

dr hab. inż. Agnieszka Landowska
Katedra Inżynierii Oprogramowania
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki
Politechnika Gdańska

Gdańsk, 18.12.2023

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Biuro Rady Dyscypliny
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologie Kosmiczne

wpłynęło dnia 04.01.2024

nr zał.

Recenzja rozprawy doktorskiej
pt. **Modelling social and emotional components in social robotics using
robot artificial intelligence**

autorstwa mgr inż. Eryki Probierz
wykonanej pod kierunkiem promotora
dr hab. inż. Adama Gałuszki, profesora uczelni

Recenzja niniejsza została sporządzona na zlecenie dr hab. inż. Moniki Kwoka, prof. uczelni, Przewodniczącej Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Śląskiej (pismo z dnia 16.10.2023).

1. Tematyka i cele rozprawy

1.1. Tematyka badawcza

Doktorantka w swojej rozprawie podjęła się zagadnienia modelowania społecznych i emocjonalnych aspektów interakcji człowiek - robot.

Tematyka jest aktualna, szczególnie ze względu na fakt, że rozwijająca się robotyka wprowadzana jest współcześnie w coraz więcej obszarów zastosowań. Jednym z wiodących nurtów jest rozwój robotów społecznych, które poprzez wchodzenie w interakcję w sposób analogiczny do interakcji międzyludzkich, mogą wspomagać i kształtować obszar umiejętności społecznych. W interakcjach między robotem a człowiekiem aktualna tendencja to upraszczanie tej interakcji tak, aby bez specjalistycznej wiedzy można było skomunikować się z robotem w celu zapewnienia określonych potrzeb. W tym kontekście tym ważniejszy jest aspekt społeczny i emocjonalny interakcji, którym zajęła się doktorantka w swoich badaniach.

Podsumowując, tematyka dysertacji jest aktualna i ważna w kontekście współczesnych trendów rozwoju robotyki.

1.2. Cele i teza rozprawy

Jak stwierdzono w pracy, robot społeczny ma szansę bycia pomocnikiem, ale też i przyjacielem, ale aby było to możliwe jest konieczne zapewnienie odpowiedniej jakości interakcji człowiek-robot. Celem prac badawczych była eksploracja obszaru modelowania i analizy emocji oraz społecznych aspektów interakcji. W ramach pracy przebadano kilka metod i podejść służących temu celowi. Problem badawczy został sformułowany prawidłowo i jest istotny tak ze względów naukowych, jak i praktycznych.

Teza rozprawy została sformułowana następująco:

The proposed solutions for recognizing and modeling social and emotional components based on robot artificial intelligence allow for implementation and application in social robotics.

Teza rozprawy jest dość ogólna - nie wskazano konkretnych zaproponowanych rozwiązań, ani nie wskazano kryteriów oceny aplikowalności - np. łatwości dopasowania, niskich wymagań wydajnościowych lub innych.

2. Przedstawienie rozprawy

2.1. Układ rozprawy

Przedstawiona rozprawa ma dość ciekawy układ - stanowi ona autoreferat połączony z cyklem ośmiu publikacji, przy czym nietypowo nie przedstawiono najpierw autoreferatu, a potem publikacji. Praca została podzielona na cztery części, w każdej z których umieszczono część autoreferatu, a następnie część publikacji pasujących do danego obszaru badań.

Przy takiej nietypowej konstrukcji, należy uznać, że zgłoszona dysertacja ma charakter cyklu publikacji wraz z wieloczęściowym autoreferatem i jako taka będzie oceniana. Warto tu dodać, że taki układ pracy jest bardzo czytelny i wspomaga recenzenta w ocenie osiągnięcia, więc uznaję to za dobrą praktykę układu rozprawy w przypadku, gdy jest ona cyklem publikacji.

Na całokształt rozprawy składają się następujące części i publikacje:

Część 1. Modelling emotional reponse based on implementations of artificial intelligence and machine learning methods in robotics.

- A1. Probierz, E., Gałuszka, A. (2022) Emotion detection based on sentiment analysis: an example of a social robots on short and long texts conversation. *European Research Studies Journal*, 25(2), pp. 135-144.
- A2. Probierz, E., Gałuszka, A., Grzejszczak, T., Gałuszka, A. (2022). OHBOT social robots emotion modeling using Markov chains and YOLOV5 neural network. In I. Work, E. Maia, & P. Geril (Eds.), *Modelling and simulation 2022. The 2022 European Simulation and Modelling Conference*, October 26-28, 2022, Porto, Portugal, pp. 103–110.

