



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ INŻYNIERII MECHANICZNEJ
I OKRĘTOWNICTWA



UCZELNIA
BADAWCZA
POLITECHNIKI POZNAŃSKIEJ

Prof. dr hab. inż. Krzysztof J. Kaliński
Zakład Mechatroniki

Gdańsk, dnia 18.04.2024 r.

O C E N A

rozprawy doktorskiej mgr. inż. **Patryka Nowaka**

pt. „**Sterowanie robotem za pomocą odpornego na awarie osi algorytmu bazującego na sztucznej inteligencji**”

Praca wykonana na Wydziale Inżynierii Mechanicznej
Politechniki Poznańskiej

Promotor: prof. dr hab. inż. Andrzej Milecki

Promotor pomocniczy: dr inż. Dominik Rybarczyk

Podstawa oceny: uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej z dnia 04.03.2024 r. nr 4/III/03/2024 oraz pismo dr. hab. inż. Olafa Ciszaka, prof. PP, Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej z dnia 05.03.2024 r., wraz z otrzymanym egzemplarzem pracy doktorskiej.

1. Dobór tematu, cel i zakres pracy

Przedmiotem przedłożonej przez **mgr. inż. Patryka Nowaka** rozprawy doktorskiej są badania dotyczące zastosowania metod sztucznej inteligencji do sterowania ruchem robota przemysłowego operującego w środowisku z przeszkodami, pomimo awarii jednej albo dwóch osi. Powyższe dotyczy w szczególności potwierdzenia symulacyjnego i empirycznego, że opracowany system bazujący na metodach uczenia sztucznej sieci neuronowej (SSN) z wykorzystaniem algorytmów genetycznych (AG), steruje ruchem robota w taki sposób, aby bezkolizyjnie omijać różne przeszkody zlokalizowane na stałe w dowolnym miejscu w przestrzeni i osiągnąć położenie docelowe punktu środkowego narzędzia (TCP – ang. *Tool Center Point*) w najkrótszym czasie. Tym kierunkiem badań zajmuje się wiele ośrodków naukowych i instytucji przemysłowych, zainteresowanych zarówno koniecznością zapewnienia prawidłowych warunków pracy struktur nośnych robotów, jak też – uzyskiwaniem przez nie wymaganej wydajności procesów roboczych.

POLITECHNIKA GDAŃSKA

ul. G. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

tel. +48 58 347 14 96, +48 58 347 29 29
e-mail: krzysztof.kalinski@pg.edu.pl
www.pg.edu.pl

 **Uczelnia
Fahrenheita**

Praca doktorska mgr. inż. Patryka Nowaka wychodzi naprzeciw tym wyzwaniom. Proponuje się w niej nowe podejście, które wykazuje przewagę w porównaniu ze znanymi i powszechnymi dotychczas przypadkami zastosowania metod sztucznej inteligencji w robotyce. Nie są bowiem znane algorytmy, które pozwoliłyby na sterowanie ruchem robota wykonującego zadanie „pick and place” („wybierz i umieść”) w przypadku awarii osi, z jednoczesnym omijaniem przeszkód znajdujących się w przestrzeni roboczej. Takie podejście spotyka się w literaturze naukowej po raz pierwszy.

Doktorant opracował niskokosztowy sposób odpornego na błędy sterowania sześcioposiowym robotem przegubowym w przypadku awarii jednej lub dwóch osi, na bazie środowiska symulacyjnego utworzonego do badań wstępnych oraz specjalnie zbudowanego stanowiska laboratoryjnego. Komponentami sprzętowymi tego stanowiska były: przenośny komputer osobisty (PC), sterownik robota oraz robot przemysłowy Mitsubishi RV-12SDL. Na komputerze PC zaimplementował oprogramowanie do symulacji ruchu robota (MuJoCo, tzw. „silnik fizyczny”), sterowania (SSN wykorzystana do generowania funkcji nagrody, AG do uczenia SSN) oraz moduł komunikacyjny TCP/IP pomiędzy komputerem a sterownikiem robota.

