

Warszawa, 7 stycznia 2025

dr hab. inż. Krzysztof Siwek, profesor uczelni
Instytut Elektrotechniki Teoretycznej
i Systemów Informatyczno-Pomiarowych
Wydział Elektryczny
Politechnika Warszawska

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgra inż. Dawida Kalandyka
sporządzonego w oparciu o cykl publikacji
**pt. „Aplikacje metod sztucznej inteligencji ze szczególnym uwzględnieniem
algorytmu uczenia się ze wzmocnieniem”**

(zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja
Politechniki Rzeszowskiej z dnia 5 listopada 2024)

Ocena doboru tematyki rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska pana mgra inż. Dawida Kalandyka oparta jest na cyklu monotematycznych publikacji naukowych, co jest akceptowalną formą (zgodnie z art. 187 ust. 3 ustawy), dotyczących zastosowania metod sztucznej inteligencji, ze szczególnym uwzględnieniem algorytmu uczenia się ze wzmocnieniem (Reinforcement Learning, RL), do rozwiązywania zadań z zakresu przetwarzania obrazu i sterowania. Praca obejmuje dwa główne obszary badawcze: analizę dynamicznych gestów w strumieniach wideo oraz optymalizację sterowania maszynami CNC, w tym dynamiką ruchu wrzeciona. Celem rozprawy jest nie tylko rozwój teoretyczny, ale także praktyczne zastosowanie zaproponowanych algorytmów w rzeczywistych problemach technologicznych, takich jak czasowa segmentacja gestów czy sterowanie z wykorzystaniem logiki rozmytej i algorytmów RL i DRL (Deep Reinforcement Learning). Rozprawa łączy interdyscyplinarne podejście, wnosząc wkład zarówno do rozwoju nauki, jak i praktyki inżynierskiej.

Przedstawione do oceny artykuły naukowe napisane są w języku angielskim (5 publikacji) i polskim (1 publikacja). Zbiór publikacji poprzedzony jest polskojęzycznym 54 stronicowym Autoreferatem omawiającym badaną problematykę z odniesieniami do zbioru publikacji.

Przedstawione do oceny publikacje to: jeden rozdział w monografii (A-1), dwa artykuły konferencyjne (A-2 i A-3) oraz trzy artykuły z czasopism naukowych (A-4 do A-6) z tym, że artykuł A-6 został dopiero przyjęty do publikacji.

WPŁYNĘŁO
10. STY. 2025
POLITECHNIKA RZESZOWSKA
im. Ignacego Łukasiewicza
KATEDRA WYBÓRÓW ELEKTROTECHNIKI I INFORMATYKI
STUDIA STACJONARNE
35-959 Rzeszów, ul. W. Pola 2
tel. 17 743 2429, 2430; 17 865 1998

Strona 1 z 9

KSiwek

Doktorant w Autoreferacie wymienia jaki przekrój dyscyplin naukowych przedstawiają jego publikacje. Są to dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja oraz częściowo Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Rozprawa ma więc charakter wybitnie multidyscyplinary, z naciskiem położonym na zastosowania praktyczne czyli tytułowe „Aplikacje sztucznej inteligencji”. W moim odczuciu, z uwagi na zaprezentowane aplikacje, można obronić jej przynależność zarówno do jednej jak i drugiej Dyscypliny Naukowej, choć z wyraźną przewagą Informatyki.

Hipoteza badawcza i szczegółowe cele (zadania) badawcze

Rozdział 1.2 rozprawy dotyczy sformułowania hipotezy badawczej oraz trzech zadań szczegółowych.

Hipoteza brzmi:

Możliwa jest aplikacja różnych metod sztucznej inteligencji, a w szczególności algorytmu uczenia się ze wzmocnieniem, zarówno do zadań przetwarzania obrazu, jak i do zadań sterowania, celem uzyskania rezultatów nie gorszych niż przy pomocy innych metod znanych z literatury.