Część 2. Modelling emotional response based on action planning in PDDL language

- A3. Janiaczyk, W., Probierz, E., Gałuszka, A. (2020). On the recognition and analysis of selected emotional states in the artificial intelligence of social robots, *Modelling and simulation 2020. The 2020 European Simulation and Modelling Conference*, pp. 223-228.
- A4. A. Gałuszka, E. Probierz, (2021) On transformation of conditional, conformant and parallel planning to linear programming, *Archives of Control Sciences Volume 31(LXVII)*, 2021, No. 2, pp. 375–399.
- A5. E. Probierz, A. Gałuszka, A. Gałuszka, (2023) Social robot response to negative emotions as a PDDL planning problem in the presence of uncertainty, *Przegląd Elektrotechniczny* 2023 (8).

Część 3. Modelling social behaviour of robots based on the application of neural networks in robotics.

- A6. E. Probierz, M. Wojnar; K. Skowroński; A. Gałuszka; T. Grzeszczak; O. Kędziora, (2022) Application of Tiny-ML methods for face recognition in social robotics using OhBot robots, 2022 26th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), Międzyzdroje, Poland, 2022, pp. 146-151, doi: 10.1109/MMAR55195.2022.9874278.
- A7. Probierz, E. (2023). On emotion detection and recognition using a context-aware approach by social robots : modification of faster R-CNN and YOLO v3 neural networks. *European Research Studies Journal*, 26(1), pp. 572-585.

Część 4. Modelling selected social components using the PID controller in social robotics

- A8. Grzeszczak, T., Bartosiak, N., Wojnar, M., Skowroński, K., Probierz, E. (2022). Regulacja pozycji robota społecznego w sprzężeniu zwrotnym z systemem wizyjnym. In A. Świerniak & J. Krystek (eds.), *Automatyzacja procesów dyskretnych. Teoria i zastosowania*. T. 1, pp. 79–86.

W dalszej części recenzji odwołując się do artykułów będę posługiwać się powyższymi oznaczeniami A1-A8.

Układ pracy jest poprawny, a sama praca zredagowana starannie. W pracy pojawiają się nieliczne błędy literowe, np. słowo "modelling" jest pisane też "modeling" w różnych częściach pracy. Pomimo tych niewielkich uchybień, język pracy jest czytelny, a wywód płynny.

2.2. Analiza bibliograficzna

Doktorantka w cyklu wskazała osiem publikacji. Wśród nich znajdują się:

- jedna publikacja w czasopiśmie *Archives of Control Sciences* (100 pkt MNiSW),
- dwie publikacje w czasopiśmie *European Research Studies Journal* (100 pkt MNiSW),
- jedna publikacja w czasopiśmie *Przegląd Elektrotechniczny* (70 pkt MNiSW),
- dwie publikacje w materiałach konferencyjnych *European Simulation and Modelling Conference* (70 pkt MNiSW),
- jedna publikacja w materiałach konferencyjnych *Conference on Methods and Models in Automation and Robotics* (20 pkt MNiSW),
- jeden rozdział w książce *Automatyzacja procesów dyskretnych. Teoria i zastosowania* (20 pkt MNiSW).

Publikacje ukazały się w roku 2020 (1), 2021 (1), 2022 (4), 2023 (2). Mają stosunkowo niewiele cytowań, co może być związane z tym, że sześć z nich ukazało się w tym i poprzednim roku, więc miały krótki czas na uzyskiwanie cytowań.

Przedstawiony cykl jest bardzo różnorodny i dobrze pokazuje kompetencje doktorantki w zakresie opracowania i publikowania artykułów o charakterze naukowym - w różnych publikatorach.

Bibliograficznie przedstawiony cykl, w kontekście wymagań stawianych doktorantom, oceniam pozytywnie.

2.3. Analiza literatury przedmiotu

Analiza dotychczasowych osiągnięć dziedziny jest przedstawiona zarówno w autoreferacie, jak i w artykułach będących elementami cyklu.