Biorąc pod uwagę rosnące zainteresowanie opracowywaniem nowych i skutecznych rozwiązań w zakresie projektowania i realizacji coraz bardziej wymagających funkcji kinematycznych robotów, połączonych z koniecznością ustawicznego zwiększania prędkości ich ruchu, wybór tematu rozprawy należy uznać za w pełni uzasadniony. Upoważnia do tego dokonany przez doktoranta obszerny, krytyczny i wnikliwy przegląd publikacji osiągnięć naukowych. Wiele wiodących ośrodków naukowo-badawczych i jednostek gospodarczych prowadzi w przedmiotowej tematyce zaawansowane na skalę światową badania podstawowe i stosowane.

Głównym celem rozprawy było, zdaniem doktoranta, opracowanie algorytmu sterowania opartego o model symulacyjny robota, algorytm genetyczny, funkcję nagrody oraz sztuczne sieci neuronowe, który to algorytm pozwala na pracę robota, mimo awarii jego jednej albo dwóch osi, z jednoczesnym omijaniem przeszkód. Cel ten został określony w sposób jasny i zrozumiały, zaś kolejne rozdziały pracy są logicznym następstwem jego realizacji.

Praca, zredagowana w języku polskim, liczy 103 strony i zawiera streszczenie w języku polskim oraz streszczenie w języku angielskim, spis treści, spis symboli i skrótów, 6 rozdziałów zasadniczych (w tym wstęp i podsumowanie) oraz wykaz 81 pozycji aktualnej literatury naukowej (w tym 17 opublikowanych po roku 2020, a kolejne 29 – po roku 2015). W załączonym wykazie literatury znajduje się wiele prac publikowanych w wysoko punktowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym, np. *IEEE Industrial Electronics Magazine* (140 pkt.), *IEEE Transactions on Cybernetics* (200 pkt.), *IEEE Transactions on Systems Man Cybernetics-Systems* (200 pkt.), *IEEE Transactions on Industrial Informatics* (200 pkt.), *Mechanical Systems and Signal Processing* (200 pkt.), *IEEE Transactions on Transportation Electrification* (200 pkt.), *Nonlinear Dynamics* (140 pkt.), *Measurement* (200 pkt.), *Sensors* (100 pkt.). I tak, 39 z nich posiada *Impact Factor* (IF), przy czym w przypadku 8. $IF > 6$, a w przypadku kolejnych 16. – $IF > 3$. Dostrzega się również 20 doniesień naukowych publikowanych w materiałach konferencji międzynarodowych, 14



artykułów o zasięgu międzynarodowym (w tym 1 współautorski z udziałem doktoranta), 4 monografie międzynarodowe, 1 artykuł w języku polskim oraz 3 witryny internetowe. Z uwagi na znaczącą zawartość merytoryczną cytowanych materiałów, które dotyczą przede wszystkim wykorzystania sztucznej inteligencji (AI – ang. *Artificial Intelligence*) w manipulatorach do sterowania odpornego na błędy (FTC – ang. *Fault Tolerant Control*), w świetle powyższego należy stwierdzić dobrą rozpoznawalność zamieszczonych pozycji przeglądu literatury, a staranny dobór cytowanych źródeł predestynuje przedmiotową rozprawę doktorską do rangi wartościowego opracowania naukowego.

Zakres ocenianej pracy obejmuje wstęp, a następnie obszerny (ponad 20-stronicowy) i wnikliwy przegląd 72. pozycji literatury naukowej dotyczącej istniejących rozwiązań ilustrujących problematykę sterowania odpornego na błędy, w kontekście: nowoczesnych systemów sterowania, metod sztucznej inteligencji w sterowaniu manipulatorów, sterowania trybem ślizgowym oraz innych metod sterowania. Następnie doktorant zaproponował własne rozwiązanie, przedstawił cele i tezę pracy, opisał szczegółowo opracowany algorytm odporny na uszkodzenie osi robota, przeprowadzone badania symulacyjne i doświadczalne w laboratorium z zastosowaniem rzeczywistego robota, pod kątem badania algorytmu z kryterium najkrótszego toru oraz z kryterium minimalnego zużycia energii, a także zamieścił podsumowanie treści rozprawy. Zakres pracy został sformułowany prawidłowo, ponieważ zawiera wszystkie podstawowe elementy charakteryzujące rozprawy naukowe.

