



Politechnika
Wroclawska

Wrocław, 5.01.2025 r.

Recenzja pracy doktorskiej (sporządzonej w oparciu o cykl publikacji) mgra inż. Dawida Kalandyka zatytułowanej: „Aplikacje metod sztucznej inteligencji ze szczególnym uwzględnieniem algorytmu uczenia się ze wzmocnieniem” przygotowanej pod kierunkiem promotora: dra hab. inż. Romana Zajdla, prof. PRZ w dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja.

Recenzja została sporządzona w związku z powołaniem przez przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Informatyki Technicznej i Telekomunikacji - pana dra hab. inż. Mariusza Oszusta, prof. uczelni, w dniu 30.10.2024 roku, do pełnienia funkcji recenzenta w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja panu mgr. inż. Dawidowi Kalandykowi.

Niniejsza recenzja ma za zadanie 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.) ocenić czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wkładu w dyscyplinę.

W ramach przeprowadzonej recenzji zostaną ocenione następujące punkty:

1. Tematyka pracy doktorskiej i jej wkład w dyscyplinę Informatyka Techniczna i Telekomunikacja.

Ad. 1. Temat pracy doktorskiej brzmi: „Aplikacje metod sztucznej inteligencji ze szczególnym uwzględnieniem algorytmu uczenia się ze wzmocnieniem”.

Rozprawa ta składa się **sześciu** (opublikowanych w latach 2021-2024) ściśle powiązanych tematycznie artykułów naukowych w językach polskim (jeden) oraz angielskim (pięć) i jest zgodna z przepisami zawartymi w artykule 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Artykuły wchodzące w skład cyklu publikacji zostały uprzednio poddane recenzji w ramach procesu publikacyjnego. Tematyka pracy dotyczy zastosowania metod sztucznej inteligencji, ze szczególnym uwzględnieniem algorytmów uczenia ze wzmocnieniem, w zadaniach przetwarzania obrazu i sterowania. Autor w ramach pracy zaproponował algorytm wykrywania gestów z analizą strumienia wideo oraz badano sterowanie ruchem wrzeciona w maszynach CNC.

Praca ta ma interdyscyplinarny charakter, łącząc **Informatykę Techniczną i Telekomunikację z Automatyką, Elektroniką, Elektrotechniką i Technologiami**

Kosmicznymi. W mojej ocenie – wybrany temat rozprawy, jest aktualny i stanowi istotny wkład dla dyscypliny naukowej: **Informatyka Techniczna i Telekomunikacja.**

2. Zagadnienia naukowe rozprawy – hipoteza badawcza oraz zadania.

Ad. 2. W pracy została postawiona następująca hipoteza:

- *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.*

W celu potwierdzenia, której Doktorant sformułował **3** zadania szczegółowe:

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

Każdy wskazany przez pana mgr inż. Dawida Kalandyka problem badawczy został rozwiązany i opublikowany w artykułach naukowych stanowiących zwarty cykl publikacji. Uważam, że problemy postawione w pracy zostały rozwiązane a tezy spełnione. Oceniając otrzymane przez doktoranta wyniki, można stwierdzić, że niniejsza rozprawa doktorska spełnia wszystkie standardy obowiązujące w przypadku prac doktorskich oraz, iż w znacznym stopniu przyczynia się do rozwoju dyscypliny naukowej jaką jest **Informatyka Techniczna i Telekomunikacja.**

3. Struktura pracy

Ad. 3. Rozprawa doktorska składa się z **177** stron (wliczając stronę tytułową, podziękowania, wykaz symboli, oznaczeń i akronimów, spis treści, literaturę, dorobek naukowy autora, artykuły naukowe wchodzące w skład cyklu, streszczenie w języku polski, streszczenie w języku angielski, oświadczenia współautorów) i została podzielona na **4** rozdziały wprowadzające (w tym nieponumerowany spis literatury) oraz ze wspomnianych wcześniej dodatków, w tym pełnych tekstów publikacji wchodzących w skład

Stenka

monotematycznego cyklu. W teoretycznej (wprowadzającej) części pracy zawarto **25** rysunków oraz **9** tabel. Bibliografia składa się z **88** pozycji.

Praca składa się z tak jakby dwóch części - pierwszą część pracy stanowi wprowadzenie teoretyczne, a drugą publikacje wchodzące w skład cyklu, które zostały już poddane recenzji w trakcie procesu publikacyjnego.

Rozprawę rozpoczyna "**Wprowadzenie**" - rozdział **pierwszy**, w którym zawarto wstęp do tematu, motywację oraz aktualny stan wiedzy. Przedstawiono w nim także hipotezę badawczą oraz cele pracy. W rozdziale **drugim** zatytułowanym "**Aplikacje metod sztucznej inteligencji ze szczególnym uwzględnieniem algorytmu uczenia się ze wzmocnieniem**" opisano min. zadania sterowania, algorytmy uczenia się ze wzmocnieniem wykorzystywane w zadaniach sterowania maszynami CNC czy systemy logiki rozmytej w zadaniach sterowania tymi maszynami oraz czasową segmentację strumienia gestów. Rozdział **trzeci** - "**Podsumowanie**" podsumowuje osiągnięcia autora. **Czwarty**, nieponumerowany rozdział, zatytułowany "**Literatura**", zawiera spis publikacji naukowych, wykorzystywanych w tekście.