Każda część autoreferatu zawiera obszerne przedstawienie literatury w zakresie objętym daną częścią. Dodatkowo w artykułach zamieszczone są odpowiednie sekcje (o różnych nazwach: theoretical background, literature review, related works lub inne).

W sumie w pracy zacytowano: 10 pozycji dla sekcji Introduction, 51 pozycji dla części 1., 18 pozycji dla części 2., 33 pozycje dla części 3., 16 pozycji dla części 4. oraz 14+23 pozycje dla pozostałych części. Dobór literatury jest poprawny, literatura wskazana w pracy jest aktualna (wiele pozycji z ostatnich 3. lat).

2.4. Zastosowane metody badawcze i osiągnięte wyniki

Artykuł A1 obejmował wykrywanie emocji z tekstu pochodzącego z konwersacji między człowiekiem a robotem. Badanie przeprowadzono z wykorzystaniem polskiego i angielskiego leksykonu słów. Wykorzystane konwersacje pochodzą z uprzednio przygotowanego zbioru w języku polskim, przy czym robot w konwersacji wykazywał jedynie neutralny stan emocjonalny. Przeprowadzono analizę słownikową tekstu i wskazano stany emocjonalne przypisane do występujących słów. Przeprowadzono też analizę czasową zmiany nasycenia emocjonalnego. Wyniki z użyciem polskiego słownika oraz angielskiego słownika (po tłumaczeniu konwersacji) nie wykazały istotnych różnic między tymi dwoma podejściami. Wartością wnoszoną przez ten artykuł jest wykazanie, że analiza sentymentu z użyciem obu leksykonów wykazała podobne wyniki, choć liczba wykrytych słów nasyconych emocjonalnie była dla języka angielskiego znacząco większa niż dla języka polskiego.

Artykuł A2 wykorzystuje sieć YOLO w wersji 5s oraz łańcuchy Markowa (Markov chains) do rozpoznawania emocji, ich predykcji oraz imitacji w robocie OhBot. Zestaw emocji to typowe emocje dyskretne z modelu Ekmana, oraz znany zbiór danych AffectNet. Najciekawszym elementem badania jest analiza następstw stanów, w tym grafy tranzykcji między stanami emocjonalnymi oraz określanie takiego aspektu interakcji jak styl emocjonalny. W wyniku tych analiz robot próbuje dopasować swój styl interakcji oraz ekspresję mimiczną do ludzkiego partnera wchodzącego z nim w interakcję. Rozwiązanie opisane w artykule stanowi przykład afektywnej pętli zwrotnej (ang. affective loop) w interakcji człowiek-robot.

W artykule A3 zaproponowano użycie języka PDDL do zamodelowania stanu emocjonalnego człowieka w interakcji z robotem. Język ten służy do opisu i rozwiązywania problemów planowania w warunkach niepewności, a praktyczne jego użycie do zaprogramowania działania robota jest bardzo wartościowym wkładem. W tym przypadku za funkcję celu uznano redukcję lub przynajmniej nie-escalowanie negatywnych stanów emocjonalnych człowieka.

Artykuł A4 analizuje problemy planowania (conformant planning, conditional planning, parallel conformant planning) oraz ich odwzorowanie do programowania liniowego. Ten

artykuł wyraźnie odbiega od głównego nurtu cyklu, jakim jest social robotics. Przykłady użyte w artykule nie dotyczą tej dziedziny zastosowań.

Artykuł A5 jest rozwinięciem artykułu A3 i również dotyczy zastosowania języka PDDL w modelowaniu stanu emocjonalnego człowieka oraz potencjalnej odpowiedzi robota. Artykuł ten podkreśla niepewność związaną z rozpoznawaniem emocji ludzkich - co jest niezwykle wartościowym aspektem. Za pomocą języka PDDL pokazano, jak uwzględnić niepewność oszacowania stanu emocjonalnego i umożliwić dalsze działanie robota. Pokazano cztery różne scenariusze, w których było od jednego do czterech niepewnych stanów emocjonalnych.

