dr hab. inż. Andrzej Typiak, prof. WAT
Wojskowa Akademia Techniczna
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Instytut Robotów i Konstrukcji Maszyn
ul. gen S. Kaliskiego 2
00-908 Warszawa
andrzej.typiak@wat.edu.pl

Warszawa 20 marzec 2026 r.

Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
komórka organizacyjna Rada Dyscypliny AEEiTK
wpłynęło dnia 27.03.2026
nr wpływu .....
załączniki ..... podpis .....

RECENZJA
rozprawy doktorskiej
Autor: mgr. inż. Mehmed KARA

Temat rozprawy w j. angielskim: „ Decision-Making and Risk-Aware Navigation in Mobile Robotics: From Path Planning to Emergency Response"

Promotor: prof. dr. hab. Andrzej Maciej SKULIMOWSKI

Podstawą opracowania recenzji rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. **Mehmeda KARY** było pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo-Hutniczej Pana dr hab. inż. Ryszarda SROKI, prof. uczelni z dn. 15.12.2025 roku.

1. Ocena aktualności wybranego tematu

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy doboru trasy dla robota mobilnego. We współczesnej nawigacji robotów mobilnych efektywność jest definiowana głównie przez dobór trasy optymalnej ze względów energetycznych lub czasowych. Zdolność robotów do podejmowania decyzji w oparciu o kontekst (ang. *context-aware decision-making*) staje się kluczowym kierunkiem rozwoju robotyki, przesuwając ciężar z prostego wykonywania zaprogramowanych ruchów (automatyzacji) w stronę autonomicznej współpracy i inteligencji. Pozwala ona na efektywne działanie w nieustrukturyzowanych, dynamicznie zmieniających się środowiskach.
Przedstawiona do recenzji rozprawa analizuje kompromisy między omijaniem przeszkód a akceptacją kontrolowanego ryzyka w celu poprawy wydajności operacyjnej autonomicznych robotów mobilnych. Podczas gdy konwencjonalne systemy robotyki mobilnej traktują wszystkie przeszkody jako zagrożenia, które należy omijać, Doktorant zaproponował nowe podejście oparte na uczeniu maszynowym, umożliwiające oszacowanie potencjalnych szkód wynikających z kolizji i określenie na tej podstawie, czy unikanie przeszkód jest rzeczywiście konieczne. Zaproponowana metodologia łączy modele uczenia nadzorowanego, wytrenowane na podstawie symulowanych danych kolizyjnych, z klasycznymi algorytmami planowania ścieżek. W rezultacie otrzymał system zdolny do

adaptacji zachowania nawigacyjnego w zależności od rodzaju przeszkody, potencjalnego ryzyka i kontekstu misji. Hybrydowe podejście nie tylko minimalizuje trasę robota, ale również oszczędza energię i czas, które są kluczowe w złożonych zadaniach.

2. Cel realizowanej rozprawy doktorskiej i uzasadnienie przyjętej koncepcji badań

Zawarty w rozdziale pierwszym rozprawy zatytułowanym WPROWADZENIE materiał poświęcony jest w głównej mierze opisowi materiału zawartego w kolejnych rozdziałach dysertacji oraz zawiera tezę: „Planowanie trasy robota formułowane jako wyraźny kompromis między kosztem odchylenia (czasem/energią) a oczekiwanymi uszkodzeniami spowodowanymi kontaktem z przeszkodą. Zamiast typowego paradygmatu unikania wszystkich przeszkód, planista decyduje, czy unikać przeszkody, czy je pokonać, minimalizując świadomy ryzyka cel, który obejmuje zarówno efektywność, jak i szkody. To poszerza zastosowanie metod planowania tras w nieustrukturyzowanym, rzeczywistym otoczeniu".

Po nakreśleniu tła problemowego, gdzie przy omijaniu przeszkody może następować znaczny wzrost całkowitej długości ścieżki i zużycia energii, co potencjalnie ogranicza ich zdolność do realizacji misji w krytycznych warunkach Doktorant sugeruje zastosowanie, w czasie rzeczywistym, ocenę wielkości ryzyka. Taki model pozwoliłby podejmować świadome decyzje unikać przeszkody czy ją pokonywać, opierając się na optymalizacji decyzyjnej, która rozważa potencjalne koszty pokonania przeszkody względem kosztów zmiany trasy, czyli zwiększonego nakładu czasu i energii.

