opracowań w dziedzinie nauk technicznych.

We wstępie (rozdział 1) autor opisał motywację podjęcia tematu rozprawy, sformułował problem naukowy, postawił tezę pracy, zamieścił jej streszczenie oraz spis własnych osiągnięć naukowych i publikacyjnych.

W rozdziale 2 przedstawiono przegląd aktualnego stanu wiedzy w dziedzinie SLAM, omawiając różne architektury, metody rejestracji skanów oraz techniki domykania pętli. Zostały również omówione wyzwania związane z lokalizacją robota oraz wprowadzone zostały grafy czynników, podkreślając ich zalety, takie jak możliwość integracji danych z wielu źródeł. Rozdział ten analizuje także metody poprawy lokalizacji opartej na systemie GNSS w kontekście zastosowań w transporcie miejskim.

W rozdziale 3 zaprezentowano dwa podejścia do reprezentacji mapy. Pierwsze z nich wykorzystuje strukturę opartą na cechach, zawierającą duże elementy płaskie i liniowe. W ogólnym zarysie opisano proces zarządzania cechami, strategie optymalizacji oraz różne struktury grafów czynników. Drugie podejście wykorzystuje surfeli w połączeniu z metodą dopasowania wiązki (bundle adjustment) w celu wspólnej optymalizacji mapy i trajektorii. Opisano również proces generowania surfeli z surowych skanów, technikę asocjacji danych, model niepewności dla pomiarów LiDAR oraz podejście do optymalizacji surfeli i pozycji.

W rozdziale 4 skupiono się na integracji pomiarów GNSS z systemem SLAM w celu poprawy długoterminowej dokładności. Pierwsza część omawia fuzję surowych pomiarów GNSS z systemem SLAM opartym na LiDAR, w tym strategie filtrowania nieprawidłowych obserwacji GNSS. Druga część przedstawia podejście do korekcji trajektorii GNSS poprzez integrację z prostym systemem VO, co skutecznie ogranicza błędy pozycjonowania.

W rozdziale 5 zawarto ocenę eksperymentalną systemów opracowanych w rozdziałach 3 i 4. Ewaluacja obejmuje testy z użyciem różnych sensorów LiDAR i zestawów danych, w tym danych własnych, a także porównania z istniejącymi systemami SLAM. Analizowana jest również efektywność obliczeniowa pierwszej zaproponowanej metody. Dodatkowo, przeprowadzono ocenę dokładności udoskonalonych map poprzez porównanie z modelem referencyjnym. Rozdział ten pokazuje także skuteczność integracji pomiarów GNSS w celu poprawy estymacji trajektorii, porównując wyniki uzyskane z różnymi systemami SLAM i odbiornikami GNSS.

W rozdziale 6 zaprezentowano dwa praktyczne zastosowania systemów lokalizacji wykorzystujących GNSS oraz ich ocenę. Pierwsze studium przypadku dotyczy lokalizacji autobusu w środowisku miejskim. Pokazuje ono praktyczny przykład wykorzystania wyłącznie GNSS do lokalizacji na dużym i zróżnicowanym obszarze, wskazując zarówno zalety, jak i ograniczenia takiego podejścia. Drugie studium skupia się na lokalizacji robota rolniczego działającego w warunkach polowych, gdzie lokalizacja GNSS została ulepszona przy użyciu systemu VO. Pokazuje to, że sposób sformułowania problemu oraz oprogramowanie opracowane dla systemu GNSS-Augmented LiDAR SLAM (GALS) mogą być z łatwością dostosowane do różnych wariantów czujników i scenariuszy, odpowiadając na rzeczywiste potrzeby użytkowników.

W rozdziale 7 podsumowano rozprawę, przedstawiając najważniejsze osiągnięcia badawcze oraz wskazując możliwe kierunki dalszych prac.

