

Prof. dr hab. inż. Jan Maciej Kościelny
Politechnika Warszawska
Wydział Mechatroniki
Instytut Automatyki i Robotyki
ul. Św. Andrzeja Boboli 8
02-525 Warszawa
tel. kom. [REDACTED]
e-mail: jan.koscielny@pw.edu.pl

Warszawa, 9.02.2024



PRZEWODNICZĄCY RADY DYSCYPLINY
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologie Kosmiczne
Z up. A-17
prof. dr hab. inż. Wojciech Szelaąg

Recenzja

osiągnięcia naukowego dr inż. Michała Ryszarda Nowickiego,
obejmującego cykl publikacji powiązanych tematycznie pod wspólną nazwą:
Wielosensoryczna lokalizacja robotów mobilnych
i jego aktywności naukowej w związku z postępowaniem habilitacyjnym
prowadzonym przez Radę Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologie Kosmiczne Politechniki Poznańskiej

1. Podstawa recenzji

Przedmiotem recenzji jest osiągnięcie naukowe oraz dorobek i aktywność naukowa dr inż. Michała Ryszarda Nowickiego w związku z postępowaniem habilitacyjnym w dziedzinie nauk technicznych, dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Podstawą wykonania recenzji jest pismo prof. dr hab. Inż. Wojciecha Szelaąga, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Poznańskiej informujące o powołaniu mnie w skład komisji habilitacyjnej i powierzeniu funkcji recenzenta w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego dr inż. Michałowi Ryszardowi Nowickiemu. Opinia została opracowana na podstawie dokumentacji wniosku, zawierającej kopię złożonych dokumentów.

2. Dane ogólne o Kandydacie

Pan dr inż. Michał Ryszard Nowicki jest absolwentem Politechniki Poznańskiej, gdzie:

- w 2013 r. ukończył studia inżynierskie na Wydziale Elektrycznym (kierunek: automatyka i robotyka, specjalność: robotyka),
- w 2014 r. ukończył studia inżynierskie na Wydziale Informatyki (kierunek: informatyka),
- w 2014 r. ukończył studia magisterskie na Wydziale Elektrycznym (kierunek: automatyka i robotyka, specjalność: robotyka),

- w 2018 obronił doktorat na Wydziale Elektrycznym, pt. *Methods for the fusion of quantitative and qualitative information using factor graph optimization for the simultaneous localization and mapping problem.*

Od 2018 r. jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym Politechniki Poznańskiej, początkowo w Instytucie Automatyki, Robotyki i Inżynierii Informatycznej, a następnie w Instytucie Robotyki i Inteligencji Maszynowej.

3. Ocena osiągnięcia naukowego

3.1. Charakterystyka osiągnięcia badawczego

Swoje osiągnięcie naukowe pt. *Wielosensoryczna lokalizacja robotów mobilnych* przedstawił w cyklu ośmiu publikacji. Pięć prac ukazało się w następujących czasopismach indeksowanych w bazie Journal Citation Reports (JCR): *IEEE Robotics and Automation Letters* (dwie prace, 200 pkt), *Measurement* (200 pkt), *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science* (100 pkt), *Robotics and Autonomous Systems* (140 pkt). Dwie z tych prac są autorstwa dr inż. Michała Ryszarda Nowickiego, a trzy współautorskie. Pozostałe trzy prace współautorskie zostały opublikowane w materiałach konferencji z listy MNiSZW, mających przypisaną liczbą punktów (140 pkt – jedna praca i 70 pkt – dwie prace). Sumaryczny współczynnik Impact Factor publikacji wchodzących w skład osiągnięcia wynosi 19,05, a sumaryczna liczba punktów 1120.

Oceniając dorobek habilitanta wyłącznie na podstawie danych biblio-metrycznych można stwierdzić, że jest on znaczący. Fakt opublikowania wyników badań w renomowanych, recenzowanych czasopismach świadczy o wysokim poziomie merytorycznym uzyskanych wyników. Zastrzeżenia budzą jednak deklaracje dotyczące procentowego udziału Autora w publikacjach oznaczonych jako [A4], [A5] oraz [A8]. Habilitant jest wykazany jako trzeci lub drugi ze współautorów, a jego udział jest najwyższy (ponad dwukrotnie większy niż poprzedzających go współautorów). Wymaga to wyjaśnienia.