Głównym celem rozprawy jest opracowanie nowatorskiego systemu podejmowania decyzji, który pozwoli robotom poruszać się inteligentnie poprzez równoważenie efektywności trasy z potencjalnymi uszkodzeniami spowodowanymi kolizją. Cel ten dzieli się na trzy szczegółowe cele:

1. Sformalizowanie problemu optymalizacji poprzez zdefiniowanie funkcję kosztów, która jednocześnie minimalizuje czas podróży, zużycie energii oraz szacowane szkody po kolizji. Model ten zapewni matematyczne podstawy do porównania kosztów wydłużenia trasy z ryzykiem pokonania przeszkody.
2. Opracowanie modelu szacowania uszkodzeń poprzez wdrożenie modelu uczenia maszynowego, który dynamicznie przewiduje koszt uszkodzeń związany z kolizją z przeszkodą.
3. Zaprojektowanie i integrację modułu decyzyjnego działającego w czasie rzeczywistym. Polegać to ma na opracowaniu zunifikowanej funkcji decyzyjnej, która w czasie rzeczywistym dokona wyboru optymalnego działania poprzez porównanie szacowanych uszkodzeń z kosztem odchylenia od ścieżki. Ogólna skuteczność systemu będzie oceniana pod kątem czasu podróży, zużycia energii oraz liczby kolizji.

Naturalną kolejnością pisania rozprawy doktorskiej jest przedstawienie celu rozprawy po przeprowadzeniu literaturowej analizy zagadnienia i na podstawie wniosków z niej wynikających. Doktorant analizę literatury przedstawił po określeniu celu rozprawy co jest zaburzeniem naturalnego ciągu myślowego.

3. Ocena ogólnej wiedzy teoretycznej Doktoranta

Bazując na treściach zawartych w rozprawie należy wysoko ocenić wiedzę teoretyczną Doktoranta. W pierwszym etapie pracy dokonał analizy wyzwań w wykrywaniu przeszkód oraz przedstawił metody wykrywania przeszkód, unikania kolizji, szacowania uszkodzeń oraz podejmowania decyzji dla autonomicznych robotów. W pracy skupił się na modalności detekcji, algorytmach klasycznych i opartych na uczeniu się, oraz studiach przypadków z robotyki naziemnej i kosmicznej.

Wskazał na rosnące znaczenie technik predykcyjnych i opartych na nauce w nawigacji i podejmowaniu decyzji. Szczególną uwagę poświęcił głębokiemu uczeniu i uczeniu ze wzmocnieniem, które są stosowane w celu poprawy odporności w środowiskach nieustrukturyzowanych. Wskazał, że metody te uzupełniają tradycyjne podejścia, ale nadal napotykają wyzwania związane z kosztami obliczeniowymi, wymaganiami dotyczącymi danych oraz uogólnieniami z uwagi na nieprzewidziane warunki.

Analizując badania nad szacowaniem uszkodzeń Doktorant wykazał, że systemy sterujące muszą brać pod uwagę nie tylko obecność przeszkód, ale także stopień potencjalnych interakcji. Odzwierciedla to rosnący nacisk na autonomię świadomą bezpieczeństwa, gdzie wybory nawigacyjne równoważą sukces zadań z integralnością systemu.

Ponadto wskazał w rozprawie, że pomimo znacznych postępów, rozwój w pełni zintegrowanych systemów czasu rzeczywistego napotyka na wiele trudności. Badania terenowe i misje łazików planetarnych ujawniają trwałe ograniczenia w percepcji, adaptacji i zarządzaniu zasobami w warunkach niepewności. Te ograniczenia wpływają zarówno na niezawodność sprzętu, jak i strategie kontroli.

Obiecującym kierunkiem jest stosowanie hybrydowych podejść łączących planowanie oparte na modelu z adaptacją opartą na uczeniu się. Proponowane przez Doktoranta połączenie symulowanego szkolenia z weryfikacją w rzeczywistym świecie jest sposobem na zniwelowanie luki między prototypami badawczymi a systemami operacyjnymi.

4. Ocena umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta

Recenzowana rozprawa ukierunkowana jest na poprawę nawigacji robotów mobilnych poprzez rozwiązywanie wyzwań związanych z planowaniem tras i zarządzaniem kryzysowym.

Kluczowym wkładem Doktoranta jest wprowadzenie mechanizmu decyzyjnego w celu unikania przeszkód. Opracowana metoda nie bazuje na stałych trasach czy statycznych wytycznych, lecz ocenia dane środowiskowe w czasie rzeczywistym i szybko modyfikuje decyzje nawigacyjne. Poprzez uwzględnianie różnych aspektów takich jak rodzaj przeszkody i potencjalne uszkodzenia, system umożliwia bardziej odporne i kontekstowo wrażliwe planowanie ruchu. Ta strategia usprawnia autonomiczną nawigację w nieprzewidywalnych i zmieniających się warunkach, zapewniając robotom efektywną reakcję na nieoczekiwane opóźnienia spowodowane znikomymi przeszkodami.