Struktura pracy jest dość czytelna, choć nie do końca typowa dla tego rodzaju opracowań. Umieszczenie tezy pracy na samym początku pracy, przed analizą literatury, powoduje, że teza ta nie może się precyzyjnie oprzeć na aktualnym stanie wiedzy i wskazać obszary, w których opracowane rozwiązanie ma przewyższać dotychczas istniejące. Rozprawa zawiera wszystkie istotne elementy warsztatu naukowca, zwłaszcza w zakresie prac dotyczących rozwiązań informatycznych: postawienie celów, analizę literatury, zaprezentowanie własnego rozwiązania i jego weryfikacja na publicznie dostępnych zbiorach danych, wreszcie weryfikacja własnymi eksperymentami i postawienie wniosków.

2. Ocena zastosowanego piśmiennictwa

Autor przeprowadził analizę piśmiennictwa (172 pozycje) dotyczącą zakresu pracy, zarówno w aspekcie metod SLAM wykorzystujących dane ze skanerów 3D LIDAR jak i wsparciu ich metodami lokalizacji GNSS. Prawie wszystkie prace są z okresu ostatnich 20 lat, a większość z lat 2018-2025. Uważam analizę piśmiennictwa za w pełni poprawną, uwzględniającą najnowsze osiągnięcia i

wyczerpującą. Za jedyny mankament uważam brak ilustrowania tej analizy zamieszczeniem rysunków cytowanych z artykułów, co zdecydowanie poprawiłoby czytelność opisu i ułatwiło jego zrozumienie.

3. Ocena celu i tezy pracy

W pierwszym rozdziale autor sformułował problem i tezę pracy, opisał także jej zakres w postaci skrótowego opisu zawartości rozdziałów. Postawiony problem badawczy został sformułowany w kilku zdaniach w rozdziale 1.2: „*Dlatego, aby umożliwić długoterminowe działanie, konieczne jest przyjęcie efektywnych strategii mapowania, które przechowują jedynie najbardziej istotne cechy dla celów lokalizacji*”, „*Niezbędne jest odporne środowisko optymalizacyjne, umożliwiające efektywną integrację pomiarów GNSS z danymi ruchu opartymi na LiDAR oraz minimalizację niepewności oszacowania pozycji*”. Problem ten, choć sformułowany w sposób nie do końca jawny, należy uznać za zgodny z aktualnymi potrzebami. Znalezienie optymalnej metody opisu eksplorowanego z wykorzystaniem skanera LiDAR 3D otoczenia robota jest tematem powszechnie dziś analizowanym. Podstawowym problemem jest bardzo duża liczba otrzymywanych z sensora punktów pomiarowych (nawet do 2 mln pkt/s), co powoduje bardzo szybkie zajmowanie pamięci i znaczne wydłużenie czasu obróbki danych w przypadku, gdyby użytkownik chciał wykorzystywać wszystkie historyczne dane w zadaniu SLAM. Z tego też powodu uważam, że cel pracy jest bardzo istotny z punktu widzenia zautomatyzowanych systemów percepcyjnych stosowanych w robotach mobilnych lub wspierających automatyczną rejestrację danych z poruszającego się skanera wraz z określaniem jego położenia. Druga część celu – integracja pomiarów GNSS do zadania SLAM jest również bardzo istotna. Tu z kolei problemem jest rozkład błędów. Lokalizacja satelitarna cechuje się gaussowskim rozkładem szumu pomiarowego jedynie w warunkach idealnych. W rzeczywistości, zwłaszcza w środowisku miejskim, odbicia sygnału radiowego i częsta zmiana wykorzystywanych satelitów powodują skokową zmianę otrzymywanej lokalizacji i niezerową wartość oczekiwaną błędu. Do tego dochodzą, coraz częściej niestety, świadome zakłócenia sygnałów GNSS wynikające z działań wojennych lub terrorystycznych. Stawia to duże wyzwania przed metodami integrującymi odometrię LiDAR lub Visual (o dość wysokiej dokładności krótkodystansowej) z sygnałem GNSS o bardzo dużych (choć nie narastających) wartościach błędów. W związku z tym również ta część celu jest istotna z punktu widzenia systemów zautomatyzowanych i zrobotyzowanych i znajduje się w bieżącym nurcie badań naukowych.