Problematyka badań prowadzonych przez Habilitanta dotyczy autonomicznych robotów mobilnych. Autor ukierunkował swoje prace na zagadnienia percepcji i lokalizacji robotów z wykorzystaniem wizyjnych układów wielosensorycznych. Współczesne układy sensoryczne zawierają kamery RGB, LiDARy, radary oraz jednostki pomiaru orientacji IMU (ang. Inertial Measurement Unit). Równoczesne wykorzystanie wielu sensorów wizyjnych wymaga dokładnej kalibracji przestrzennej i czasowej pomiarów w celu uzyskania spójnego obrazu otaczającego środowiska. Obszarem badań są zagadnienia kalibracji kamer RGB oraz nowoczesnych obrotowych LiDAR-ów 3D, a także problem poprawy wydajności zestawu sensorycznego w docelowej aplikacji, zamiast poszukiwania najdokładniejszej transformacji geometrycznej. Rozwiązanie problemów percepcji i lokalizacji ma istotne znaczenie dla właściwej realizacji zadań planowania trasy i sterowania autonomicznego robota. Istotnym obszarem badań Habilitanta jest system lokalizacji miejsc, na podstawie obrazów RGB

i chmur punktów z LiDAR-ów 3D. Prace dotyczą także lokalizacji robotów z wykorzystaniem ograniczonych danych sensorycznych, w przypadku, gdy kamera i LiDAR 3D są niedostępne.

Należy podkreślić, że Autor proponuje rozwiązania dla rzeczywistych scenariuszy testowych: autobusu elektrycznego dokującego do ładowarki elektrycznej lub robotów koczujących, które do rozpoznawania środowiska wykorzystują jedynie sygnały haptyczne. Ukierunkowanie badań Habilitanta na rzeczywiste problemy robotyki mobilnej uważam za trafne i ambitne.

3.2. Ocena osiągnięcia badawczego

Znaczący wkład osiągnięć Habilitanta w rozwój robotyki mobilnej polega na wykorzystaniu zaawansowanych struktur głębokich sieci neuronowych do przetwarzania sygnałów z wielosensorowych systemów wizyjnych robotów mobilnych na potrzeby kalibracji czasoprzestrzennej, wizyjnego pozycjonowania, rozpoznawania miejsc oraz lokalizacji robotów z wykorzystaniem pomiarów haptycznych. W szczególności dorobek Habilitanta obejmuje opracowanie następujących metod:

- *Metody i oprogramowania do dokładnej kalibracji czasoprzestrzennej kamer RGB i nowoczesnych obrotowych LiDAR-ów 3D.*

Osiągnięcie to jest prezentowane w autorskiej publikacji [A1] w czasopiśmie *IEEE Robotics and Automation Letters*. Elementy układu sensorycznego są wspólnie sztywno zamontowane. Procedura kalibracji polega na ruchu wzorca kalibracyjnego, który powinien być w sposób ciągły obserwowany równocześnie przez kamerę i LiDAR 3D. Przy formułowaniu zagadnienia kalibracyjnego jako problemu optymalizacyjnego stosowano indywidualne znaczniki czasu dla każdego punktu chmury 3D oraz wyznaczano równanie płaszczyzny dla każdego znacznika czasu. Do rozwiązania problemu stosowano algorytm Levenberga-Marquardta z odporną funkcją kosztu Hubera. Oryginalne podejście do rozwiązania problemu kalibracji zapewnia czasoprzestrzenną kalibrację, dzięki nowatorskiej interpolacji krzywych b-sklejanych dla równań płaszczyzn wykorzystujących minimalną reprezentację w algebrze Liego. Rozwiązanie zapewnia powtarzalne i dokładne wyniki, a wymaga jedynie dostępności znacznika kalibracyjnego i krótkiej sesji kalibracyjnej.

- *Metody kalibracji systemów sensorycznych na podstawie danych dla potrzeb wizyjnego pozycjonowania autobusów elektrycznych.*

Autor uczestniczył w opracowaniu systemu wsparcia kierowców ADAS (ang. Advanced Driver Assistance System). W skład systemu ADAS wchodzi moduł lokalizacyjny autorstwa Habilitanta oraz moduły planowania i interfejsu człowiek-maszyna. Habilitant opracował oryginalną i nowatorską metodę kalibracji systemów sensorycznych, polegającą na zwiększaniu dokładności zestawu sensorycznego w aplikacji docelowej, zamiast na znalezieniu najdokładniejszej transformacji geometrycznej. Celem było uzyskanie takiej dokładności przetwarzania bazującego na danych z kamery, aby odpowiadała ona dokładności systemu osiąganą za pomocą DGPS- Differential Global Positioning System w idealnych warunkach. Podejście to okazało się kluczowe dla uzyskania wymaganej

wysokiej dokładności systemu lokalizacji. Pomysł prezentowany jest w autorskiej publikacji [A3] w czasopiśmie *Measurement*.