Jako cele badawcze, mające potwierdzić hipotezę Doktorant wymienił trzy zadania:

- Zadanie 1. Studia literaturowe dotyczące wykorzystania algorytmu uczenia się ze wzmocnieniem do rozwiązywania zadań przetwarzania obrazów oraz rozwiązywania zadań sterowania.
- Zadanie 2. Zebranie niezbędnych danych oraz utworzenie zbioru pozwalającego na trenowanie oraz weryfikowanie poprawności działania badanych metod do zadania wykrywania gestów oraz do zadania sterowania dynamiką ruchu wrzeciona maszyny CNC.
- Zadanie 3. Zaproponowanie metody pozwalającej na czasową segmentację ciągłego strumienia gestów, na optymalizację sterowania dynamiką ruchu wrzeciona maszyny CNC z wykorzystaniem logiki rozmytej oraz na optymalizację sterowania dynamiką ruchu wrzeciona maszyny CNC z wykorzystaniem paradygmatu uczenia się ze wzmocnieniem.

Według Doktoranta osiągnięcie celu dysertacji polegało na realizacji wyszczególnionych zadań, które wymagały: pozyskania, przetworzenia i analizy danych, sformułowania odpowiednich pomniejszych celów, wyboru i wykorzystania odpowiednich narzędzi informatycznych, implementacji oraz weryfikacji proponowanych rozwiązań, a także interpretacji wyników oraz sformułowania wniosków.

W moim odczuciu hipoteza oraz cele sformułowane są prawidłowo a zadania badawcze zrealizowane w szerokim stopniu.

Treść rozprawy

Najobszerniejszą częścią Autoreferatu jest przewodnik po cyklu prac stanowiącym osiągnięcie naukowe czyli właściwy opis przeprowadzonych badań. Rozprawę Doktorant podzielił na dwa główne zadania: przetwarzania obrazu i wideo (prace A-1 i A-5) oraz zadania sterowania (pozostałe prace z cyklu). We wstępie Doktorant nakreślił kontekst prowadzonych przez siebie badań naukowych. Uzasadnił potrzebę rozwijania metod zastosowania uczenia przez wzmocnienie w omawianych zastosowaniach praktycznych.

Praca A-1 jest bardzo obszernym rozdziałem monografii, który szczegółowo omawia problematykę przetwarzania obrazów przy wykorzystaniu uczenia ze wzmocnieniem, podzielone na dwie główne grupy zadań: modyfikację obrazu i analizę jego treści. W pierwszej grupie opisywane są techniki modyfikacji takie jak redukcja szumów, korekcja kolorów, odzyskiwanie bloków obrazu czy wyostrażanie. Druga grupa koncentruje się na detekcji i śledzeniu obiektów, przydatnych w systemach autonomicznych. Doktorant prezentuje różne modele RL, które wykorzystują agenty uczące się na podstawie interakcji ze środowiskiem, aby optymalizować jakość przetwarzania obrazu, oraz ilustruje efektywność tych metod na licznych przykładach, takich jak PixelRL czy systemy do edycji obrazów w Adobe Photoshop. Podkreśla również potencjał RL w automatyzacji procesów edycyjnych, szczególnie w medycynie i grafice komputerowej. Artykuł A-1 jest samodzielną pracą Doktoranta.

Praca z dziedziny przetwarzania obrazu i wideo (A-5) udowadnia, że stosowanie algorytmu uczenia ze wzmocnieniem nie tylko wyraźnie podnosi przejrzystość działań realizowanych przez zaproponowane rozwiązanie, lecz także usprawnia proces ich wizualizacji. W rezultacie użytkownicy mogą łatwiej zrozumieć, jakie mechanizmy decydują o podejmowanych krokach, a także lepiej ocenić skuteczność wypracowanych rozwiązań. Warto podkreślić, że sam algorytm uczenia ze wzmocnieniem charakteryzuje się stosunkowo nieskomplikowaną implementacją, co znacząco poszerza wachlarz jego zastosowań w praktyce, a jego uniwersalność oraz prostota czynią go interesującym zarówno dla naukowców jak i praktyków.

Drugim obszarem podjętym przez Doktoranta w rozprawie jest zastosowanie metod sztucznej inteligencji w zadaniach sterowania, zwłaszcza w kontekście pojazdów autonomicznych, zastosowania logiki rozmytej i uczenia ze wzmocnieniem w zadaniach sterowania maszynami CNC poprzez sterowanie dynamiką wrzeciona.

W artykule A-2 Doktorant przedstawił wstępny zarys autorskiego rozwiązania dotyczącego zadania wyprzedzania w samochodach autonomicznych. Uwzględnił ono dane z czujników oraz obraz z kilku kamer umożliwiających identyfikację szybko zbliżających się pojazdów i zapobieganie kolizjom. Proponowane podejście skupia się początkowo na drodze z minimum dwoma pasami w każdą stronę; docelowo rozważany będzie trudniejszy scenariusz, w którym wyprzedzanie wymaga zjazdu na przeciwny pas.