Kolejnym ważnym wkładem tej pracy jest opracowanie ogólnych zasad planowania kryzysowego. Ponieważ środowiska robotyczne mogą się znacznie różnić pod względem struktury, system ten nie jest powiązany z konkretnymi ustawieniami. Ma natomiast na celu wsparcie planowania reagowania kryzysowego poprzez integrację cech środowiskowych z procesem podejmowania decyzji. Ta struktura umożliwia zastosowanie systemu zarówno w uporządkowanych przestrzeniach wewnętrznych, jak i w nieprzewidywalnych warunkach zewnętrznych. Wzmacnia rolę systemów autonomicznych w krytycznych sytuacjach, gdzie gotowość i odporność są niezbędne.
System podejmowania decyzji został zweryfikowany poprzez wielopoziomową symulację. Chociaż testy przeprowadzono w kontrolowanych warunkach, wyniki wykazały poprawę efektywności nawigacji i świadomości kontekstu.
Przeprowadzone badania stanowią podstawę do budowy systemów robotycznych, które są bardziej elastyczne i lepiej przygotowane na dynamiczne i niepewne sytuacje. Proponowane rozwiązania dotyczą zarówno aspektów technicznych, jak i wyzwań strategicznych poprzez modułowy i testowalny projekt.

5. Ocena metody badawczej i oryginalnego dorobku Autora

W ramach realizacji pracy doktorskiej Doktorant zaproponował metodologię zapewniającą integrację metaheurystycznego planera ścieżki z oceną przeszkód opartą na uczeniu się. Polega ona na formalizowaniu problemu decyzyjnego (omijanie przeszkody lub przejeżdżanie przez nią), następnie dokonywany jest opis generowanych danych i przetwarzanie cech, aby uzyskać kategorie przeszkody. Następnie trenowany jest model regresji do oszacowania kosztów oraz łączy te elementy z optymalizacją rojem cząstek (PSO) do planowania trasy.

Zaproponowana metoda badawcza składa się z siedmiu etapów i obejmuje:

1. Ocenę zintegrowanego systemu nawigacyjnego łączącego planer oparty na PSO z wyuczonym szacowanym szacunkiem szkód, określenia hipotez, zmiennych oraz protokołem oceny.
2. Analizę każdej przeszkody, biorąc pod uwagę takie aspekty jak rozmiar potencjalnej szkody. Gdy szacowane uszkodzenia są niskie, robot może kontynuować obecną trasę zamiast jej unikać.
3. Rejestry kolizji zawierające szczegóły dotyczące wcześniejszych kolizji między robotem a przeszkodami. Te zapisy pomagają robotowi uczyć się na podstawie wcześniejszych interakcji, pozwalając ocenić nasilenie możliwych skutków. Wcześniejsze rekordy interakcji są wykorzystywane wyłącznie do treningu i weryfikacji estymatora. Ich wpływ na jakość decyzji jest następnie oceniany za pomocą symulacji kontrolowanych.
4. Analizę głównych komponentów (PCA) służącą do redukcji wymiarowości, mającą na celu uproszczenie złożonych zbiorów danych przy jednoczesnym zachowaniu istotnych informacji. W planowaniu tras PCA pomaga określić najważniejsze elementy wpływające na wybory nawigacyjne. Poprzez zmniejszenie liczby zmiennych, PCA zwiększa efektywność obliczeniową i zwiększa zdolność robota do

obsługi danych podczas szacowania uszkodzeń. Ta metoda pomaga zidentyfikować rodzaje przeszkód w surowych danych.

5. Zastosowanie metody łokcia jako wstępnej strategii analizy podziału na klastry, której celem jest określenie idealnej liczby klastrów w zbiorze danych. Wybór największej liczby klastrów pozwala robotowi efektywniej kategoryzować przeszkody, zwiększając jego zdolności decyzyjne.
6. Opracowanie algorytmu podejmowania decyzji zapewniającego planowanie ścieżki i podejmowanie decyzji. Ocenia, czy robot powinien unikać lub pokonywać przeszkodę, biorąc pod uwagę aktualne dane podczas podróży. Algorytm uwzględnia elementy takie jak wcześniejsze kolizje, potencjalne uszkodzenia oraz efektywność podróży.
7. Nauczanie poprzez zastosowanie dwóch różnych technik uczenia maszynowego klasteryzację i regresję. Klasteryzacja polega na grupowaniu podobnych elementów według wspólnych cech. W dziedzinie nawigacji robotycznej metoda ta pomaga grupować przeszkody według ich siły uderzenia, właściwości materiałowych lub częstotliwości ich napotykania. Taka klasyfikacja wspiera algorytm decyzyjny w przyjmowaniu różnych strategii nawigacji, w zależności od rodzaju przeszkody. Drugą jest wielokrotna regresja liniowa, która jest techniką statystyczną służącą do modelowania zależności między jedną zmienną zależną a dwiema lub więcej zmiennymi niezależnymi. Szacuje, jak zmiany zmiennych niezależnych są powiązane ze zmianami zmiennej zależnej, dopasowując równanie liniowe do obserwowanych danych.