2. Merytoryczna ocena pracy

2.1. Charakter pracy

Recenzowana rozprawa jest pracą teoretyczno-eksperymentalną z obszaru zastosowania sztucznej inteligencji do sterowania ruchem robotów przemysłowych, a w szczególności – rozwoju metod uczenia SSN z wykorzystaniem AG. To ostatnie ma w zamyśle umożliwić efektywne osiągnięcie pozycji docelowej TCP w środowisku z przeszkodami, w przypadku awarii jednej bądź dwóch osi robota. Na bazie obszernego, wnikliwego i krytycznego przeglądu wartościowej i rozpoznawalnej ogromnej liczby powiązanych z przedmiotem rozprawy opracowań i materiałów źródłowych autorów zewnętrznych (głównie zagranicznych), doktorant zaproponował oryginalną koncepcję badań własnych. Bazuje ona na algorytmie krokowego prowadzenia TCP do punktu końcowego poprzez:

- sprawdzanie, które osie robota są aktualnie uszkodzone;
- wygenerowanie zbioru możliwych do wykonania przemieszczeń kątowych w bieżącym kroku, dla wszystkich aktywnych (nieuszkodzonych) osi robota;
- wykorzystanie modelu symulacyjnego robota do obliczenia pozycji wszystkich ramion robota i jego TCP, po wykonaniu przemieszczeń podanych w wygenerowanym zbiorze;
- obliczanie wartości nagród dla każdego przemieszczenia określonego w wygenerowanym zbiorze i wybór (realizację) najlepszego wariantu ruchu;



- zatrzymanie robota przy osiągnięciu pozycji docelowej, albo w przeciwnym razie – powrót do początku algorytmu.

Osiągnięcia rozprawy postrzega się także w aspekcie użytkowym. Po ich umiejętnym rozwinięciu mogą one przyczynić się do opracowania metodyki i procedur zastosowania uzyskanych wyników badań w praktyce.

2.2. Samodzielny i oryginalny dorobek doktoranta

Oceniana praca doktorska mgr. inż. Patryka Nowaka wykazuje cechy samodzielności naukowej. Jako istotne i oryginalne osiągnięcia doktoranta należy uznać:

- opracowanie modelu symulacyjnego robota uwzględniającego parametry kinematyczne i umożliwiającego sprawdzanie algorytmu w środowisku wirtualnym;
- opracowanie modelu symulacyjnego robota umożliwiającego obliczenie zużycia energii w celu zastosowania kryterium energetycznego (tzw. model momentowy);
- opracowanie algorytmu optymalizującego trajektorię ruchu w postaci AG;
- opracowanie funkcji nagrody w celu oceny poszczególnych kroków ruchu robota;
- zastosowanie SSN do predykcji parametrów funkcji nagrody, na podstawie aktualnej sytuacji środowiskowej;
- opracowanie systemu odpornego na uszkodzenia osi robota oraz pozwalającego na omijanie znajdujących się w obszarze roboczym przeszkód;
- wykonanie badań symulacyjnych i doświadczalnych potwierdzających działanie proponowanego rozwiązania.

Ważnym rezultatem recenzowanej rozprawy jest doprowadzenie jej rezultatów do postaci o dużym potencjale aplikacyjnym, co w przyszłości po odpowiednim dopracowaniu może skutkować ich wykorzystaniem w gospodarce. Tak rozumianą ideę praktycznego zastosowania wyników badań naukowych powinno obserwować się jak najczęściej.

2.3. Tezy naukowe i wnioski z pracy

Podejmując temat rozprawy doktorant sformułował tezę pracy, która brzmi następująco:

Algorytm działający w oparciu o model symulacyjny robota, algorytm genetyczny, sztuczną sieć neuronową oraz funkcję nagrody, pozwala na sterowanie robotem przemysłowym, które jest odporne na awarię jego do dwóch osi oraz zapewnia omijanie przeszkód.

Powyższe sformułowanie wynika z dostrzeżenia przez doktoranta potrzeby osiągnięcia szeregu celów cząstkowych. Należą do nich:

- opracowanie środowiska symulacyjnego w postaci modeli: kinematycznego oraz momentowego robota wraz z uwzględnieniem przeszkód, występujących w jego przestrzeni roboczej;

- opracowanie algorytmu pozwalającego na sterowanie robotem pomimo awarii jednej albo dwóch osi, z jednoczesnym omijaniem przeszkód;
- opracowanie i badanie algorytmu genetycznego do optymalizacji parametrów funkcji nagrody, wykorzystywanej do oceny możliwych do wykonania akcji, w danym kroku symulacji;
- opracowanie i nauczenie (za pomocą zbioru parametrów quasi-optymalnych, wygenerowanych przez algorytm genetyczny) sztucznej sieci neuronowej, do estymacji parametrów funkcji nagrody dla aktualnej sytuacji środowiskowej;
- badania symulacyjne oraz doświadczalne, weryfikujące pracę poszczególnych modułów rozwiązania.