Doktorant omawia różnorodne zadania związane z prowadzeniem pojazdów, takie jak parkowanie, utrzymywanie prędkości, omijanie przeszkód, zmiana pasa czy przejazd przez skrzyżowania. Podsumowuje około 50 prac naukowych, charakteryzując różne modele środowiska, zestawy akcji i sygnały wzmacniające, a także wskazuje obszary wymagające dalszego rozwoju, takie jak jazda w zmiennych warunkach pogodowych czy rozpoznawanie pojazdów uprzywilejowanych. Artykuł A-2 jest również pracą samodzielną Doktoranta.

Artykuł A-3 przedstawia zastosowanie systemu rozmytego wnioskowania Mamdaniego do optymalizacji dynamiki ruchu maszyn CNC. Prace badawcze Doktoranta skoncentrowały się na parametrach takich jak prędkość, przyspieszenie oraz "JERK" (szarpnięcie czyli druga pochodna prędkości po czasie, we wzorze (1) brakuje wyjaśnienia, czym jest pierwszy symbol $a(t)$ ze strzałką nad a), kluczowych dla dokładności i trwałości maszyn. System został wytrenowany i przetestowany na bazie danych zawierającej różne trajektorie ruchu i kombinacje parametrów dynamicznych, a jego działanie oceniono za pomocą metryk takich jak RMSE i odsetek błędnych decyzji. Wyniki wskazują na poprawę precyzji obróbki i wydłużenie żywotności maszyn, choć kosztem wydłużenia czasu procesu. Doktorant wraz ze współautorami planują dalszą optymalizację systemu oraz badanie bardziej zaawansowanych metod, takich jak logika rozmyta typu 2, aby lepiej radzić sobie z niepewnościami w rzeczywistych zastosowaniach przemysłowych.

Artykuł A-4 przedstawia proponowane podejście do optymalizacji ruchu wrzeczona w maszynach CNC, wykorzystujące algorytm głębokiego uczenia ze wzmocnieniem. Głównym celem było naśladowanie działania algorytmu RPRO, powszechnie stosowanego w przemyśle, przy jednoczesnym przyspieszeniu procesu obróbki i zwiększeniu precyzji produkcji. Autorzy przeanalizowali różne konfiguracje parametrów uczenia oraz architektury sieci neuronowych, a wyniki eksperymentów pokazały, że zaproponowane rozwiązanie osiąga lepszą dokładność i krótszy czas obróbki w porównaniu z RPRO.

Jednakże metoda ta była testowana głównie w symulacjach, co wymaga dalszych badań w rzeczywistych warunkach przemysłowych. Wskazano również kierunki przyszłych prac, takie jak rozwinięcie systemu do obsługi ruchu wieloosiowego oraz dalsza optymalizacja parametrów, takich jak cykle przyspieszania i hamowania, które mogą wpłynąć na żywotność maszyn i narzędzi.

Artykuł A-5 przedstawia nowatorskie podejście do segmentacji temporalnej gestów migowych w sekwencjach obrazów przy użyciu głębokiego uczenia ze wzmocnieniem. Autorzy proponują algorytm, który izoluje gesty z ciągłego strumienia danych, eliminując zakłócenia wynikające z ruchów dłoni przed, pomiędzy i po gestach. Do oceny metody stworzono dedykowaną bazę danych (GEST) z gestami Polskiego Języka Migowego, nagranych przez osoby niesłyszące, oraz zastosowano różne protokoły eksperymentalne, w tym LOSO (Leave One Subject Out). Wyniki wykazały skuteczność proponowanego podejścia, zwłaszcza po zastosowaniu technik postprocesingu, takich jak

filtrowanie i głosowanie wyników. Autorzy podkreślają, że metoda może zostać rozwinięta i zastosowana w innych zadaniach wymagających segmentacji temporalnej, takich jak analiza zachowań pieszych.