Teza pracy została sformułowana w tym samym rozdziale w następujący sposób (w tłumaczeniu na język polski): „*Możliwe jest sformułowanie problemu estymacji ruchu sensora LiDAR jako zadania optymalizacyjnego opartego na reprezentacji mapy bazującej na cechach, z uwzględnieniem ograniczeń wynikających z pomiarów GNSS, co prowadzi do eliminacji problemów lokalnych minimów, powszechnie występujących w algorytmach SLAM opartych na metodzie ICP. Takie nowe sformułowanie, w połączeniu z efektywną strukturą mapy przechowującą jedynie dane istotne z punktu widzenia lokalizacji, umożliwi implementację systemu SLAM skalowalnego do długich trajektorii.*”

Takie przedstawienie tezy uważam za dość niefortunne z kilku powodów. Po pierwsze stwierdzenie „co prowadzi do eliminacji problemów lokalnych minimów, powszechnie występujących w algorytmach SLAM opartych na metodzie ICP” nie jest w żaden sposób udowodnione w pracy. Również stwierdzenie dotyczące wpadania w lokalne minima innych algorytmów wydaje się być nie do końca zweryfikowane – algorytmy LOAM, LeGO-LOAM, Lio-SAM

rozwiązywały zadania lokalizacji ze zbliżoną dokładnością. Po drugie kwestia skalowalności opracowanej implementacji również nie została formalnie udowodniona, choć prawdopodobnie jest prawdziwa. Po trzecie podanie w tezie, że możliwe jest inne od dotychczasowego sformułowanie problemu bez podania (a później udowodnienia) przewagi tego rozwiązania uważam za nieodpowiednie. Jestem przekonany, że doktorant mógłby przeformułować tezę w taki sposób, by te przewagi były w sposób jawny pokazane a ich udowodnienie możliwe. Prosiłbym doktoranta o podjęcie próby przedstawienia takiej, lepiej pokazującej jego osiągnięcia, tezy w trakcie obrony. Pomimo powyższych uwag uważam, że teza w przedstawionej formie została w stopniu dostatecznym udowodniona.

3. Ocena metod badawczych i wyników badań

W rozprawie doktorant zastosował szeroki wachlarz narzędzi badawczych, odpowiedni dla tematyki swojej pracy. Analizując istniejące i publicznie dostępne metody informatyczne z zakresu SLAM wykazał ich niedoskonałości i zaproponował obszary w których mogą zostać poprawione.

Następnie przeprowadził skróconą analizę teoretyczną wprowadzającą zmiany, jakie wg niego mogłyby zapewnić lepszy efekt działania algorytmów, w szczególności nastawiając się na dokładniejszą lokalizację i mniejszą zajętość pamięci na dane niezbędne do lokalizacji. Na szczególną uwagę zasługuje tu stosowanie grafu czynnikowego, który nie tylko uwzględnia bieżąco nadchodzące dane pomiarowe i ich niepewność podczas estymacji bieżącego położenia, ale również zachowuje w pamięci zależności przeszłe, co pozwala wykorzystać to narzędzie w procesie domykania pętli. W opracowywanych metodach Autor przeprowadził również analizę niepewności pomiaru i położył szczególny nacisk (zwłaszcza w metodach MAD-BA i GALS) na uwzględnienie tej niepewności w procesie lokalizacji – czy to przez wagi zależne od błędu, czy też przez filtrację i niewykorzystywanie pomiarów o zbyt dużej niepewności.

Kolejnym krokiem było opracowanie programów komputerowych (bazując na istniejących, publicznie dostępnych rozwiązaniach) realizujących zaproponowane zmiany. Następnie programy te zostały przetestowane zarówno na publicznie dostępnych zbiorach danych jak i na danych zebranych przez doktoranta w trakcie własnych doświadczeń. W eksperymentach porównywał dokładność uzyskanych trajektorii robota do istniejących rozwiązań, choć w tym zakresie porównanie uważam za niepełne – odniosę się do tego w punkcie 5 recenzji.