Zaproponowana metodyka oparta jest na uczeniu się proponowanego algorytmu nawigacyjnego. Zaczynając od surowych danych kolizji, redukcja wymiarowości za pomocą PCA umożliwiła bardziej efektywną reprezentację cech przeszkód, przygotowując podstawy pod uczenie maszynowe. Na tej podstawie zastosowano klasteryzację K-Means do grupowania przeszkód w kategorie o podobnych profilach strukturalnych i związanych z ryzykiem, podczas gdy MLR dostarczał ilościowej oceny potencjalnych szkód. Te dwa modele się uzupełniają: klasteryzacja oferuje heurystyki decyzyjne na wysokim poziomie, a regresja dostarcza precyzyjnych, w czasie rzeczywistym ocen ryzyka kolizji.

Znaczenie tego podejścia tkwi w jego wszechstronności. Eksperymentalne testy w symulowanych środowiskach wykazały, że robot potrafi radzić sobie z szerokim zakresem scenariuszy przeszkód, podejmując świadome i kontekstowo wrażliwe decyzje. System ten przyczynia się więc do bezpieczniejszej, bardziej energooszczędnej i bardziej misyjnej nawigacji robotycznej.

Podsumowując, przedstawiona metodyka stanowi podstawę do autonomicznego podejmowania decyzji. Zapewnia zarówno podstawy teoretyczne, jak i praktyczne mechanizmy niezbędne robotom do uczenia się na podstawie doświadczenia, uogólniania między środowiskami oraz optymalizacji nawigacji w czasie rzeczywistym.

6. Niedociągnięcia dostrzeżone w rozprawie i problemy dyskusyjne

Rozprawa spełnia wszystkie kryteria formalne, stawiane pracom doktorskim, jednak zawiera także pewne niedociągnięcia. Autor w kilku miejscach nie uniknął niedopowiedzeń, oraz błędów edytorskich. Do najczęstszych należą: brak kropki na końcu numeru w numeracji kolejnych punktów pracy.

Wykaz stosowanych w rozprawie symboli i wykaz skrótów jest podzielony na dwie części i jest w dwóch punktach rozprawy (strona XV i pkt. 1.6)

Odnośnie do układu rozprawy to występują pewne mankamenty nadmiarowe związane z układem pracy. Nieuzasadnione jest wprowadzenie podpunktów obejmujących często niecałą stronę maszynopisu a będących składowymi tego samego zagadnienia. Można połączyć (scalić) w ramach punktu 1.4 podpunkty 1.4.1 i 1.4.2. Analogicznie można połączyć podpunkty 2.5.1, 2.5.2, 2.5.3, oraz 3.3.1, 3.3.2 a także (5.3.1, 5.3.2, 5.3.3), (5.7.1 – 5.7.7) i (7.4.1, 7.4.2). Nie jest uzasadnione także wyodrębnianie pojedynczych podpunktów 5.2.1 i 7.1.1.

Odnośnie do podpisywania tabel to opis tabeli umieszczany jest nad tabelą (Tabela 4.1).

Powyższe uwagi nie ujmują wartości merytorycznej rozprawy, szczególnie na tle przedstawianych w rozprawie interesujących i nowatorskich, możliwych do skomercjalizowania, wyników badań naukowo-technicznych.

Lektura rozprawy wykazała pewne problemy, które zdaniem recenzenta wymagają uzupełnienia oraz nasunęła pewne uwagi problemowe, nad którymi chciałbym przeprowadzić dyskusję w czasie obrony.