Artykuł A-6 prezentuje nowatorski system obliczania kodu G dla maszyn CNC, oparty na rozmytym systemie wnioskowania Mamdaniego. Doktorant ze współautorami zaproponowali model, który uwzględnia dynamikę maszyny, prędkość wrzeciona oraz odległość do kolejnych punktów referencyjnych. System pozwala na precyzyjną kontrolę ruchu wrzeciona przy jednoczesnym minimalizowaniu wibracji i zużycia maszyny. Przeprowadzono testy porównawcze z algorytmem RPRO stosowanym w przemyśle, wykazując, że proponowane rozwiązanie zapewnia większą dokładność obróbki, choć kosztem dłuższego czasu operacji. Zaletą systemu jest jego intuicyjność i możliwość dostosowania reguł przez eksperta, co czyni go elastycznym w różnych zastosowaniach. W przyszłości Autorzy planują optymalizację systemu przy użyciu metod Sugeno i sztucznej inteligencji.

Doktorant, w przedstawionych pracach naukowych udowadnia, że w pewnych warunkach trening algorytmu uczenia ze wzmocnieniem może przebiegać wyjątkowo efektywnie, co przekłada się na szybkie osiągnięcie oczekiwanych rezultatów. Tego typu sprzyjające okoliczności obejmują między innymi właściwie zaprojektowany system nagród, staranny dobór hiperparametrów czy dopracowane środowisko symulacyjne. Dzięki temu algorytm zyskuje zdolność dynamicznej adaptacji do pojawiających się zmian, a czas konieczny na trening ulega wyraźnemu skróceniu.

Przeprowadzona analiza literatury naukowej dowodzi zainteresowania Doktoranta paradygmatem uczenia ze wzmocnieniem w różnych obszarach badawczych, takich jak sztuczna inteligencja, automatyzacja procesów czy inżynieria systemów autonomicznych. W ostatnich latach algorytmy uczenia ze wzmocnieniem zalicza się do grona kluczowych narzędzi we współczesnych technikach uczenia maszynowego. Z roku na rok przybywa publikacji i projektów eksplorujących tę tematykę, co potwierdza zasadność wyboru tej tematyki rozprawy doktorskiej.

Dorobek naukowy Doktoranta

W dalszej części Autoreferatu Doktorant przedstawia swój dorobek naukowy, czyli inne publikacje nie wchodzące w skład cyklu oraz wylicza swoje wystąpienia konferencyjne.

Kolejno załączone są pełne treści artykułów wchodzących w skład cyklu publikacji naukowych. Dalej znajdują się streszczenia Autoreferatu – w języku polskim i angielskim oraz podpisane oświadczenia o wkładzie autorskim współautorów publikacji wchodzących w skład ocenianego cyklu.

Wskaźniki, które mówią o oddziaływaniu cyklu publikacji na rozwój nauki to: sumaryczny Impact Factor w chwili składania rozprawy równy 11.6, wskaźnik Cite Score równy 20.5 i liczba punktów MNiSW równa 510. Wszystkie prace zostały opublikowane w latach 2021-2024.

W Autoreferacie brak jest podstawowych metryk mówiących o wkładzie prac Doktoranta w rozwój Dyscypliny naukowej. Kwerenda do scopus.com pokazała 6 cytowań pięciu publikacji oraz indeks Hirsha równy 2, podczas gdy serwis Web of Science podaje jedno cytowanie i indeks Hirsha równy 1.

Wskaźniki te nie są imponujące, jednakże należy zauważyć, że od publikacji artykułów naukowych nie upłynęło dużo czasu i publikacje nie są jeszcze wystarczająco widoczne w środowisku naukowym. Aktualne wartości parametrów są, moim zdaniem, dosyć dobrym wynikiem na tym szczeblu rozwoju kariery naukowej i uzasadniają celowość złożenia rozprawy doktorskiej.

Podczas pisania tej recenzji, a już po otrzymaniu kompletu dokumentów od Rady Dyscypliny, ukazał się artykuł A-6 pod adresem DOI: 10.24425/acs.2024.149669.

Podsumowanie

Całość rozprawy, rozumianej jako zbiór artykułów naukowych, ma charakter wybitnie interdyscyplinarny łączący automatykę, sterowanie, sztuczną inteligencję i informatykę. Moim zdaniem rozprawa bez wątpienia plasuje się w dyscyplinie **Informatyka techniczna i telekomunikacja**.

Przedstawione artykuły tworzą logiczny ciąg badań naukowych obejmujących dwa zagadnienia - przetwarzanie i analizę obrazów i filmów oraz wykorzystanie uczenia ze wzmocnieniem z elementami logiki rozmytej do sterowania pojazdami autonomicznymi i obrabiarkami CNC.