Realizacja rozprawy potwierdziła aspekt poznawczy i użyteczny osiągnięć doktoranta, bardzo istotny w kontekście prac wykonywanych na wyższych uczelniach technicznych. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, iż badania na stanowisku zrobotyzowanym bez dodatkowych zabezpieczeń (np. w postaci kurtyn) przeprowadzono przy zalecanych podczas eksploatacji robotów, zgodnie z normą ISO 10218-1, maksymalnych prędkościach ruchu do 250 mm/s. Doktorant wykazał, w warunkach symulowanych oraz w rzeczywistych warunkach laboratoryjnych, prawdziwość sformułowanej tezy, co jest niekwestionowanym, pozytywnym rezultatem opiniowanej rozprawy.

W tym miejscu należy jednak zauważyć, że (uwaga):

2.3.1. Podczas badań doświadczalnych na rzeczywistym robocie, rzekoma awaria wybranych osi była sztucznie wywoływana przez oprogramowanie, które blokowało ruch tych osi. W rzeczywistości, blokowane osie były sprawne, a awaria – jedynie symulowana, co nie w pełni odpowiada założeniu o faktycznej niesprawności osi robota. Stąd, wnioski o znaczeniu użytkowym, zwłaszcza pod kątem bezpośredniego wykorzystania bieżących wyników rozprawy w przedsiębiorstwach zainteresowanych eksploatacją robotów przemysłowych w nowoczesnych liniach technologicznych, należy formułować z pewną ostrożnością.

2.4. Uwagi dotyczące pracy

2.4.1. Uwagi ogólne

2.4.1.1. Rozważania dotyczące modelu robota do badań zużycia energii (tzw. model momentowy, p. 4.6) zostały uproszczone do przypadku, gdyby poszczególne człony robota wykonywały jedynie ruchy obrotowe wokół osi nieruchomych. Takie postępowanie nie jest poprawne, ponieważ podczas przemieszczeń elementów składowych robota obserwujemy, w najprostszym lecz najczęściej spotykanym przypadku połączenia tych elementów parami kinematycznymi obrotowymi (V klasy, jak w badanym w rozprawie robocie Mitsubishi RV-12SDL), ruchy złożone z ruchów unoszenia i ruchów względnych. Wówczas, wzory zamieszczone w tym podrozdziale tracą swoją ważność.

2.4.1.2. Opis sterowania robotem metodą FTC do współpracy z człowiekiem (p. 5.5) jest zbyt lakoniczny, mało wnikliwy i nie okazuje zalet opracowanego w rozprawie algorytmu

Handwritten signature

sterowania, zwłaszcza w świetle postulowanych awarii wybranych osi robota. Nie pojawia się w ogóle jakakolwiek informacja na temat uzyskanej w tym przypadku sprawności nauczania SSN. Opis ten bazuje głównie na odtwórczym wykorzystaniu sieci *MobileNetV2* (przedstawionej w pozycji literatury [81]) do współpracy z opracowanym algorytmem. Należy zatem zastanowić się nad uzasadnieniem celowości zamieszczenia tego opisu w treści rozprawy, do którego nie ma też odniesienia w Rozdz. 6.

Podsumowanie.