Koncepcja powyższa została zastosowana w systemie wspomagania kierowców autobusów podczas próby dokowania pantografu zamontowanego na autobusie do ładowarki elektrycznej zamontowanej na maszcie. Publikacja współautorska [A2] w czasopiśmie *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science* (AMCS) prezentuje podejście prowadzące do zwiększenia dokładności systemu z użyciem procedury kalibracyjnej.

Zbadano dwa własne podejścia do wykonywania detekcji punktów kluczowych oraz porównano je z metodami znanymi z literatury. Wykazano, że oryginalna metoda wykorzystująca mapy ciepła do wykrywania punktów kluczowych (MRHKN) znacznie dokładniej określa zarówno pozycję, jak i orientację kamery w stosunku do pozostałych metod.

Autor przeprowadził także kompleksowe badania porównawcze trzech różnych konfiguracji układów kalibracyjnych w aspekcie błędów kalibracji: klasycznej kalibracji (CC), która wykorzystuje publicznie dostępne oprogramowania do kalibracji oraz model CAD; kalibracji wspomaganej przez człowieka (HAC) oraz automatycznej kalibracji (AC). Kalibracja jest sformułowana jako gradientowa procedura optymalizacji Levenberga - Marquardta. Ocenę opracowano na podstawie funkcji skumulowanego rozkładu błędów. Pokazano, że zarówno kalibracja wspomagana przez człowieka (HAC), jak i autokalibracja (AC), zapewniają większą dokładność niż klasyczne podejście do kalibracji (CC).

Nowatorskie podejście do problemu kalibracji systemów sensorycznych polegające na zwiększaniu wydajności zestawu sensorów w aplikacji docelowej jest znaczącym osiągnięciem Habilitanta. Pomimo, że nie jest rozwiązaniem uniwersalnym, to jednak może być użyteczne w wielu aplikacjach praktycznych.

- *Metody rozpoznawanie miejsc na podstawie wyglądu przy użyciu kamery i LiDARu 3D*

Metoda jest wynikiem badań porównawczych systemów rozpoznawania miejsc opartych na kamerach RGB, LiDAR-ach oraz połączeniu kamery z LiDAR-em 3D w warunkach rzeczywistych. Celem tych badań było określenie lokalizacji (położenia) na podstawie pojedynczego zdjęcia lub jednej chmury punktów 3D na określonym i znanym obszarze, bez wykorzystywania informacji o wcześniejszej lokalizacji. Eksperymenty przeprowadzono w różnych warunkach pogodowych, badając ich wpływ na działanie systemu rozpoznawania miejsc. Na wejście sieci neuronowej podawano dane z sensorów, a na wyjściu uzyskiwano liczbowy deskryptor określający lokalizację.

Wynikiem badań jest system rozpoznawania miejsc wykorzystujący kamerę i LiDAR 3D. System ten osiągnął wyższą poprawność rozpoznania miejsc w porównaniu z wynikami uzyskanymi na podstawie pojedynczych sensorów, we wszystkich analizowanych warunkach pogodowych. Wskazuje to na celowość rozpoznawanie miejsc z wykorzystaniem odpowiedniego zbioru sensorów. Uzyskane wyniki były tematem publikacji [A4]

w materiałach *16th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision*, z listy CORE A.

Nieco odrębnym obszarem badań nad rozpoznawaniem miejsc były prace, w których wykorzystywano jedynie dane LiDAR-u, dążąc do określenia najbardziej odpowiedniej reprezentacji chmury punktów 3D. Wykorzystano architekturę sieci MinkLoc3D, która bazuje na lokalnej sieci ekstrakcji cech wykorzystującej rzadkie konwolucje 3D z warstwą GeM (generalized-mean pooling layer). Efektem badań była współautorska publikacja [A5] w czasopiśmie *IEEE Robotics and Automation Letters*.

- *Metody haptycznej lokalizacji robota kroczącego*

Innym kierunkiem prac Habilitanta były badania dotyczące wykorzystania dodatkowej informacji z pomiarów haptycznych robota kroczącego ANYMAL, wyposażonego w sensoryczne stopy (czujniki siły i momentu). W eksperymentach wykorzystano osiem różnych rodzajów terenu. Wyniki tych badań były tematem trzech publikacji z cyklu ośmiu prac stanowiących osiągnięcie naukowe dr inż. Michała Ryszarda Nowickiego.