Druga część pracy - monotematyczny cykl publikacyjny składa się z **sześciu** poniższych artykułów naukowych:

- I. **[A-1] Kalandyk, D.** (2021). Rozdział monografii „Nowoczesne technologie – strategie, rozwiązania i perspektywy rozwoju. Tom 1” pt. „Wykorzystanie algorytmów uczenia się ze wzmocnieniem do przetwarzania obrazów”, str. 180-223; <http://bc.wydawnictwo-tygiel.pl/publikacja/1A77370A-0E87-0A33-F834-334902710840>; wkład: 100%, (autor korespondencyjny)
- II. **[A-2] Kalandyk, D.** (2021). Reinforcement learning in car control: A brief survey. 2021 Selected Issues of Electrical Engineering and Electronics (WZEE), 1-8. <https://doi.org/10.1109/WZEE54157.2021.9576838>; wkład: 100%; (autor korespondencyjny)
- III. **[A-3] Kalandyk, D.**, Kwiatkowski, B., & Mazur, D. (2023, August). Application of Mamdani Fuzzy Logic Inference System to Optimise CNC Machine Motion Dynamics. In 2023 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ) (pp. 1-4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/FUZZ52849.2023.10309802>; wkład 70%; liczba punktów: **140**; (autor korespondencyjny)
- IV. **[A-4] Kalandyk, D.**, Kwiatkowski, B., & Mazur, D. CNC Machine Control Using Deep Reinforcement Learning. Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences, e148940-e148940. <https://doi.org/10.24425/bpasts.2024.148940>; wkład 33.3%; liczba punktów: **100**; IF: **1.2**
- V. **[A-5] Kalandyk, D.**, & Kapuściński, T. (2024). Temporal signed gestures segmentation in an image sequence using deep reinforcement learning. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 131, 107879. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.107879>; wkład 90%; liczba punktów: **140**; IF: **8.0**; (autor korespondencyjny)
- VI. **[A-6] Kalandyk, D.**, Kwiatkowski, B., & Mazur, D. Calculating G-Code for CNC machine using the Mamdani Fuzzy Logic Inference System. Archives of Control Sciences, artykuł przyjęty do publikacji, wkład 33.3%; liczba punktów: **100**; IF: **1.2**; (autor korespondencyjny)

Przedstawione do oceny publikacje obejmują: jeden rozdział w monografii [A-1], dwa artykuły konferencyjne [A-2] i [A-3] oraz trzy artykuły w czasopismach naukowych [A-4], [A-5] oraz [A-6]. We **wszystkich** pracach doktorant jest pierwszym autorem, a w **pięciu** - korespondencyjnym. **Pięć** z **sześciu** opublikowanych prac zostało uwzględnionych w bazach SCOPUS oraz Web of Science. Sumaryczny Impact Factor, obliczony zgodnie z rokiem ukazania się poszczególnych publikacji, wynosi **11,6**, natomiast łączna liczba punktów według wykazu czasopism naukowych MNiSW wynosi **510**.

4. Uwagi redakcyjne, krytyczne oraz pytania do pracy.

Ad. 4.

- W pracy brakuje szczegółowego przeglądu literatury jako osobnego rozdziału, który w jasny i czytelny sposób przedstawiłby korzyści jakie w naukę wnoszą rozwiązania proponowane przez Autora.
- W pracy brakuje osobnego rozdziału stanowiącego szczegółową dyskusję i wnioski na temat przeprowadzonych działań badawczych.
- Brakuje podrozdziału dotyczącego dalszych planów rozwoju naukowego doktoranta.
- Str. 25, Rys. 5 - czy negatyw w tym przypadku poprawił czytelność?
- Str. 26, Rys. 7 - nieczytelny (czcionka).
- Str. 31, Rys. 8 - co dokładnie ma za zadanie ten rysunek? Czy można rozwinąć opis?
- Str. 33, Rys. 10 - praca napisana jest w języku angielskim, dobrze byłoby konsekwentnie trzymać się jednego języka w całej pracy.
- Str. 35-37, Rys. 11-17 - j.w.
- Str. 38, Tab. 1 - j.w.
- Str. 45, Rys. 22 - j.w.
- Str. 46, Rys. 23 - j.w.
- Str. 47, Tab. 6 - j.w.

Pytania do pracy:

[1] Jakie są plany wdrożeniowe Pańskiego rozwiązania?

[2] Jakie jest największe osiągnięcie tej pracy?