Uważam taki cykl prowadzenia badań z zakresu doskonalenia oprogramowania wykorzystywanego w sterowaniu robotów mobilnych za w pełni prawidłową metodę badawczą odpowiednią do uzyskania stopnia doktora.

Uzyskane wyniki badań koncentrują się na opracowaniu 3 różnych komponentów oprogramowania. Opracowane systemy PlaneLOAM i MAD-BA dotyczyły dwóch różnych metod rozwiązywania tego samego problemu: opracowywania danych z czujników LIDAR. Obydwa rozwiązania mają znamiona nowości i zmierzają zarówno do poprawy dokładności lokalizacji jak i do zmniejszenia liczby danych wykorzystywanych w procesie lokalizacji. Stanowią one krok we właściwą stronę realizowania SLAM: w oparciu o stworzoną mapę 3D przestrzeni a nie w oparciu o wybrane punkty.

System PlaneLOAM jest systemem SLAM opartym na cechach. Rozszerza klasyczne podejście LIOSAM (które jest rozwinięciem LOAM wykorzystującym graf czynników) poprzez nowatorską reprezentację mapy wykorzystującą cechy płaskie (planarne) i liniowe. W stosunku do

pierwovзору przechowuje dane o otoczeniu nie w punktach płaszczyznowych i krawędziowych ale poprzez zdefiniowanie równania płaszczyzny lub krawędzi. Poprawia to kojarzenie danych, zarządzanie mapą i wprowadza wykrywanie zamknięć pętli, co skutkuje wyższą dokładnością lokalizacji i większą odpornością systemu i zapewnia większą długoterminową spójność mapy.

System MAD-BA wykorzystuje reprezentację przestrzeni opartą na surfelach. System wprowadza skalowalną i wydajną metodę optymalizacji typu BA (Bundle Adjustment) wcześniej wykorzystywaną głównie do visual odometry, a tu dostosowaną specjalnie do danych LiDARu. Wykorzystuje uogólniony model niepewności LiDARu w celu zwiększenia niezawodności procesu optymalizacji, zapewniając spójność globalną i odporność systemu. Ocena przeprowadzona na publicznych zbiorach danych potwierdza, że opracowany system przewyższa inne badane metody, dostarczając dokładniejsze trajektorie i mapy, a przy tym naturalnie radzi sobie z artefaktami dynamicznymi obecnymi w chmurach punktów LiDAR.

Również trzeci algorytm (GALS) stanowi krok we właściwą stronę: pomaga zidentyfikować fragmenty pomiarów GLSS zawierające błędy grube i je wyeliminować z procedury lokalizacji poprawiając globalną dokładność tej procedury. System GALS integruje SLAM oparty na LiDAR z pomiarami GNSS, wykorzystujący graf czynnikowy, podobnie jak jest to zrealizowane w LIOSAM. W tym przypadku jednak opracowany system włącza surowe pseudoodległości i przesunięcia Dopplera bezpośrednio do grafu czynnikowego, umożliwiając lokalizację z użyciem tanich odbiorników GNSS. Dodatkowo zastosowano procedurę filtracji mającą na celu redukcję niegaussowskiego szumu w danych GNSS, co zapewnia wyższą dokładność i globalną spójność estymacji trajektorii. Ocena przeprowadzona na zbiorze danych UrbanNav pokazuje, że opracowany system poprawia lokalizację w przypadku różnych algorytmów SLAM opartych na LiDAR oraz różnych odbiorników GNSS.

Zdecydowanym utrudnieniem w lekturze doktoratu było jednak to, że były to 3 osobne fragmenty, przez co zakres pracy zarówno w obszarze analizy teoretycznej jak i badań weryfikacyjnych poświęcony na każdy z nich był w mojej ocenie mniejszy niż optymalny. Brak jest również implementacji łączącej metodę GALS z jedną z metod PlaneLOAM lub MAD-BA. Integrowanie w rozdziale 5.3.2 filtracji GALS z metodą LIO-SAM sugeruje wręcz, że to właśnie ta metoda ma najwyższą dokładność odometrii bazującej na LiDAR.