Zagadnienia odnośnie do których oczekuję odpowiedzi pisemnych i dyskusji w trakcie obrony:

1. Prowadzone w pracy rozważania zakładały działanie robota w idealnym środowisku. Czy analizował Pan jak opóźnienia toru komunikacyjnego wpłynęłyby na działanie systemu a także jakiego rodzaju czujniki rozpoznania otoczenia preferowałby Pan z uwagi na ograniczoną przepustowość kanału transmisyjnego
2. Mając na względzie działania rzeczywistego robota w różnorodnym (często nieustrukturyzowanym lub nawet wrogim) środowisku jak rozmieścić istotne elementy (np. centra obliczeniowe) zaproponowanego systemu by zapewnić jego prawidłowe działanie?
3. W punkcie 4.4. „Ocena metod nawigacji" podaje Pan, że dokonał analizy algorytmów z uwzględnieniem dwóch głównych czynników: długość ścieżki oraz czasu przetwarzania. Podaje Pan, że długość ścieżki jest kluczowa, ponieważ pokazuje jej efektywność, natomiast czas przetwarzania jest istotny przy podejmowaniu natychmiastowych decyzji podczas nawigacji. Zdaniem recenzenta oba te czynniki dla rzeczywistych robotów mogą okazać się nie w pełni miarodajne. O ile można przyjąć założenie, że czas przetwarzania dla wszystkich rozważanych algorytmów w równym stopniu zależy od mocy obliczeniowej użytych komputerów i zastosowanego algorytmu przetwarzania o tyle czas niezbędny na przejazd zaplanowaną ścieżki jest zdeterminowany zarówno kształtem ścieżki jak też rozmiarami robota oraz rodzajem

jego układów napędowego (kołowy, gąsienicowy itp.) a także skrętu. Proszę o przeprowadzenie analizy algorytmów dla środowisk 1 i 2 dla robota czterokołowego ze skrętem burtowym.

4. Na rysunku 5.7 przedstawił Pan trasę, gdy robot przejeżdża przez przeszkodę. Jakie są wymagania względem robota by mógł on „pokonać" daną przeszkodę.
5. W punkcie 5.6 Aby zidentyfikować naturalne grupy w rejestrach kolizji, zastosował Pan metodę łokcia. Proszę uzasadnić swój wybór, na podstawie analizy wybranych niehierarchicznych metod analizy skupień.
6. W rozdziale 7.5. podaje Pan, że wyniki eksperymentalne wykazały, że proponowany framework wspomagany ML zapewnia wyraźną przewagę nad tradycyjnymi strategiami planowania ścieżek. Integrując modelowanie predykcyjne z nawigacją, system pozwala robotom przewidywać potencjalne uszkodzenia i podejmować bardziej świadome decyzje dotyczące unikania lub pokonywania przeszkód. To znaczące odejście od metod opartych na regułach, które traktują wszystkie przeszkody równie krytycznie, często prowadząc do nieefektywności. Wyniki potwierdzają zarówno mocne strony, jak i ograniczenia proponowanego podejścia. Proszę o określenie zarówno mocnych stron jak i ograniczeń tego rozwiązania.

7. Końcowa ocena rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Mahmeda KARY mieści się w dyscyplinie naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Moja ocena pracy jest pozytywna, pomimo pewnej liczby uwag. Praca zawiera szereg nowych interdyscyplinarnych wyników poznawczych.

Rozprawa stanowi również wkład do rozwoju autonomii robotów w nieprzewidywalnych i dynamicznie zmieniających się warunkach, poprzez integracje klasycznych algorytmów planowania ścieżek z oceną ryzyka oparta\ą na danych obserwacyjnych, dostarczając praktycznych narzędzi dla zastosowań w logistyce przemysłowej, rolnictwie i reagowaniu kryzysowym.

Recenzowana rozprawa spełnia warunki dla rozpraw doktorskich określone w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.). Wnoszę zatem o dopuszczenie rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Mahmeda KARY, przez Radę Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, Akademii Górniczo-Hutniczej, do dalszego procedowania.

Warsaw 20 March 2026

dr hab. inż. Andrzej Typiak, professor of the Military University of Technology

Military University of Technology

Faculty of Mechanical Engineering

Institute of Robotics and Machine Construction

ul. Gen. S. Kaliskiego 2

00-908 Warszawa

andrzej.typiak@wat.edu.pl

[stamp:] AGH University of Science and Technology
Organisational unit of the Council of the Discipline of
Automation, Electronics, Electrical Engineering and Space Technologies
received on 4 March 2026
No.
attachments signature

REVIEW

of doctoral dissertation

by mgr inż. Mehmed KARA

Dissertation title in English: "Decision-Making and Risk-Aware Navigation in Mobile Robotics: From Path Planning to Emergency Response"

Supervisor: prof. dr. hab. Andrzej Maciej SKULIMOWSKI

The basis for the review of the doctoral dissertation of Mr mgr inż. **Mehmed KARA** is the paper from the Head of the Council of the Discipline of Automation, Electronics, Electrical Engineering and Space Technologies of the AGH University of Science and Technology, dr hab. inż. Ryszard SROKA, professor of the university, dated 15/12/2025.