Omawiane zagadnienia są bardzo aktualne i ważne. Zastosowanie metod uczenia maszynowego jest obecnie bardzo często wykorzystywane do rozwiązywania rozmaitych problemów inżynierskich. Przedstawione w rozprawie metody, a w szczególności uczenia ze wzmocnieniem pozwalają na uzyskanie rezultatów nie gorszych niż przy pomocy innych metod znanych z literatury, co było do udowodnienia z hipotezy badawczej. Hipoteza ta została w rozprawie udowodniona.

Zagadnienia omawiane w rozprawie są dobrze zdefiniowane i rozwiązane, a sposób ich przedstawienia świadczy o dojrzałości naukowej Doktoranta. Uzyskane wyniki badań posiadają dużą wartość praktyczną i aplikacyjną, mogą stanowić dla innych badaczy lub praktyków nieocenioną pomoc przy projektowaniu nowych metod wykorzystujących uczenie ze wzmocnieniem.

Pytania i uwagi dyskusyjne

W tej części recenzji chciałbym postawić pytania oraz szerzej naświetlić pewne uwagi dyskusyjne, nie umniejszające jednak w istotnym stopniu osiągnięć Autora rozprawy:

1. Doktorant w publikacji A-1 wymienił wiele prac, ale nie przeprowadził szczegółowych analiz porównawczych pod kątem efektywności różnych algorytmów RL w konkretnych zadaniach. Nie omówił złożoności obliczeniowej algorytmów RL ani ich praktycznego zastosowania w czasie rzeczywistym. Czy Doktorant ocenił, czy i ewentualnie, które algorytmy RL są wystarczająco szybkie i oszczędne, aby działać w rzeczywistych pojazdach autonomicznych?
2. Jak sam Doktorant skupia się w pracy A-2 głównie na Reinforcement Learning (RL) w kontekście autonomicznych pojazdów, ale czy brał pod uwagę inne podejścia, takie jak kombinacja RL i uczenia nadzorowanego?
3. Jak w kontekście pracy A-2 można uwzględnić problemy wielokryterialne (np. równoczesne optymalizowanie bezpieczeństwa, czasu podróży i zużycia paliwa)?
4. Artykuł A-3 wspomina, że proponowane rozwiązanie może wydłużyć czas obróbki. Jakie są potencjalne koszty związane z tym wydłużeniem w porównaniu do uzyskanych korzyści (np. lepszej jakości produktu lub dłuższej żywotności maszyny)?
5. Jak metoda Mamdaniego wypada w porównaniu do metody Sugeno w testach wstępnych opisanych w A-3, skoro ten ostatni model był rozważany do dalszych badań w przyszłości?
6. Czy testowanie na bazie symulacji z RPRO (art. A-4) jest wystarczające? Czy model został przetestowany w rzeczywistych warunkach przemysłowych? Jeśli nie, jakie mogą być potencjalne ograniczenia w implementacji w rzeczywistych środowiskach?
7. W badaniach przedstawionych w publikacji A-4 zauważono, że algorytm miał problemy ze stabilnością przy niektórych parametrach. Jakie mechanizmy mogą zostać zastosowane, aby zwiększyć stabilność, np. normalizacja danych, zmiana funkcji wzmocnienia?
8. Jak opracowane rozwiązanie (art. A-5) radzi sobie z różnicami w szybkości i stylu wykonywania gestów przez różne osoby? Czy algorytm działa dobrze dla osób o różnych umiejętnościach w PJM?
9. Proces wstępnego przetwarzania w pracy A-5, taki jak redukcja obrazu do skali szarości i normalizacja, mógł wpłynąć na utratę informacji o teksturze czy kolorze skóry, co mogłoby pomóc w segmentacji gestów. Czy Autorzy rozważali alternatywne techniki preprocessingu?
10. Czy Autorzy A-5 rozważali zastosowanie bardziej zaawansowanych architektur, np. takich jak transformery, które mogą lepiej uchwycić długoterminowe zależności czasowe? Jakie byłyby ich potencjalne korzyści lub ograniczenia?
11. Artykuł A-6 sugeruje, że redukcja liczby reguł nie wpływa negatywnie na stabilność systemu. Czy badano wpływ dalszej redukcji reguł na jakość wyników i czas obliczeń?