Pomimo tej ostatniej uwagi, że uzyskane przez doktoranta wyniki badań stanowią znaczny wkład w rozwój badań nad algorytmami SLAM LiDAR i przez to również wkład w rozwój dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Dodatkowym potwierdzeniem wagi osiągnięć autora jest ich publikacja w czterech recenzowanych artykułach naukowych w czasopismach o światowej renomie.

4. Ocena edycyjnej i formalnej strony rozprawy

Rozprawa została napisana poprawnie pod kątem edycyjnym i formalnym. W tym zakresie do nielicznych mankamentów można zaliczyć brak jednostek w niektórych tabelach czy niepełny opis warunków brzegowych niektórych eksperymentów.

5. Uwagi krytyczne i kwestie dyskusyjne

W trakcie lektury pracy zauważono pewną liczbę kwestii dyskusyjnych, przedstawionych poniżej. Nie mają one jednak wpływu na pozytywną ocenę pracy.

Podstawową kwestią dyskusyjną, jaka chciałbym wskazać jest porównywanie w rozdziale 5.1 opracowanej metody PlaneLOAM z metodą LOAM, która nie wykorzystuje grafu czynników, zamiast z opublikowaną rok później przez tych samych autorów metodą LioSAM, która jest jej najbliższym odpowiednikiem (też wykorzystuje graf czynników, a korzysta jedynie z punktów płaszczyznowych i krawędziowych zamiast płaszczyzn i krawędzi, jak u autora dysertacji). Przy zastosowaniu porównania do metody LOAM nie możemy wykazać, czy poprawa dokładności jest wynikiem wprowadzonego przez autorów metody LioSAM grafu czynników czy opracowanej przez autora dysertacji nowatorskiej reprezentacji mapy wykorzystującej cechy płaskie (planarne) i liniowe. Dobrą praktyką jest zdefiniowanie w analizie literatury rozwiązań stanowiących najlepsze znane rozwiązanie postawionego problemu i późniejsze porównywanie się właśnie do nich. W tym przypadku jest to o tyle prostsze, że autor zaimplementował u siebie i wykorzystywał m.in. w rozdziale 5.3 metodę LioSAM. Z drugiej strony porównując daty opublikowania metody LioSAM i publikacji autora dysertacji złożonej ledwo kilka miesięcy później (K. Ćwian, M. R. Nowicki, J. Wietrzykowski, and P. Skrzypczyński, "Large-scale lidar slam with factor graph optimization on high-level geometric features," *Sensors*, vol. 21, no. 10, p. 3445, 2021. IF: 3.847) można przyjąć wytłumaczenie tego faktu tym, że ta część badań była prowadzona równoległe do powstawania LioSAM i stąd porównanie do LOAM.

Pozostałe uwagi dyskusyjne i pytania, jakie chciałbym postawić Autorowi są podane poniżej:

Str. 23, fig. 3.3 - dlaczego liczba płaszczyzn i prostych jest taka sama (wynosi N)?

Str. 24, l. 15 - dlaczego wykorzystywana jest wartość 0.2 m jako graniczna dla określenia $N_{f,0.2}$ czemu ta wartość (jak i wiele innych w rozprawie) jest ustalana jako stała, czemu jest tak duża i czy jest zależna od dokładności skanera

Str. 25 l. 10, 12 „distance of 0.6 m”, „less than 0.7 m”, str. 26 l.3 “within 1 m” skąd te odległości? Dlaczego nie są one uzasadnione teoretycznie, zależne od dokładności skanera, odległości od skanera, dlaczego do analizy nie został wykorzystany rachunek prawdopodobieństwa? Takich nieuzasadnionych statych jest w pracy bardzo dużo.

Str. 29 l. 9 must exceed $0.7d_{e1}$ powinno być chyba $d_{e1}/0.7$?

Str. 29 fig. 3.10 Zamiast T_n powinno być T_i .

Str. 31 wzór (3.18) w drugim i czwartym wystąpieniu wektora błędu h powinien być on transponowany, podobny błąd w równaniu (3.19).