1. Evaluation of the topicality of the chosen topic

The reviewed dissertation concerns route selection for a mobile robot. In modern mobile robot navigation, efficiency is mainly defined by the selection of the optimal route for energy or time reasons. The context-aware decision-making of robots is becoming a key direction in the

development of robotics, and it shifts focus from simply performing programmed movements (automation) towards autonomous collaboration and intelligence. It allows for effective operation in unstructured, dynamically changing environments.

The dissertation submitted for review analyses the trade-offs between obstacle avoidance and controlled risk acceptance to improve the operational performance of autonomous mobile robots. While conventional mobile robotics systems treat all obstacles as threats to be avoided, the author of this doctoral dissertation proposed a new machine learning-based approach in order to estimate the potential damage resulting from collisions and to determine based on this whether obstacle avoidance is actually necessary. The proposed methodology combines supervised learning models trained on simulated collision data with classical path planning algorithms. The result was a system capable of adapting navigational behaviour depending on the type of obstacle, potential risk and mission context. Not only does this hybrid approach minimise the robot's route, but it also saves energy and time, which are "crucial" in complex tasks.

2. Purpose of the doctoral dissertation and justification of the adopted research concept

The material contained in the first chapter of the dissertation, entitled INTRODUCTION, is primarily devoted to a description of the content of the following chapters of the dissertation and it includes the following thesis: "Robot path planning formulated as a clear trade-off between the cost of deviation (time/energy) and the expected damage caused by contact with an obstacle. Instead of the typical paradigm of avoiding all obstacles, the planner decides whether to avoid an obstacle or overcome it by minimising a risk-conscious objective that includes both efficiency and damage. This expands the application of route planning methods in an unstructured, real-world environment."

Following the outlining of the background, where a significant increase in total path length and energy consumption can occur when bypassing an obstacle, which potentially limits their ability to complete the mission under critical conditions, the doctoral candidate suggests assessing the extent of risk in real time. Such a model would allow informed decisions to be made to avoid or overcome an obstacle, based on decision optimisation which considers the potential cost of overcoming an obstacle against the cost of changing the route, or an increased time and energy expenditure.

The main objective of the dissertation is to develop an innovative decision-making system that allows robots to move smartly by balancing route efficiency with potential damage caused by collision. This objective is divided into three specific objectives:

1. Formalisation of the optimisation problem by defining a cost function which simultaneously minimises travel time, energy consumption and estimated post-collision damage. This model will provide a mathematical basis for comparing the cost of extending the route with the risk of overcoming the obstacle.
2. Development of a damage estimation model by implementing a machine learning model that dynamically predicts the cost of damage associated with a collision with an obstacle.
3. Design and integration of a decision-making module operating in real time. This involves the development of a unified decision function that will select the optimal action in real time by

comparing the estimated damage with the cost of deviating from the path. The overall effectiveness of the system will be assessed in terms of travel time, energy consumption and number of collisions.

The natural order of writing a doctoral dissertation is to present the purpose of the dissertation after conducting a literature analysis of the issue and based on the conclusions drawn from it. The doctoral candidate presented the literature analysis after defining the purpose of the dissertation, which disrupts the natural train of thought.

3. Evaluation of the general theoretical knowledge of the doctoral candidate

Based on the content of the dissertation, the theoretical knowledge of the doctoral candidate should be evaluated highly. At the first stage of the paper, he analysed the challenges in obstacle detection and presented methods for detecting obstacles, avoiding collision, estimating damage and making decisions for autonomous robots. His paper is focused on detection modality, classical and learning-based algorithms, and case studies from ground and space robotics.

He pointed to the growing importance of predictive and science-based techniques in navigation and decision-making. He paid particular attention to deep learning and reinforcement learning, which are used to improve resilience in unstructured environments. He argued that these methods are complementary to traditional approaches, but still face challenges associated with computational costs, data requirements and generalisation due to unpredicted conditions.

When analysing studies on the estimation of damage, the doctoral candidate demonstrated that control systems must take into account not only the presence of obstacles, but also the degree of potential interactions. This reflects a growing emphasis on safety-aware autonomy where navigational choices balance the success of tasks with system integrity.

Furthermore, he pointed out in the dissertation that, despite considerable progress, the development of fully integrated real-time systems faces many difficulties. Field research and planetary rover missions reveal persistent limitations in perception, adaptation and resource management in the conditions of uncertainty. These limitations affect both equipment reliability and control strategies.