- 2.4.1.3. Stwierdzenie doktoranta, zamieszczone w części *Podsumowanie* (95₇₋₄), iż testowany z powodzeniem na robocie o sześciu stopniach swobody system mógłby funkcjonować w przypadku awarii większej liczby osi (np. trzeciej), jest zbyt optymistyczne. Ma ono charakter domniemania, ponieważ nie znajduje potwierdzenia ani w rezultatach symulacji ruchu robota, ani w przeprowadzonych badaniach eksperymentalnych na rzeczywistym obiekcie. Znaczne ograniczenie przestrzeni roboczej robota i wydłużenie czasu pracy algorytmu, mogą okazać się nie jedynymi przeszkodami, jakie należy w takim przypadku pokonać.
- 2.4.1.4. Celowość kierunków dalszych badań, zmierzających do potwierdzenia w znacznym stopniu poprawności działania algorytmu oraz poprawy jego niezawodności, dokładności i szybkość działania, nie budzi wątpliwości. Kierunki te dotyczą bowiem m.in. optymalizacji przez AG kilku tysięcy „sytuacji środowiskowych” w celu przygotowania większego zestawu danych uczących SSN, zwiększenia liczby osobników w populacji oraz liczby populacji AG, wyuczenia SSN na większym zestawie danych uczących, a także wbudowania zaawansowanego systemu detekcji i lokalizacji (także ruchomych) przeszkód. Jak wykazano w rozprawie, wyuczona SSN jest w stanie rozwiązać 97% „sytuacji środowiskowych” nieoptymalizowanych wcześniej przez AG, co należy uznać za wynik dobry. Pozostaje jednak owe 3 % niepewności, dla których to „sytuacji środowiskowych” proponowany algorytm nie zadziała. Przyszłe prace powinny zatem zmierzać w kierunku osiągnięcia skuteczności wyuczenia sieci bliskiej 100%, znamiennej modelem deterministycznym robotów, pomyślanym pod kątem realizacji zadań w każdej sytuacji.

2.4.2. Uwagi szczegółowe

- 2.4.2.1. 12s: Zamiast „Opis metodologii” powinno być „Metodyka”. Metodologia, czyli teoria sprawnego działania, odpowiada na pytanie: *co należy robić*. Natomiast metodyka, czyli praktyka wykonawcza – na pytanie: *jak należy to robić*.
- 2.4.2.2. 13²: Termin „trajektoria” został w rozprawie użyty niepoprawnie. W robotyce, trajektorię definiują parametry geometryczne i kinematyczne. Natomiast rozważania zamieszczone

- w pracy dotyczą jedynie współrzędnych wybranych punktów robota, czyli toru ruchu. Przedmiotowa uwaga dotyczy także innych fragmentów recenzowanej treści.
- 2.4.2.3.23³: Trajektoria optymalna nie musi być najkrótsza (sic!).
- 2.4.2.4.24: Podpis pod Rysunkiem 5 jest zamieszczony w języku angielskim.
- 2.4.2.5.31, Rysunek 10: Brak powiązania zamieszczonych na nim elementów ze wzorami (23)-(25). O ewentualnym powiązaniu można się jedynie domyślać.
- 2.4.2.6.33⁴⁻⁵: Co oznacza pojęcie „w czasie stałym”?
- 2.4.2.7.37¹³: Zamiast „(4)” powinno być „(2)”.
- 2.4.2.8.38¹⁰: Co oznacza stwierdzenie „obrót o stały kąt w lewo albo w prawo”.
- 2.4.2.9.40⁷⁻⁹: Opis w tekście nie odpowiada kolorystyce na Rys. 14 (str. 41). Ponadto, oznaczenia na tym rysunku a), c) i d), ważnym z punktu widzenia celu pracy, nie są do końca zrozumiałe i wymagają komentarza.
- 2.4.2.10.44¹: Wartości wskaźnika sumowania po liczbie przeszkód o (wzór (29)) są błędne. Dolna wartość tego wskaźnika powinna wynieść 1, a górna – 1 albo 2 w zależności od przyjętej liczby przeszkód.
- 2.4.2.11.47¹³⁻¹²: Znaczenie użytych w pracy indeksów j nie jest jednoznaczne i tym samym – mylące. W tym miejscu, określają one bowiem możliwe stany poszczególnych osi: 0 (oś uszkodzona) albo 1 (oś sprawna). Z kolei, we wzorze (44) na str. 68, indeksy j oznaczają liczby możliwych pozycji wybranej osi robota. W innym miejscu (70⁶⁻⁷), indeksy j opisują (w dodatku, niezbyt precyzyjnie wyjaśnione) położenia kątowe poszczególnych osi.
- 2.4.2.12.56-57: Wzory (33)-(36) opisują elementarne zależności znane z mechaniki ogólnej. Stąd, celowość ich zamieszczania w rozprawie jest dyskusyjna.
- 2.4.2.13.57¹¹: Wzór (37) byłby słuszny, gdyby dotyczył momentu pary sił F_z , których linie działania są odległe o d_m .
- 2.4.2.14.58¹¹: Wzór (42) jest słuszny, gdy całkowita moc P_c jest niezmienna w czasie.
- 2.4.2.15.62: Z opisanych rozważań, jak też z przedstawionego schematu (Rysunek 20) trudno wywnioskować, na czym polega weryfikacja optymalnego zużycia energii. Ten opis wymaga bardziej precyzyjnego komentarza.
- 2.4.2.16.63: Brak w treści rozprawy Rysunku 21; jest jedynie zamieszczony podpis pod (nieistniejącym) rysunkiem.
- 2.4.2.17.70^{8,4,2}: Opis sposobu wyznaczenia długości toru (mylnie nazwanego w rozprawie trajektorią) TCP robota 4,65 m, 2,97 m i 2,14 m, na bazie rys. 28b, 29b i 30b, jest nieprecyzyjny i wymaga bliższego wyjaśnienia.
- 2.4.2.18.73²: Mylnie podano jednostkę prędkości liniowej. Powinno być „m/s”.
- 2.4.2.19.91¹⁵: Błędnie przywołany numer rysunku; powinno być „50”.