Artykuł A6 dotyczy detekcji twarzy oraz obecności maseczki w kontekście gdy robot skanuje otoczenie w celu wykrycia obecności człowieka w otoczeniu oraz detekcji poprawności założenia maseczki. W tym celu posłużono się ponownie siecią neuronową YOLO w wersjach dopasowanych do wymagań zastosowanego robota OhBot. Posłużono się zbiorem danych MS COCO do detekcji twarzy oraz innym zbiorem obrazującym poprawność założenia maseczki. Wykazano, że wykrycie poprawności założenia maseczki jest zadaniem prostszym niż odszukanie człowieka w obrazie z otoczenia, wykazano nieznaczną przewagę rozwiązania YOLOv5s nad YOLOv4 - tiny w obu tych zastosowaniach. Następnie oba te rozwiązania zostały użyte do sterowania interakcją robota z człowiekiem. Artykuł ponownie pokazuje możliwości adaptacyjności rozwiązań robotycznych do potencjalnego partnera w interakcji. Co ciekawe, w eksperymentach wykazano, że część ludzi była skłonna do poprawienia maseczki, gdy zwrócił im uwagę robot.

Artykuł A7 dotyczy rozpoznawania emocji z obrazów z wykorzystaniem sieci YOLO oraz R-CNN. Posłużono się bazą EMOTIC, która zawiera zdjęcia ludzi w różnych kontekstach i jest oznakowana stanami emocjonalnymi. W artykule podano pewną miarę skuteczności (performance score AP) dla istniejących algorytmów dostępnych w literaturze oraz dla własnej implementacji sieci YOLO oraz R-CNN, wraz z jej modyfikacją. Wyniki ogólnie są interesujące, choć sam przebieg badania nie został udokumentowany szczegółowo (wątpliwości w sekcji 3.2).

Artykuł A8 dotyczy możliwości takiego sterowania ułożeniem twarzy robota OhBot, żeby pozorować utrzymywanie kontaktu wzrokowego. Artykuł skupia się na szczegółach implementacji kontrolera robota, jednak jest interesujący z perspektywy zastosowania tych algorytmów w interakcji człowiek-robot.

2.5. Indywidualny wkład autorski

Jedna z przedstawionych publikacji jest jednoautorska (A7), pozostałe (7) są wieloautorskie, przy czym w 4 z nich doktorantka jest pierwszym autorem (A1, A2, A5, A6).

W pracy załączono oświadczenia od dwóch współautorów - A. Gałuszki, który był współautorem w 6. publikacjach, oraz T. Grzejszczaka, który był współautorem w jednej publikacji (A8). Oświadczenia te nie precyzują indywidualnego wkładu współautorów, a

zamiast tego zawierają potwierdzenie, że informacje zawarte we wstępie pracy są zgodne z prawdą. W pracy nie zamieszczono oświadczeń innych współautorów.

Analiza informacji o indywidualnym wkładzie autorki, zawartych we wstępie pracy pozwala na następujące wnioski:

- artykuł A1 powstał z wiodącym udziałem doktorantki, jest potwierdzenie współautora,
- artykuł A2 powstał przy równym wkładzie doktorantki i pozostałych autorów, przy czym doktorantka była odpowiedzialna za zbudowanie modeli oraz opracowanie danych, jest potwierdzenie od 1 współautora pracy,
- w artykule A3 doktorantka jest drugim autorem, wskazuje, że jej wkładem jest koncepcja badania oraz opracowanie pierwszej wersji artykułu, w rozprawie nie zamieszczono oświadczenia od pierwszego autora artykułu,
- artykuł A4 powstał przy równym udziale doktorantki i jej promotora, przy czym autorka była odpowiedzialna za przeprowadzenie badania, jest potwierdzenie od współautora,
- artykuł A5 powstał przy wiodącym wkładzie doktorantki, jest potwierdzenie od współautora,
- artykuł A6 ma siedmiu autorów (doktorantka jest pierwszym autorem), a realizacja badań była rozproszona między wielu autorów, doktorantka była odpowiedzialna za metodykę badawczą i prowadzenie eksperymentów, jest potwierdzenie od jednego współautora,
- artykuł A8 ma 5 współautorów, przy czym doktorantka jest ostatnim z autorów, wskazano, że piąty współautor był odpowiedzialny za zarządzanie i nadzór projektu, jest potwierdzenie od wiodącego autora tej publikacji.