The use of hybrid approaches which combine model-planning with learning-based adaptation are a promising direction. The combination of simulated training with real-world verification proposed by the author of the dissertation is a way to bridge the gap between research prototypes and operational systems.

4. Assessment of the doctoral candidate's ability to conduct research independently

The reviewed dissertation is aimed at improving the navigation of mobile robots by resolving challenges related to route planning and crisis management.

The key contribution of the doctoral candidate is the implementation of a decision-making mechanism

to avoid obstacles. The developed method is not based on fixed routes or static guidelines, but it evaluates environmental data in real time and rapidly modifies navigation decisions. By taking into consideration various aspects such as the type of obstacle and potential damage, the system allows for more resilient and context-sensitive motion planning. This strategy improves autonomous navigation in unpredictable and changing conditions, providing robots with an efficient response to unexpected delays caused by negligible obstacles.

Another important contribution of this paper is the development of general principles for crisis planning. Since robotic environments can vary considerably in terms of structure, this system is not linked to specific settings. Instead, it is aimed at supporting emergency response planning by integrating environmental features into the decision-making process. This structure allows the system to be used in both structured indoor spaces and unpredictable outdoor conditions. It reinforces the role of autonomous systems in critical situations where readiness and resilience are essential.

The decision-making system was verified through a multi-level simulation. Even though the tests were conducted under controlled conditions, the results showed improvements in navigation efficiency and context awareness.
The conducted research provides a basis for building robotic systems which are more flexible and better prepared for dynamic and uncertain situations. The proposed solutions address both technical aspects and strategic challenges through a modular and testable design.

5. Evaluation of the author's research method and original contributions

As part of the dissertation, the doctoral candidate proposed a methodology to ensure the integration of a meta-heuristic path planner with learning-based obstacle assessment. It involves a formalised decision-making problem (avoiding or passing over an obstacle), then the generated data is described and features are processed in order to obtain the categories of obstacles. Then, a regression model is trained to estimate costs and it combines these elements with particle swarm optimisation (PSO) for route planning.

The proposed research method consists of seven stages and includes:

1. Evaluation of an integrated navigation system combining a PSO-based planner with a learned estimation of damage, determination of hypotheses, variables and an assessment protocol.
2. Each obstacle is analysed, taking into account such aspects as the extent of potential damage. When the damage estimation is low, the robot can continue on its current route instead of avoiding it.
3. Records of collisions containing details of previous collisions between the robot and obstacles. These records help the robot learn from previous interactions, allowing it to assess the intensity of potential consequences. Earlier interaction records are only used for training and verification of the estimator. Their impact on the quality of decisions is then assessed with the use of controlled simulations.
4. Principal component analysis (PCA) used to reduce dimensionality, aimed at simplifying complex datasets while retaining relevant information. In route planning, PCA helps to identify

the most important elements affecting navigation choices. By reducing the number of variables, PCA increases computational efficiency and enhances the capacity of the robot to handle data during damage estimation. This method helps identify the types of obstacles in the raw data.

5. The application of the elbow method as an initial strategy for clustering analysis to determine the ideal number of clusters in a dataset. Selecting the largest number of clusters allows the robot to categorise obstacles more efficiently, which increases its decision-making ability.
6. Development of a decision-making algorithm to ensure path planning and decision-making. It assesses whether the robot should avoid or overcome an obstacle, taking into account current data during the journey. The algorithm takes into account such elements as previous collisions, potential damage and travel effectiveness.
7. Teaching by applying two different machine-learning techniques: clustering and regression. Clustering is about grouping similar elements according to common characteristics. In the field of robotic navigation, this method helps to group obstacles depending on their impact force, material properties or frequency of encountering them. Such classification supports the decision-making algorithm in adopting different navigation strategies, depending on the type of obstacle. The second one is multiple linear regression, which is a statistical technique used to model the dependency between one dependent variable and two or more independent variables. It estimates how changes in independent variables are related to changes in the dependent variable by matching a linear equation to the observed data.

The proposed methodology is based on learning the proposed navigation algorithm. When one begins with raw collision data, the reduction of dimensionality with PCA enables a more effective representation of obstacle features and prepares grounds for machine learning. Based on that, K-Means clustering was used to group obstacles into categories of similar structural and risk-related profiles while MLR provided a quantitative assessment of potential damage. The two models are complementary: clustering offers high-level decision-making heuristics whereas regression provides precise, real-time assessments of collision risk.

The importance of this approach lies in its versatility. Experimental tests in simulated environments demonstrated that the robot can handle a wide range of obstacle scenarios by making informed and context-sensitive decisions. Thus, the system contributes to safer, more energy-efficient and more mission-oriented robot navigation.

