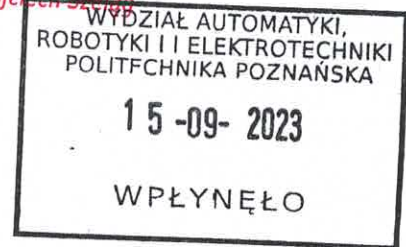


PRZEWODNICZĄCY RADY DYSCYPLINY
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologie Kosmiczne
prof. dr hab. inż. Wojciech Szela

Szczecin, 9.09.2023 r.

dr hab. inż. Krzysztof Okarma, prof. ZUT
Katedra Przetwarzania Sygnałów i Inżynierii Multimedialnej
Wydział Elektryczny
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie



RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
dla Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne
Politechniki Poznańskiej

*opracowana na podstawie uchwały nr 47/2022-2023 Rady Dyscypliny Automatyka,
Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Poznańskiej z dnia 21.06.2023 r.
oraz pisma Przewodniczącego Rady prof. dr. hab. inż. Wojciecha Szela z dnia 11.07.2023 r.*

Tytuł rozprawy: **Restricted Boltzmann Machine as a binary image descriptors
processor and its application in a mobile robot for scene recognition**

Autor rozprawy: **mgr inż. Szymon Sobczak**

Dyscyplina naukowa: **automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne**

Promotor: **dr hab. inż. Dariusz Pazderski**

Promotor pomocniczy: **dr inż. Rafał Kapela**

I. TEMATYKA, TEZA NAUKOWA I CEL ROZPRAWY

Rozprawa doktorska dotyczy tematyki związanej z zastosowaniem metod sztucznej inteligencji, a w szczególności uczenia maszynowego i sztucznych sieci neuronowych, w połączeniu z metodami analizy obrazów, w zastosowaniu do nawigacji robotów mobilnych. Jest to tematyka dynamicznie rozwijająca się w ciągu ostatnich lat, głównie ze względu na dynamiczny rozwój oraz wzrost popularności głębokich sieci neuronowych. Autor rozprawy słusznie dostrzega te trendy rozwojowe, zwracając jednak uwagę na ich ograniczenia oraz potencjalne niedoskonałości. Biorąc pod uwagę fakt, iż nie wszystkie osiągnięcia z ostatnich lat rozwoju metod sztucznej inteligencji mogą być efektywnie zastosowane w środowiskach o ograniczonej mocy obliczeniowej, w tym na platformach robotów mobilnych, wybór tematyki badawczej uznać należy za trafny.

Praca doktorska mgr. inż. Szymona Sobczaka zawiera elementy związane z dyscypliną naukową informatyka techniczna i telekomunikacja, jednak jej znacząca część wiąże się bezpośrednio z zagadnieniami automatyki robotyki oraz elektroniki. Bardzo dobrze wpisuje się ona zatem w aktualną dyscyplinę naukową *automatyka elektronika elektrotechnika i technologie kosmiczne*, a jej związek z bardzo bliską jej *informatyką techniczną i telekomunikacją* uznać należy za zaletę wynikającą w naturalny sposób z trendów rozwojowych obu tych, często przenikających się, dyscyplin naukowych, zwłaszcza w zakresie widzenia maszynowego i komputerowego oraz metod sztucznej inteligencji.

Teza rozprawy została sformułowana w sposób jawny na str. 19, została jednak podzielona na części składowe. Autor wskazał możliwość poprawy generalizacji działania sieci neuronowej dzięki zastosowaniu nienadzorowanego uczenia sieci i przetwarzania wstępnego obrazu z użyciem zaproponowanego deskryptora binarnego, a także na możliwość jego zastosowania w celu ograniczenia złożoności sieci neuronowej bez znaczącego obniżenia dokładności klasyfikacji. Wskazał również na potencjalne ograniczenie czułości sieci klasyfikującej obiekty widoczne na obrazie na jego zniekształcenia, jak również możliwość zastosowania dodatkowej metryki pozwalającej na określenie odległości pomiędzy zbiorami obrazów testowych.