12. Ograniczenie systemu do ruchu wrzeciona w jednym kierunku (praca A-6) może zmniejszać jego uniwersalność. Czy system może zostać dostosowany do bardziej złożonych trajektorii, np. wieloosiowych?
13. Czy w zastosowanych sieciach neuronowych analizowano problematykę wyjaśnialności działania? Czy jest możliwa taka analiza dla algorytmów uczenia ze wzmocnieniem?
14. Ponadto w treści Autoreferatu, publikacji i na rysunkach występują drobne błędy interpunkcyjne, literówki, powtórzenia oraz ewidentne pomyłki edytorskie, które nie wpływają na pozytywny odbiór rozprawy.

Oryginalne rezultaty uzyskane w rozprawie

Do oryginalnych osiągnięć Doktoranta wymienionych w rozprawie należy zaliczyć:

1. Wykonanie szerokiego przeglądu literatury w zakresie wykorzystania algorytmu uczenia ze wzmocnieniem używanego zarówno do zadań przetwarzania obrazu, jak również do zadań sterowania.
2. Identyfikację oraz sformułowanie potencjalnych punktów rozwoju opisywanych dziedzin.
3. Identyfikację oraz sformułowanie problemów badawczych, które są ważne z punktu widzenia zarówno zadania wykrywania gestów na podstawie ciągłego strumienia wideo oraz zadania optymalizacji sterowania dynamiką ruchu wrzeciona maszyny CNC.
4. Udział Doktoranta w opracowaniu dedykowanej bazy danych pozwalającej na trenowanie oraz weryfikację algorytmu czasowej segmentacji strumienia wideo uwzględniającej problem koartykulacji.
5. Opracowanie autorskiej metody wstępnego przetwarzania strumienia wideo złożonej z szeregu operacji wykonywanych na każdej z klatek filmu.
6. Opracowanie autorskiej metody pozwalającej na wykrywanie dynamicznych gestów polskiego języka migowego poprzez czasową segmentację strumienia wideo opartej o głęboką sieć splotową trenowaną algorytmem uczenia się ze wzmocnieniem.
7. Opracowanie dedykowanej bazy danych pozwalającej na trenowanie oraz weryfikację algorytmów optymalizujących pracę maszyny CNC poprzez sterowanie dynamiką ruchu wrzeciona.
8. Udział w opracowaniu autorskich metod optymalizujących pracę maszyny CNC poprzez sterowanie dynamiką ruchu wrzeciona.
9. Sformułowanie wniosków wynikających z przeprowadzonych eksperymentów oraz identyfikację dalszych kierunków rozwoju.
10. Udział w opracowaniu publikacji naukowych omawiających zagadnienia wymienione w niniejszej rozprawie.

Należy podkreślić, że Doktorant w recenzowanej rozprawie doktorskiej wykazał, że posiadał wiedzę i umiejętności samodzielnej pracy naukowej wymagane na tym stopniu rozwoju naukowca.

Poprzez zaproponowanie i opracowanie nowych metod oraz ich dogłębne przetestowanie Doktorant wniósł istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej, co jest podstawą do wystąpienia o stopień doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie **Informatyka techniczna i telekomunikacja**. W mojej ocenie przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, co wyczerpuje wymagania stawiane przez właściwą Ustawę.

Uważam, że cele założone w pracy zostały spełnione a teza potwierdzona.

Sformułowane w recenzji uwagi mają w większości charakter dyskusyjny i nie umniejszają w żaden sposób wartości opracowanej metody ani wysokiemu poziomowi badawczemu rozprawy.

Wniosek końcowy

Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa mgr. inż. Dawida Kalandyka pt. *„Aplikacje metod sztucznej inteligencji ze szczególnym uwzględnieniem algorytmu uczenia się ze wzmocnieniem”* **mieści się w dyscyplinie naukowej „Informatyka Techniczna i Telekomunikacja” oraz spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim**, zgodnie z art. 187 Ustawy z 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r. poz. 742, z późn. zm.). **Wnoszę o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.**

Wniosek o wyróżnienie rozprawy

Dodatkowo, z uwagi na bardzo wysoki poziom naukowy recenzowanej rozprawy, wnoszę do Rady Dyscypliny o **wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Dawida Kalandyka.**

dr hab. inż. Krzysztof Siwek, prof. uczelni