To sum up, the presented methodology provides a basis for autonomous decision-making. It both gives the theoretical foundations and the practical mechanisms necessary for robots to learn from experience, to generalise between environments and to optimise navigation in real time.

6. Shortcomings found in the dissertation and debatable issues

The dissertation meets all the formal criteria for a doctoral dissertation, yet it also comes with certain shortcomings. At several points, the author failed to avoid understatements and editorial errors. The most common ones are the absence of a dot next to the number in the numbering of consecutive items

in the paper.

The list of symbols used in the dissertation and the list of abbreviations is divided into two parts and is provided at two points in the dissertation (page XV and item 1.6)

Regarding the layout of the dissertation, there are certain unnecessary deficiencies related to the layout of the paper. The inclusion of sub-items which often take up less than a typed page and are components of the same issue is not justified. Sub-items 1.4.1 and 1.4.2 can be combined (merged) under 1.4. Similarly, sub-items 2.5.1, 2.5.2, 2.5.3, and 3.3.1, 3.3.2 as well as (5.3.1, 5.3.2, 5.3.3), (5.7.1 - 5.7.7) and (7.4.1, 7.4.2) can be combined. The separation of single sub-items 5.2.1 and 7.1.1. is also not justified.
When it comes to captions under tables, the table description is placed above the table (Table 4.1).

The above remarks do not diminish the substantive value of the dissertation, especially against the background of results of the scientific and technical research presented in the dissertation, which are interesting and innovative, and can be commercialised.

After reading the dissertation, the reviewer found certain problems which, in his opinion, require to be supplemented and have raised some problematic remarks which I would like to discuss during the defence.

I expect written answers and discussion on the following issues during the defence:

1. The considerations in the dissertation assumed that the robot would operate in an ideal environment. Did you analyse how delays in the transportation route would affect the operation of the system and what type of environment recognition sensors would you prefer due to the limited bandwidth of the transmission channel?
2. Taking into account the operation of a real robot in a diverse (often unstructured or even hostile) environment, how to deploy the essential components (e.g. computing centres) of the proposed system in order to ensure its proper operation?
3. In section 4.4. "Evaluation of navigation methods", you argue that you have analysed the algorithms taking into consideration two main factors: path length and processing time. You state that the length of the path is crucial because it shows the efficiency of the path while processing time is important when making immediate decisions during navigation. In the opinion of the reviewer, both of these factors may turn out not to be fully reliable for actual robots. While it can be assumed that the processing time for all analysed algorithms depends equally on the computing power of the computers and the processing algorithm used, the time required to travel along the planned path is determined both by the shape of the path and the size of the robot and the type of its drive systems (wheeled, tracked, etc.) and steering. Please analyse the algorithms for environments 1 and 2 for a four-wheeled robot with a side-to-side twist.
4. In figure 5.7, you showed the route taken when the robot goes through an obstacle. What are the requirements for a robot to be able to "overcome" an obstacle?
5. In section 5.6, you used the elbow method to identify the natural groups in the collision records.

Please justify your choice based on your analysis of the selected non-hierarchical cluster analysis methods.

6. You state in section 7.5 that experimental results have shown that the proposed ML-assisted framework provides a clear advantage over traditional path planning strategies. By integrating predictive modelling with navigation, the system allows robots to predict potential damage and make more informed decisions about avoiding or overcoming obstacles. This is a significant departure from methods based on rules which treat all obstacles equally critically, often leading to inefficiencies. The results confirm both the strengths and limitations of the proposed approach. Please identify both the strengths and limitations of this solution.

7. **Final evaluation of the dissertation**

The reviewed doctoral dissertation by mgr inż. Mahmed KARA belongs to the scientific discipline of Automation, Electronics, Electrical Engineering and Space Technologies. My assessment of the paper is positive despite a number of comments. The paper contains a number of new interdisciplinary cognitive findings.

The dissertation also makes contribution to the development of robot autonomy in unpredictable and dynamically changing conditions by integrating classical path planning algorithms with risk assessment based on observational data, providing practical tools for applications in industrial logistics, agriculture and crisis response.

The reviewed dissertation meets the conditions for doctoral dissertations defined in the Act on Higher Education and Science of 20 July 2018 (consolidated text: Journal of Laws of 2024, item 1571 as amended). Therefore, I request that the doctoral dissertation by mgr inż. Mahmed KARA be approved for further procedure by the Council of the Discipline of Automation, Electronics, Electrical Engineering and Space Technologies, AGH University of Science and Technology.