Teza pracy została w niej potwierdzona, co dotyczy w szczególności pierwszych dwóch stwierdzeń, będących istotnie jej najistotniejszymi elementami. Postawione cele można również uznać za osiągnięte. Dotyczyły one zaproponowania nowego rodzaju deskryptora cech obrazu oraz jego zastosowania w zmodyfikowanej architekturze sieci neuronowych w celu ułatwienia klasyfikacji obiektów przez sieci o zdecydowanie mniejszej liczbie neuronów oraz warstw. Biorąc pod uwagę ograniczenia sprzętowe systemach współczesnej robotyki mobilnej, cele pracy, dotyczące również kompleksowego testowania zaproponowanego rozwiązania, zostały sformułowane prawidłowo.

II. ZAWARTOŚĆ MERYTORYCZNA ROZPRAWY

Rozprawa doktorska pt. *„Restricted Boltzmann Machine as a binary image descriptors processor and its application in a mobile robot for scene recognition”* została napisana w całości w języku angielskim. Zawiera ona bogatą bibliografię liczącą 199 pozycji a 7 rozdziałów stanowiących jej zasadniczą część zostało wzbogaconych o 3 załączniki i wykazy oznaczeń tabel oraz ilustracji.

Pierwszy rozdział pracy ma charakter wprowadzający – przedstawiono w nim podstawowe pojęcia z zakresu widzenia maszynowego, sieci neuronowych oraz omówiono podjęte problemy badawcze oraz zaproponowane rozwiązania. W rozdziale tym sformułowano także tezę oraz cele rozprawy, a także przedstawiono jej strukturę. Rozdział 2. również ma charakter opisowy, gdyż przedstawiono w nim zagadnienia dotyczące cech obrazów oraz sposobów ich określania. Omówiono ideę splotowych sieci neuronowych, zasadę działania autoenkodera, sieci Hopfielda, a także maszynę Boltzmann, co stanowi jeden z fundamentalnych elementów dla dalszych części rozprawy. Przedstawiono deskryptory binarne, w szczególności LPB, metody ich agregacji, a także

zapropowaną modyfikację deskryptora LBP, stanowiącą jedno z zasadniczych autorskich osiągnięć przedstawionych w dysertacji.

Rozdział 3. dotyczy opisu ograniczonej maszyny Boltzmanna (ang. Restricted Boltzmann Machine – RBM) zastosowane w niniejszej rozprawie jako podstawowe narzędzie do klasyfikacji obrazów opisanych za pomocą zaproponowanych deskryptorów. Omówiono w nim różnice pomiędzy maszyną Boltzmanna a sieciami Hopfielda, a także metody uczenia sieci RBM.

Połączenie i rozwinięcie informacji przedstawionych w poprzednich rozdziałach następuje w rozdziale 4. dotyczącym przetwarzania i klasyfikacji obrazów przy użyciu deskryptorów binarnych oraz sieci RBM. Autor przedstawił w nim własną implementację zaproponowanego rozwiązania oraz szczegółową analizę jego zastosowań. Wyniki badań eksperymentalnych zostały przedstawione w rozdziale 5., w którym użyto trzech wcześniej przedstawionych autorskich architektur: CD-KNN, CD-CNN oraz HS-CNN. Pierwsze dwie bazują na użyciu aproksymacji gradientu znanej jako Contrastive Divergence (CD), natomiast trzecia opiera się na użyciu tzw. przestrzeni ukrytej (ang. Hidden Space) w sieci RBM. W pierwszej z wymienionych architektur agregacja deskryptorów cech i finalna klasyfikacja odbywa się z użyciem metody k najbliższych sąsiadów (KNN), natomiast w obu kolejnych użyta jest spłotowa sieć neuronowa. W tej części dysertacji przedstawiono zestaw eksperymentów mających na celu weryfikację właściwości oraz przydatności zaproponowanych rozwiązań do różnych celów, oczywiście wraz z analizą uzyskanych wyników. Eksperymenty te przeprowadzono z użyciem różnych baz testowych w zależności od zastosowań. Pozwoliły one na eksperymentalne potwierdzenie przydatności zaproponowanych w rozprawie rozwiązań, a także weryfikację przedstawionych hipotez badawczych.