W publikacji współautorskiej [A6] w czasopiśmie *Robotics and Autonomous Systems* przedstawiona została oryginalna architektura do efektywnej wielosensorycznej klasyfikacji terenu z użyciem transformerów do zastosowań w lokalizacji. Kolejne dwie publikacje [A7] i [A8] dotyczące haptycznej lokalizacji robota kroczącego stanowiły kontynuację i rozwinięcie powyższej publikacji. Ukazały się w materiałach konferencji z listy CORE B. W [A7] przedstawiono projekt i implementację wydajnego rozwiązania do lokalizacji robota kroczącego z wykorzystaniem rzadkich danych haptycznych, bez jawnej listy klas terenu [A7]. Natomiast w [A8] podano dalsze modyfikacje rozwiązania stanowiące pierwszą reprezentację dla celów lokalizacji haptycznej uzyskaną w wyniku uczenia nienadzorowanego z wykorzystaniem błędu trójkowego. Rozwiązanie o nazwie HL-ST jest unikatowym rozwiązaniem, które może wspierać autonomię robotów kroczących w trudnych, rzeczywistych zastosowaniach.

- *Podsumowanie*

Stwierdzam, że opracowane przez Habilitanta metody są rozszerzeniem znanych rozwiązań w zakresie lokalizacji za pomocą systemów wielosensorycznych. Wskazują sposoby łączenia danych z systemów wielosensorycznych, przy jednoczesnym zapewnieniu pożądanej dokładności. Powstały w wyniku dogłębnej analizy badanych zagadnień oraz mają duży potencjał aplikacyjny. **Uważam, że wyniki badań Habilitanta wnoszą istotny wkład do rozwoju robotyki mobilnej, a tym samym dyscypliny naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne i mają potencjalnie duże znaczenie dla rozwoju współczesnej techniki.**

4. Ocena aktywności naukowej

Dorobek naukowy dr inż. Michała Ryszarda Nowickiego obejmuje:

- 41 publikacji, w tym 6 z listy JCR przed doktoratem,
- 23 publikacje, w tym 12 w czasopismach z listy JCR (sumaryczny IF – 53,983) po uzyskaniu doktoratu w roku 2018.

Tempo rozwoju naukowego Habilitanta jest imponujące. Jego dorobek naukowy jest wybitny, o czym świadczą: bardzo wysoki Indeks Hirscha wg WoS - 13, Scopus - 14, Google Scholar - 17 oraz liczba cytowań wg WoS - 565, SCOPUS – 671, Google Scholar – 999.

Wysoka aktywność i pozycja naukowa Habilitanta jest udokumentowana: recenzowaniem 49 publikacji w czasopismach międzynarodowych, kierowaniem 4 projektami badawczymi i udziałem w 7 innych pracach badawczych, uczestnictwem w 15 międzynarodowych konferencjach naukowych oraz trzema stażami w zagranicznych ośrodkach naukowych (w 2013 r. w Karlsruhe w Niemczech, w 2017 r. na Uniwersytecie w Saragossie w Hiszpanii oraz w 2022 r. w Lozannie w Szwajcarii na Swiss Federal Institute of Technology at Lausanne). Ponadto dr inż. Nowicki był uczestnikiem szkoły letniej „Summer School 2015: Aerospace Information Technology”, w University of Würzburg. Na kilku innych naukowych wyjazdach zagranicznych prezentował wyniki swoich badań, m.in. na Uniwersytecie w Cambridge w Wielkiej Brytanii. Aktualnie współpracuje z wieloma renomowanymi ośrodkami naukowym, w tym Uniwersytetem w Oxfordzie, ETH w Zurychu, Uniwersytetem w Edynburgu, Uniwersytetem w Pizie, Politechniką Warszawską, Politechniką w Graz, FZI w Karlsruhe i Czech Technical University w Pradze, a także KGHM CUPRUM.

Aktywność naukowa Habilitanta oceniam jako wyróżniającą.

5. Wniosek końcowy

Na podstawie analizy cyklu publikacji powiązanych tematycznie pod wspólną nazwą: *Wielosensoryczna lokalizacja robotów mobilnych* bardzo wysoko oceniam osiągnięcie naukowe dr inż. Michała Ryszarda Nowickiego. Wykorzystał on możliwości metod sztucznej inteligencji, w szczególności nowoczesne struktury głębokich sieci neuronowych do rozwiązania konkretnych problemów robotyki mobilnej, w szczególności: wielosensorycznej kalibracji czasoprzestrzennej, wizyjnego pozycjonowania oraz rozpoznawania miejsc. Wyniki tych prac stanowią znaczący wkład w rozwój robotyki mobilnej wchodzącej w zakres dyscypliny naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

Uważam, że spełnione są wymagania zawarte w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r. poz. 742), niezbędne do nadania dr inż. Michałowi Ryszardowi Nowickiemu stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk technicznych. Wnoszę zatem do Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.