Podsumowując, nie budzi wątpliwości autorski wkład doktorantki w publikacje A1, A2, A4, A5, A7. Odnośnie artykułów A3, A6, A8 wskazane byłoby załączenie oświadczeń od większej liczby współautorów. Wkład doktorantki w artykuł A8, wg wykazanej kolejności autorów i opisu ich wkładu, jest nieznaczny.

3. Ocena przedstawionej rozprawy

3.1. Mocne strony rozprawy

Podsumowując, doktorantka wykazała się znajomością następujących metod badawczych:

- analiza sentymentu w tekście z wykorzystaniem metody słownikowej,
- znajomość i posługiwanie się modelami emocji używanymi w informatyce afektywnej,
- znajomość i posługiwanie się zbiorami danych obiektów otagowanych stanami emocjonalnymi, używanymi w informatyce afektywnej,
- posługiwanie się sieciami neuronowymi YOLO w kilku wersjach, przeznaczonych do rozpoznawania obiektów, w szczególności na maszynach z ograniczeniami przetwarzania (wersja s, tiny), a także siecią R-CNN,

- posługiwanie się łańcuchami Markowa do modelowania i predykcji stanów emocjonalnych,
- posługiwanie się formalnym językiem PDDL do opisu problemu i jego rozwiązania w warunkach niepewności.

Podsumowując, na osiągnięte przez doktorantkę wyniki składają się:

- analiza sentymentu w konwersacjach między robotem a człowiekiem z użyciem metody słownikowej,
- zbudowanie w praktyce modelu pętli afektywnej z użyciem robota OhBot - rozpoznawanie emocji człowieka, ich predykcja i dopasowanie zachowania robota,
- wykazanie przydatności łańcuchów Markowa do modelowania i predykcji stanów emocjonalnych,
- zaproponowanie i pokazanie na praktycznych scenariuszach użycia języka PDDL do sterowania reakcją robota po wykryciu stanów emocjonalnych ludzkiego partnera w interakcji, język PDDL pozwala na zamodelowanie niepewności wynikającej z predykcji stanów emocjonalnych,
- zaprojektowanie i implementacja interakcji robot-człowiek dotyczącej nawiązywania interakcji i detekcji prawidłowości założenia maseczki,
- zaproponowanie dopasowania położenia twarzy robota do położenia twarzy człowieka w celu symulacji kontaktu wzrokowego.

Zaproponowany cykl (poza artykułem A4) dotyczy modelowania interakcji człowiek-robot. W wykonanych badaniach doktorantka zwracała uwagę na różnorodne aspekty interakcji, zaczynając od wykrycia obecności człowieka i inicjacji interakcji, przez pozorowanie utrzymywania kontaktu wzrokowego, rozpoznawanie emocji z obrazu oraz z tekstu konwersacji z robotem, aż do pełnej pętli afektywnej (od rozpoznania przez predykcję do zachowania robota dopasowanego do stanu emocjonalnego człowieka). Na szczególne podkreślenie zasługuje uwzględnienie problemu niepewności rozpoznawania stanów emocjonalnych w sterowaniu zachowaniem robota i zamodelowanie tych problemów oraz proponowanych rozwiązań za pomocą języka PDDL.

3.2. Słabe strony rozprawy i kwestie do dyskusji

Przedstawiona rozprawa nie jest wolna od pewnych wad i niedopowiedzeń, z których najważniejsze wskazano poniżej.

W artykule A1 nie opisano dokładniej samych konwersacji robot-człowiek - nie wskazano, jaki to był robot (różne roboty?) oraz jaka była charakterystyka grupy badanej, a także kontekst zbierania tych konwersacji. Dodatkowo proszę o dyskusję, jakie inne metody poza słownikową, nadawałyby się do analizy tej konwersacji, i jakie są wady zaproponowanego podejścia słownikowego w kontekście analizy interakcji człowiek-robot.

W artykule A2 niejasne są podawane wartości efektywności predykcji. Przede wszystkim podawany przedział jest podany niepoprawnie (od większej do mniejszej wartości). Po drugie, w artykule nie wskazano, jaka miara jest podawana. Raz jest używana nazwa "effectiveness of detection", a w innym miejscu "effectiveness of prediction", a są to dwa różne etapy. Nie podano też, jak obliczono tę miarę - czy jest to dokładność (accuracy), czy też inna miara skuteczności.