Biorąc pod uwagę dyscyplinę naukową, w której nadany ma być stopień doktora nauk inżyniersko-technicznych, szczególnie istotną częścią dysertacji jest rozdział 6., który dotyczy zastosowania zaproponowanych metod w robotyce mobilnej. Doktorant szczegółowo przedstawił w nim budowę stanowiska eksperymentalnego, architekturę opracowanej aplikacji i środowiska badawczego, informacje dotyczące kinematyki robota oraz wyniki pięciu eksperymentów badawczych dotyczących następujących zagadnień: ruchu obrotowego robota na podstawie sprzężenia wizyjnego, klasyfikacja trzech rodzajów obiektów „widzianych” przez kamerę zlokalizowaną na robocie mobilnym, pozycjonowanie robota mobilnego względem określonego przedmiotu oparte na wizyjnym sprzężeniu zwrotnym, generowanie map położenia obiektów wykrywanych przez system wizyjny robota mobilnego, a także porównanie baz obrazów testowych zarejestrowanych za pomocą kamery robota mobilnego na podstawie metryk oraz histogramów. Każdy z pięciu eksperymentów wykonany został przy pomocy zmodyfikowanej sieci neuronowej bazującej na ograniczonej maszynie Boltzmanna oraz zaproponowanym w niniejszej dysertacji zmodyfikowanym deskrypcyjnym CLBP.

Ostatni rozdział zawiera wnioski z przeprowadzonych badań oraz podsumowanie osiągniętych rezultatów. Załącznikach przedstawiono szczegóły implementacji sieci RBM oraz deskryptora CLBP, trenowania sieci oraz estymacji odchylenia kąтового robota z użyciem dedykowanego systemu wizyjnego.

III. OGÓLNA OCENA ROZPRAWY I UWAGI DYSKUSYJNE

Rozprawa doktorska została zredagowana dość starannie, docenić należy także fakt napisania jej w języku angielskim w sposób zrozumiały, z zaledwie nielicznymi potknięciami językowymi. Pozycje bibliograficzne są dobrane adekwatnie do tematyki pracy, jednakże nie wszystkie zostały opisane w sposób jednolity i kompletny. W niektórych wpisach bibliograficznych brakuje numerów stron, stosowane są różne sposoby oznaczania ich zakresów, w nazwach niektórych konferencji oraz czasopism nie są stosowane wielkie litery. Bardzo nieliczne są niestety publikacje współautorstwa doktoranta ujęte w bibliografii. W rozprawie znaleźć można pewną liczbę usterek typograficznych, czy też językowych, jednak choć są one zwykle nieuniknione to są stosunkowo nieliczne, a zatem w żadnej mierze nie obniżają oceny rozprawy.

Doktorant umiejętnie połączył osiągnięcia zakresu rozwoju głębokich sieci neuronowych z zagadnieniami robotyki mobilnej, biorąc pod uwagę ograniczenia możliwości zastosowania skomplikowanych i kosztownych obliczeniowo algorytmów w zadaniach czasu rzeczywistego przy ograniczonej mocy obliczeniowej często spotykanej w robotyce mobilnej oraz systemach wbudowanych. Wykazał się znajomością wielu rozwiązań z tego zakresu oraz umiejętnością doboru najbardziej adekwatnego rozwiązania oraz jego twórczej modyfikacji.

Do głównych osiągnięć Doktoranta zaliczyć należy:

- zaproponowanie, przetestowanie i weryfikację przydatności zmodyfikowanego deskryptora binarnego CLBP, zawierającego – w porównaniu z „klasycznym” deskryptorem LPB – dodatkowe informacje dotyczące poziomu jasności oraz różnic pomiędzy poszczególnymi kanałami RGB obrazu,
- zaproponowanie i zweryfikowanie idei wstępnego przetwarzania obrazu z użyciem zaproponowanego deskryptora oraz ograniczonej maszyny Boltzmanna, w celu znacznego uproszczenia struktury sieci bez znaczącego pogorszenia wyników klasyfikacji obrazów,
- przeprowadzenie zestawu badań eksperymentalnych, w tym również z użyciem robotów mobilnych, w celu weryfikacji potwierdzenia zalet proponowanego rozwiązania.

W dobie dynamicznego rozwoju systemów bazujących na głębokich sieciach neuronowych, stosowanych bezpośrednio dla danych obrazowych reprezentowanych w klasyczny sposób jako macierze pikseli, zaproponowane w rozprawie podejście jest bardzo istotne z naukowego oraz praktycznego punktu widzenia, pomimo iż sieci RBM są znane od wielu lat. Pozwala ono na uniknięcie konieczności stosowania złożonych struktur sieci neuronowych, choć zwykle wymaga znajomości klasycznych cech oraz struktur obrazowych, które mogą wystąpić w obrazach specyficznych dla konkretnego zastosowania. Podejście to można uznać za swego rodzaju połączenie metod sztucznej inteligencji, pozwalających na automatyczną ekstrakcję cech obrazu, z podejściem klasycznym wykorzystującym tzw. *handcrafted features*. Dzięki takiemu połączeniu możliwe jest zarówno efektywniejsze uczenie się dzieki jak również uproszczenie jej struktury, co zostało wykazane w dysertacji.