Str. 33 l.10 ($\omega_x, \omega_y, d_\pi$) Czy ta reprezentacja pozwala na przechowywanie informacji o zwrocie płaszczyzny? Jeżeli mamy ścianę widzianą z dwóch stron, to czy to będzie taka sama reprezentacja?

Str. 33 We wzorach (3.21) i (3.23) występuje niezgodność znaków i zamienione są indeksy.

Str. 35 l. 7 „given point cloud” - Czy w pierwszym kroku tworzenia kd-trees jako wejście jest brana cała chmura punktów C_i odpowiadająca jednemu skanowi czy też jest ona jakoś dzielona na mniejsze fragmenty?

Str. 36 l.24 Jeżeli jest spełniony warunek drugi to warunek trzeci będzie też zawsze spełniony, gdyż $d_n \leq d_e$.

Str. 58 równanie (4.15) – czy tak zdefiniowana funkcja błędu nie spowoduje, że trajektoria przesunięta w stosunku do rzeczywistej będzie również optymalna?

Str. 59. l.14 Dlaczego analizowany jest tylko błąd ATE a pomijany jest ARE? Obydwa definiują położenie.

Str. 63 fig. 5.4. Dlaczego ground truth na wykresach A i B są różne. Dla LOAM jest zachowany wyraźnie kąt prosty a dla planeLOAM widać zwichrowanie? Prawdopodobnie wykres A został źle przeskalowany.

Str. 71 dół – ta sama uwaga co ze strony 36. Dodatkowo różnica w oznaczeniach. Tam d_n, d_e oznaczały odległości konkretnych płaszczyzn, tu odległości maksymalne.

Str. 73 fig. 5.10. Dlaczego optymalizacja w wersji „pose-only” zamiast zmniejszać zwiększa błąd ATE w kolejnych iteracjach?

Str. 74 tab. 5.7. Dlaczego podawane jest aż tyle miejsc znaczących? Przy opisie niepewności powinno być podane 1-2 miejsc znaczących. Dodatkowo podpis jest pod tabelą zamiast nad a w tabeli brak jest podania jednostek (są one jedynie podane w podpisie do tabeli).

Str. 74 l.10 „Based on the presented results, it can be seen that the incorporation of uncertainty improves the performance for all calculated metrics.” Różnice na czwartym miejscu znaczącym nie pozwalają na postawienie takiego wniosku. Równie dobrze mogą być one wynikiem losowości zmian.

Str. 77 l. 7 od dołu. Dlaczego są takie duże progi dopuszczające uznanie dwóch pomiarów za ten sam obiekt? Przecież dokładność skanerów jest znacznie wyższa. Pozwala to na wprowadzanie błędnych danych do struktury mapy i SLAM.

Str. 102 fig. 6.12. Z wykresów wynika, że system GNSS+ORB-SLAM3 nadąża za sygnałem GNSS a tylko dla dużych błędów koryguje go przez OBR-SLAM3. Dlaczego poprawa jest tylko tam, a nie w całym obszarze? Klasyczne podejście dla dostępnego sygnału przyrostowego (OBR-SLAM3) i absolutnego (GNSS) jest filtr Kalmana. Czy były robione testy porównawcze do tego podejścia?

Jak wspomniałem wcześniej powyższe uwagi nie wpływają na moją pozytywną ocenę rozprawy, stanowią jedynie przyczynek do dyskusji i wskazanie ewentualnych możliwych korekt.

6. Podsumowanie

Podsumowując powyższą recenzję, z uwagi na fakt, że:

1. rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, jakim jest opracowanie 3 algorytmów: PlaneLOAM, MAD-BA i GALS rozwijających metodykę pracy systemów SLAM i poprawiających ich dokładność,
2. postawiona teza pracy została udowodniona w stopniu wystarczającym i maksymalnym dla takiego, jak w pracy, jej sformułowania, a cel pracy został zrealizowany,
3. doktorant wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej,

stwierdzam, że przedstawiona rozprawa doktorska spełnia wymagania ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce – stawiane rozprawom doktorskim i wnioskując do Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Leszek Podsędkowski