W artykule A3 w opisie scenariuszy pojawia się "disgust", a w tabelach opisujących ten sam scenariusz pojawia się "hate" - z czego wynika ta rozbieżność?

Artykuł A4 wyraźnie odbiega od głównego nurtu cyklu, jakim jest modelowanie interakcji w social robotics - proszę o uzasadnienie, dlaczego został umieszczony w cyklu.

W artykule A7 użyto podziału 70:30 na zbiór uczący i testowy. Typowe strategie zakładają raczej wielokrotny podział np. strategia k-foldów. Aby uzyskać wiarygodny wynik najczęściej stosuje się 10-foldów lub strategię leave-one-out. Proszę o odpowiedź, dlaczego przyjęto jedynie podział 70:30 i czy ten podział oraz pomiar wykonywano wielokrotnie, czy tylko jednokrotnie. Dodatkowo w artykule nie podano, co znaczy miara AP użyta w wynikach i jak dokładnie ją obliczano. W tym samym artykule nie opisano dokładnie, na czym polegała modyfikacja sieci neuronowych, raczej zawarte są stwierdzenia ogólne - proszę o doprecyzowanie na czym dokładnie polegała ta zmiana i w jakim celu została przeprowadzona. Ponadto w sekcji Comparison znajduje się zdanie, że cechy w pierwszej wersji wyznaczono z podkreślonego tekstu (highlighted text, strona 126), a w drugiej wersji z całego obrazu. Według całego opisu w badaniach użyto bazy obrazów, a nie tekstu, więc zapis ten jest niejasny.

Inną kwestią jest to, na ile ten artykuł dotyczy social robotics. O temacie robotów jest dużo we wstępie, następnie badania właściwie są wykonane na bazie EMOTIC, nie pochodzącej z interakcji człowiek-robot, a na sam koniec podsumowania dodano 1 zdanie o możliwości zastosowania w robotach społecznych.

Artykuł A8 skupia się na kontrolerze robota i aspektach praktycznych. Proszę o dyskusję, jak można zmierzyć faktyczny wpływ zastosowanego rozwiązania na interakcję człowiek-robot.

3.3. Możliwości zastosowania wyników badań

Badania przedstawione w cyklu artykułów są ciekawe tak z naukowego, jak i z praktycznego punktu widzenia. Stanowią one ważny krok w kierunku budowy społecznych robotów, które poprawnie rozpoznają stany emocjonalne ludzkiego partnera i dopasowują do nich interakcję. Dzięki badaniom takim, jak przedstawione w rozprawie, zbliżamy się pełnej pętli afektywnej w interakcji człowiek-maszyna. Obszary zastosowań robotów społecznych obejmują terapię np. w autyzmie czy towarzyszenie osobom samotnym i chorym. Rozwój technologii robotycznej powinien iść w parze z poprawą interakcji robotów z człowiekiem, do czego mogą przyczynić się badania doktorantki.

4. Konkluzja

Problem naukowy został trafnie i jasno sformułowany, a tematyka rozprawy jest aktualna i ważna w świetle współczesnych zastosowań robotyki. Rozprawa obejmuje najnowsze osiągnięcia z powiązanych dziedzin. Na podkreślenie zasługuje interdyscyplinarny charakter pracy, która łączy robotykę, metody sztucznej inteligencji, oraz psychologię. Doktorantka rozwiązała postawiony problem proponując i badając szereg różnych metod, które mogą mieć wpływ na poprawę jakości interakcji człowiek-robot.

Doktorantka posiada szczegółową wiedzę odpowiadającą interdyscyplinarnemu charakterowi przedstawionej rozprawy. Nieco wątpliwości budzi raportowanie wyników rozpoznawania emocji, w szczególności przyjęte metody podziału na zbiór testowy i uczący, a także podawane miary skuteczności rozpoznawania. To przekłada się na kilka wątpliwości, wyrażonych już wcześniej.

Pewnym problemem jest niewłaściwie udokumentowany wkład autorski w publikację A8 oraz nie pasująca do pozostałych publikacja A4 zawarta w cyklu.

Podsumowując, stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Eryki Probierz stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i pomimo kilku uwag krytycznych spełnia wymagania określone w Ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i Nauce. W związku z tym przedstawioną **rozprawę oceniam pozytywnie i wnioskuję o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.**