W trakcie lektury rozprawy nasunęły się pewne uwagi i wątpliwości dotyczące przeprowadzanych eksperymentów oraz przyjętych założeń. Przedstawiony w rozdziale 2.4 wybór deskryptora LBP nie został umotywowany w sposób jednoznacznie przekonujący, choć można się domyślić, iż z jednym z decydujących kryteriów był czas przetwarzania przedstawiony w Tabeli 2.2. W podrozdziale 2.5 przydatne byłoby porównanie zaproponowanego deskryptora z alternatywnymi rozwiązaniami, zarówno pod względem szybkości przetwarzania jak i dokładności klasyfikacji. Szkoda, że w rozprawie zabrakło wyników porównawczych uzyskanych dla innych deskryptorów, co niewątpliwie by ją dodatkowo wzbogaciło.

Bardzo ciekawe stwierdzenie Autor zawarł na stronie 78. Dotyczy ono wpływu obniżenia jakości obrazu na wyniki uzyskiwane przez sieci neuronowe. Czy Autor podjął jakieś próby znalezienia związku pomiędzy wskaźnikami jakości obrazu a wynikami klasyfikacji uzyskiwanymi na wyjściu sieci?

Nie do końca jest jasne, jakie jest zadanie sieci w kontekście licznych eksperymentów opisanych w rozdziale 5. i kolejnych. Co właściwie sieć ma rozpoznawać i jaki jest związek pomiędzy różnymi bazami w kontekście finalnego celu uczenia sieci? Przedstawione eksperymenty są ze sobą w dość luźny sposób powiązane, aczkolwiek faktycznie dotyczą badań ściśle związanych z proponowanym rozwiązaniem. Stosunkowo mało istotny wydaje się tutaj eksperyment nr 3 – w przeciwieństwie do kolejnego, dotyczącego zbadania możliwości uogólniania, czy też podobnego eksperymentu nr 7 dla architektury HS-CNN.

Wybór baz zastosowanych w podrozdziale 5.1.3 (od str. 96) również powinien być nieco lepiej umotywowany.

Wyniki przedstawione w Tabeli 5.2 są zaokrąglone, w związku z czym nasuwa się pytanie, jaka była dokładność pomiaru czasu w tym eksperymencie.

Nie jest jasne skąd pochodzi rysunek 1.6 na str. 16. Autor wskazuje w podpisie aż 10 pozycji bibliograficznych, można się jednak domyślać, iż rysunek ten jest dziełem Doktoranta, który powstał jedynie w wyniku agregacji danych zawartych w literaturze.

Wątpliwości budzą jednostki zastosowane na prawej osi rysunku 5.13 – czy są to wartości procentowe czy względne wartości poprawy dokładności (wartości rzędu 2 sugerowałyby dwukrotny jej wzrost, co nie wynika z wykresu i wartości na lewej osi)? Nie jest również jasna interpretacja błędu średniego pozycjonowania przedstawionego na rys. 6.10. Dlaczego są tam po dwie wartości oznaczone czerwonymi punktami dla każdej klasy?

W eksperymencie nr 11 (od str. 109) zastosowano szum impulsowy wygenerowany w sposób sztuczny. Tego rodzaju zakłócenia w obrazach cyfrowych nie są już tak powszechnie spotykane, jak niegdyś przy akwizycji i transmisji obrazów analogowych. Co skłoniło Autora do wyboru akurat takiego rodzaju szumu? Jak widać w eksperymencie nr 13 rozważane były szумы Gaussowskie, jak też inne rodzaje zniekształceń np. rozmycie lub artefakty związane ze stratną kompresją obrazu.

Obraz testowy przedstawiony w tabeli 5.11 jest często spotykany w publikacjach związanych z przetwarzaniem i analizą obrazów, jednak nie jest to obraz typowy dla zastosowań robotycznych.