3. Ocena pracy pod względem redakcyjnym

Układ treści jest logicznie prawidłowy. Tytuły rozdziałów i podrozdziałów są zrozumiałe i odpowiadają ich zawartości. Materiał ilustracyjny dobrano właściwie do treści poszczególnych fragmentów. Język pracy jest na ogół poprawny, czytelny i zrozumiały, aczkolwiek w treści można zauważyć pewne przekłamania literowe, usterki gramatyczne i stylistyczne. Generalnie doktorant dołożył należytej staranności w celu poprawnego opracowania pracy pod względem językowym i edytorskim. Natomiast wadliwości redakcyjnych i terminologicznych, które przykładowo wyszczególniam poniżej, należy unikać podczas pisania rozpraw naukowych.

- 3.1. 8₁₄₋₁₃: Zamiast „przesunięcia kątowne” powinno być „kąty obrotu”.
- 3.2. 8₂₋₁: Zamiast „centrum masy” powinno być „środek masy”.
- 3.3. 9^{5,8,9,10,11,12}: Brak jednostek miary w opisie przyjętych symboli.
- 3.4. 9₉₋₁ i 10: Brak tłumaczenia użytych skrótów na język polski.
- 3.5. 11⁴: Zdanie rozpoczyna się od „w” z małej litery. Przedmiotowa uwaga dotyczy także wielu innych miejsc pracy, a niekiedy i zdań zaczynających się na inną literę (np. 11₄: „z”).
- 3.6. 18: Zapisy funkcji „tanh” (wzory (4) i (5)), są nieprawidłowe, ponieważ pochodzą z notacji właściwej tekstom programów komputerowych. Powinno być: „tgh”.
- 3.7. 21₂: Zamiast „Luapunov’a” powinno być „Lyapunov’a”.
- 3.8. 27₉: Sztucznie spolszczony termin „nonsingularny” ma swój polski odpowiednik: nieosobliwy.
- 3.9. 29_{9,6}: Zamiennie stosowane określenia „zakłócenie” i „zaburzenie”.
- 3.10. 32⁷: „Kinematyka odwrotna” jest terminem kolokwialnym.
- 3.11. 33₈: Niepoprawne tłumaczenie „wartość pojedyncza” – „singular value”.
- 3.12. 35_{6,3}: Skróty FTC i FTCS są stosowane zamiennie, ale tego drugiego brakuje w wykazie skrótów zamieszczonym na str. 9-10.

4. Wniosek końcowy

W podsumowaniu recenzji stwierdzam, że praca mgr. inż. **Patryka Nowaka** spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w dziedzinie nauk inżyneryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Zamieszczone uwagi mają charakter dyskusyjny i w żadnym wypadku nie pomniejszają wartości merytorycznej rozprawy, którą oceniam pozytywnie. Praca stanowi, w myśl art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 z późn. zmianami), oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, jak również – dokumentuje wiedzę teoretyczną kandydata oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia przez niego pracy naukowej. Doktorant potwierdził opanowanie niezbędnej wiedzy oraz nietłatwej umiejętności kształtowania skomplikowanych rozwiązań inżynierskich o charakterze badawczym i stosowanym w zakresie sterowania ruchem członów robotów przemysłowych w środowisku z przeszkodami, w przypadku awarii niektórych osi robota.

Wniosuję o dopuszczenie pracy jako rozprawy doktorskiej do publicznej obrony.