[3] Jak liczbowo można byłoby krótko ocenić skuteczność proponowanych rozwiązań?

[4] W jaki sposób algorytmy uczenia się ze wzmocnieniem zostały wykorzystane w zadaniach przetwarzania obrazów oraz sterowania dynamiką ruchu wrzeczona maszyn CNC?

[5] Jakie były główne cele i rezultaty związane z tworzeniem dedykowanych baz danych dla zadań wykrywania gestów i optymalizacji pracy maszyn CNC?

[6] Jakie metody zostały zastosowane w opracowywaniu autorskich rozwiązań, takich jak czasowa segmentacja strumienia wideo i optymalizacja sterowania maszyn CNC?

[7] Jakie są dalsze kierunki rozwoju badań w zakresie wykrywania gestów oraz optymalizacji pracy maszyn CNC, wskazane przez autora rozprawy?

[8] W zagadnieniach związanych z przetwarzaniem dużych zbiorów danych oraz uczeniem modeli na ich podstawie kluczowe znaczenie mają zasoby wykorzystywane w tych

procesach. Proszę opisać opracowane rozwiązanie w tym kontekście i dokonać jego porównania z innymi metodami. Porównanie może być oparte na analizie wyników dostępnych w literaturze.

[9] Czy rozważano (publikacja [A-5]) zastosowanie bardziej zaawansowanych architektur, do bardziej zoptymalizowanego uchwycenia długoterminowych zależności czasowych? Jakże to mogłyby być? Proszę wymienić przynajmniej dwie.

5. Podsumowanie.

Ad. 5. Jak już zostało to wcześniej wspomniane - przedstawione do oceny prace naukowe zostały uprzednio poddane recenzji w procesie publikacyjnym, a całość rozprawy stanowi zbiór tematycznie powiązanych artykułów naukowych. Moje powyższe uwagi krytyczne nie mają wpływu na merytoryczną wartość pracy ani na jej pozytywną ocenę, a pytania mają charakter raczej dociekliwy.

Uważam, że Doktorant z powodzeniem udowodnił postawioną wcześniej hipotezę. Podsumowanie istotnego wkładu w dyscyplinę stanowią min.:

1. Przeprowadzenie wszechstronnego przeglądu literatury dotyczącego zastosowań algorytmu uczenia się ze wzmocnieniem w zadaniach przetwarzania obrazu oraz sterowania.
2. Identyfikację i sformułowanie kluczowych problemów badawczych związanych zarówno z wykrywaniem gestów w ciągłym strumieniu wideo, jak i optymalizacją sterowania dynamiką ruchu wrzeciona maszyn CNC.
3. Opracowanie autorskiej metody wstępnego przetwarzania strumienia wideo, obejmującej szereg operacji wykonywanych na każdej klatce filmu.
4. Zaprojektowanie autorskiej metody wykrywania dynamicznych gestów polskiego języka migowego, wykorzystującej czasową segmentację strumienia wideo opartą na głębokiej sieci splotowej trenowanej algorytmem uczenia się ze wzmocnieniem.
5. Współtworzenie autorskich metod optymalizujących pracę maszyn CNC poprzez sterowanie dynamiką ruchu wrzeciona.
6. Udział w tworzeniu dedykowanej bazy danych do trenowania i weryfikacji algorytmów optymalizujących pracę maszyn CNC poprzez sterowanie dynamiką ruchu wrzeciona.

Ponadto Autor (zgodnie z informacją zawartą w pracy) jest autorem/współautorem **7** publikacji naukowych oraz brał udział w **9** konferencjach naukowych. Za pracę: *Kalandyk, D. "Reinforcement learning in car control: A brief survey", 2021 Selected Issues of Electrical Engineering and Electronics (WZEE), wrzesień 2021, Rzeszów* otrzymał wyróżnienie.

W mojej ocenie rozprawa doktorska **mgra inż. Dawida Kalandyka** zawiera niezwykle wartościowe wyniki badań oraz posiada znaczący potencjał praktyczny. Oceniając całość pracy, wyrażam **pozytywną** opinię. Uważam, że niniejsza rozprawa prezentuje istotne osiągnięcia naukowe w dyscyplinie **Informatyka Techniczna i Telekomunikacja** oraz **spełnia wszystkie wymogi** określone w obowiązującej Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” dotyczącej warunków i trybu przeprowadzania

przewodów doktorskich. W związku z tym praca może zostać przedstawiona do publicznej obrony.

Wnioskuje także o **wyróżnienie rozprawy mgra inż. Dawida Kalandyka** ze względu na jej wysoki poziom oraz bardzo dobry dorobek naukowy Autora.



.....
Dr hab. inż. Aleksandra Kawala-Sterniuk, prof. Uczelni
Katedra Sztucznej Inteligencji
Wydział Informatyki i Telekomunikacji
Politechnika Wrocławska
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, bud. D-21
50-370 Wrocław
aleksandra.kawala-sterniuk@pwr.edu.pl