Ze względu na fakt, iż w rozprawie zaprezentowano deskryptor CLBP bazujący na różnicach składowych koloru modelu RGB, nasuwa się pytanie, czy testowane były możliwości użycia innych modeli kolorów. Czy Autor spodziewałby się podobnych wyników np. dla modelu CIELAB czy HSV? Podobnie interesujące byłoby przedstawienie wyników eksperymentu nr 4 (rys. 5.6) także dla innych baz niż CIFAR-10.

Przedstawione uwagi mają charakter dyskusyjny i nie umniejszają ogólnej pozytywnej oceny rozprawy. Niektóre z nich mogą jednak stanowić przyczynek do dyskusji podczas obrony, a być może także dalszych badań.

IV. UWAGI SZCZEGÓŁOWE

Podczas lektury rozprawy zauważono dość nieliczne usterki mniejszej wagi, które nie wpływają na ogólny odbiór pracy i jej ocenę pod względem merytorycznym. Uwagę zwraca sposób ułożenia tekstu oraz obrazów skutkujący pozostawianiem niewypełnionych znacznych części stron w niektórych rozdziałach, np. str. 50, 57, 66, 91, 140, 145, 152, czy też 153. Na końcach wierszy często znajduje się przedimek „a”, który mógłby być przeniesiony do kolejnych wierszy, choć w języku angielskim nie jest to błędem. Tym niemniej podobna usterka występuje dwukrotnie w polskojęzycznym streszczeniu na str. 4 (przyimki „w” oraz „z”). Ponadto, sposób cytowania wielu pozycji bibliograficznych nie jest typowy, np. zapis na str. 6 [1,2,3,4,5,6,7] nie jest raczej spotykany w publikacjach – zwykle stosuje się w takiej sytuacji skrócony zapis [1-7]. Podobna uwaga dotyczy str. 30 ([86-89]), str. 32 ([103-105]), str. 36 ([113-117]), str. 45 ([128-130]), str. 60 ([146-148]), czy też str. 104 ([183-187]). W kilku zaledwie miejscach zauważyć można brak spacji, np. str. 49 „*formula*[136]”, czy na str. 55 „*used*[133]”, czy też brak kropki na końcu zdania (np. str. 145).

Niektóre spośród pozostałych uwag zostały wymienione poniżej:

- w pracy zauważyć można pewną liczbę drobnych usterek interpunkcyjnych oraz typograficznych, np. w polskojęzycznym streszczeniu („*neuornowa*”, „*predyckję*”) i w głównym tekście, np. „*fine-tunned*” (str. 60), „*compaerd*” (str. 79), „*Jestson*” (str. 128), „*We we*” (str. 134), „*furthe*” (str. 161), czy też „*utlised*” (str. 165).
- użyte kilkakrotnie (np. str. 1) sformułowanie „*a special metrics*”, choć poprawne, jest nieco mylące, kojarząc się z liczbą mnogą; zapewne mogłoby być zastąpione frazą „*a special metric*”;
- słowa „*rozwiązywaniem*” i „*rozwiązywania*” występujące na str. 3 powinny być zastąpione słowami „*rozwiązaniem*” oraz „*rozwiązania*”;
- na str. 6 zamiast „*problems consider in this thesis*” powinno być „*problems considered in this thesis*”;
- w przypadku rozpoczynania zdania od akronimu, zwłaszcza w liczbie pojedynczej, stosuje się przedimek „*the*” (np. „*The MLP*” na str. 11) lub jego rozwinięcie;
- na str. 18 zamiast słowa „*focus*” powinno być „*focuses*”;
- na str. 23 zamiast „*each channels*” powinno być „*each channel*”, „*all channels*” lub „*each of channels*”;
- zapis liczb na str. 25 jest nietypowy; zamiast $0.224 \cdot 10^9$ oraz $0.93 \cdot 10^9$ powinien być raczej użyty zapis $2.24 \cdot 10^8$ oraz $9.3 \cdot 10^8$;

- na str. 25 zamiast „*the more the level of abstraction*” czytelniejszym sformułowaniem wydaje się „*the higher level of abstraction*”;
- na str. 26 zamiast słowa „*simultaneously*” powinno być „*also*” (zdanie, w którym występuje nie dotyczy zdarzeń jednoczesnych w czasie);
- na str. 27 zamiast „*data that have been used for training*” można było użyć po prostu „*data used for training*”;
- na str. 28 zamiast „*using delayed the output*” powinno być „*using the delayed output*”;
- na str. 39 zamiast „*distributed uniformly*” powinno być „*distributed uniformly*”;
- na str. 41 brak przedimka „*the*” przed frazą „*same code*”;
- na str. 43, 91 oraz 152 zamiast słowa „*while*” lepiej byłoby użyć „*whereas*” (zdania, w którym ono występuje nie dotyczą zdarzeń jednoczesnych w czasie);
- na str. 55 słowo „*cannot*” powinno być pisane łącznie;
- na str. 56 w sformułowaniu „*CD is also applicable RBMs*” brak słowa „*to*” (powinno być: „*CD is also applicable to RBMs*”);
- na str. 63 zamiast „*number of these copying has to be limited*” powinno być „*number of these copying operations has to be limited*”;
- słowo Python jako nazwa własna języka programowania powinno być pisane wielką literą (str. 63, 85, czy też 129);
- na str. 64 zamiast „*are descriptors in Apeendix A*” powinno być „*are described in Appendix A*” („literówka” w słowie *Appendix* powtarza się też w innych miejscach pracy np. na str. 100);
- na str. 75 zamiast „*feature extractor learnt on ImageNet are versatile*” powinno być „*feature extractor learnt on ImageNet is versatile*” (lub „*extractors [...] are versatile*”);
- fraza „*noised image*” mogłaby być zastąpiona częściej spotykanym sformułowaniem „*noisy image*” (m.in. str. 78, 109);
- w przypadku rozmiarów obrazu zamiast litery „*x*” lepiej jest stosować znak mnożenia „*x*”, np. na str. 82 (28x28, 32x32, 96x96), czy str. 88 (28x28) lub w tabeli 5.19;
- w większości przypadków jednostki miary powinny być oddzielone spacją od wartości (np. 1 ms zamiast 1ms na str. 85, czy też 30FPS na str. 129 lub 14ms na str. 138);
- na str. 97 zamiast „*another descriptors*” powinno być „*the other descriptors*”;
- w podpisie tabeli 5.13 zamiast „*Gauss noise*” lepiej byłoby zastosować frazę „*Gaussian noise*”;
- notacja w podpisie tabeli 5.16 jest inna aniżeli w samej tabeli (użyto w niej średnika a nie ukośnika jako separatora);
- na str. 129 zamiast „*JPG*” powinien być użyty akronim „*JPEG*”;
- w przypadku pozycji bibliograficznych [191-195, 197] stanowiących źródła internetowe, brak jest jakichkolwiek informacji poza adresem strony (np. jej nazwy/tytułu, czy też daty dostępu);
- użyte na str. 157 oraz 168 frazy „*color space*” oraz „*colourspace*” powinny być pisane rozłącznie, ale też ujednolicone, tak aby używać konsekwentnie zapisu brytyjskiego lub amerykańskiego w całej pracy.

Biorąc pod uwagę fakt napisania rozprawy w języku angielskim, usterki te są nieliczne, co dobrze świadczy o jakości przygotowania tekstu pod względem edycyjnym. Nie utrudniają one lektury pracy i nie wpływają na jej pozytywną ogólną ocenę.



V. WNIOSKI KOŃCOWE

Opiniowana rozprawa prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną doktoranta, jak również umiejętności implementacyjne i programistyczne związane z dyscypliną *automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne*, jak też częściowo *informatyka techniczna i telekomunikacja*, co wynika z dobrze pojętej interdyscyplinarności tematyki rozprawy. Autor dysertacji wykazał się umiejętnością samodzielnego rozwiązania oryginalnego problemu naukowego przedstawionego w ocenianej pracy, a uzyskane w niej wyniki były prezentowane we współautorskich (głównie z promotorem pomocniczym) publikacjach [107, 165,166], m.in. w czasopiśmie IEEE Access.

Stwierdzam, iż przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Szymona Sobczaka pt. *„Restricted Boltzmann Machine as a binary image descriptors processor and its application in a mobile robot for scene recognition”*, której promotorem jest dr hab. inż. Dariusz Pazderski, spełnia w wystarczającym stopniu wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez aktualnie obowiązującą ustawę *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. z 2023 r. poz. 742) wraz z odpowiednimi przepisami wprowadzającymi oraz przejściowymi. **Wnioskuje o jej przyjęcie i dopuszczenie do dalszych etapów postępowania doktorskiego, w tym do jej publicznej obrony.**

