

RECENZJA
rozprawy doktorskiej
mgr. inż. Piotra Pawła Skrobka

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr. inż. Piotra Skrobka na temat *Metoda wizyjnej identyfikacji obiektów dla robotów sterowanych głosowo*, wykonana pod opieką promotora dr. hab. inż. Adama Rogowskiego.

Recenzja została opracowana na podstawie:

- uchwały Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Warszawskiej z dnia 5 października 2022 r.
- pisma MT.521.8.2022 Dziekana Wydziału Mechanicznego Technologicznego z dnia 11 października 2022 z prośbą o sporządzenie recenzji

1. Wniosek

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską stwierdzam, że jej ocena pod względem formalnym i merytorycznym jest pozytywna. Rozprawa została przygotowana pod opieką promotora. Stanowi ona oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i wykazuje odpowiedni poziom ogólnej wiedzy teoretycznej Autora w dziedzinie nauk technicznych w zakresie dyscypliny Budowa i Eksploatacja Maszyn (aktualnie Inżynieria Mechaniczna). Rozprawa wykazuje również odpowiednie przygotowanie Autora do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Stwierdzam, że spełnione zostały wymagania stawiane rozprawom doktorskim wg. starych przepisów w tym wymagania określone w Art. 13 ustępu 1 *Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki* (Dziennik Ustaw nr 65, poz. 595 z dnia 14 marca 2003 r z późn. zm.).

W związku z powyższym wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Pawła Skrobka na temat *Metoda wizyjnej identyfikacji obiektów dla robotów sterowanych głosowo* do publicznej obrony i dalszego procedowania, w celu nadania stopnia doktora w dziedzinie nauk technicznych w zakresie dyscypliny budowa i eksploatacja maszyn.

2. Uzasadnienie wniosku

2.1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa liczy 138 stron i składa się z siedmiu rozdziałów poprzedzonych streszczeniem oraz załącznikiem. Na wstępie rozprawy zamieszczono streszczenia w języku polskim i angielskim, spis treści oraz spis najważniejszych akronimów stosowanych w pracy. Na końcu rozprawy zamieszczono spisy literatury, rysunków i tabel. Na spis literatury składa się 108 aktualnych i poprawnie dobranych pozycji literaturowych, do których Autor odnosi się w tekście. Zaproponowany układ rozprawy jest poprawny i tworzy logiczną całość. Treść rozprawy jest zrozumiała a zamieszczone rysunki i wykresy są czytelne i prawidłowo opisane. Edycja rozprawy jest staranna aczkolwiek nie udało się uniknąć nielicznych drobnych usterek językowych i edytorskich. Zastosowano odpowiednią numerację wzorów, rysunków i tablic. Rozprawa została wydana w formie drukowanego zeszytu.

2.2. Wybór tematu rozprawy doktorskiej

Temat rozprawy związany jest z robotyką przemysłową a w szczególności, z popularnym w koncepcji Przemysł 4.0, nurtem robotów kooperujących i zagadnieniami komunikacji na linii człowiek-robot. Temat rozprawy i przedmiot badań są oryginalne i na czasie, ponieważ wypełniają mało eksploatowany obszar badawczy dotyczący identyfikacji obiektów przez systemy wizyjne robotów dla potrzeb wypracowania kontekstu dla systemu komunikacji głosowej człowiek – robot. W przypadku tytułu rozprawy warto by było pokusić się o jej doprecyzowanie i dostosowanie do przedmiotu i wyników zaprezentowanych badań. Nawiązanie w tytule do sterowania głosowego robotów powoduje, że czytelnik oczekuje przykładu i wyników badań weryfikujących zastosowanie metody wizyjnej w robocie sterowanym głosowo, czego bezpośrednio w pracy nie przedstawiono i nie zweryfikowano. Wyniki badań głównie dotyczą weryfikacji metody rozpoznawania obiektów, która może znaleźć zastosowanie w systemie wizyjnym robota z układem sterowania głosowego.

2.3 Ocena formalna i merytoryczna rozprawy

We wprowadzeniu stanowiącym pierwszy rozdział rozprawy Autor przedstawia genezę i celowość podjęcia badań przez pryzmat przeglądu prac naukowych z dziedziny rozpoznawanie mowy i analizy obrazu w robotyce oraz zagadnień sterowania robotami współpracującymi.

Identyfikacja i sposób zdefiniowania przez Autora rozprawy problemu naukowego nie budzi wątpliwości. Z punktu widzenia aktualnego stanu wiedzy w dziedzinie sterowania robotami współpracującymi podjęcie badań w zakresie zdefiniowanym przez Autora było celowe i nowatorskie.

Rozdział drugi ocenianej rozprawy zawiera przegląd aktualnego stanu wiedzy w zakresie zagadnień związanych z prowadzonymi przez Autora badaniami. W rozdziale zaprezentowano aktualne dokonania w zakresie systemów komunikacji głosowej. Autor opisał istotę działania systemów komunikacji głosowej zwracając przy tym szczególną uwagę na znaczenie pozyskiwania dodatkowych danych w celu zdefiniowania kontekstu w metodach komunikacji werbalnej z maszynami. Istotnym wnioskiem wynikającym z przeglądu literatury było stwierdzenie, że jednym z ważniejszych źródeł danych kontekstowych są systemy wizyjne. Na bazie tego stwierdzenia Autor przeprowadził rozszerzone badania literaturowe w zakresie metod wizyjnego rozpoznawania i automatycznej klasyfikacji obrazów. Wyniki przeglądu stanu wiedzy w zakresie metod analizy i rozpoznawania obiektów na obrazach uwzględniają zarówno metody klasyczne jak również metody bazujące na sygnaturach. W zakresie metod automatycznego rozpoznawania i klasyfikacji obrazów Autor zwrócił uwagę głównie na metody sztucznej inteligencji omawiając sposób ich funkcjonowania i porównując je z uwzględnieniem wad i zalet ich stosowania. Istotny i bardzo szczegółowy fragment tego rozdziału

stanowi opis metodyki rozpoznawania obrazów z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych, które również zostały zastosowane w trakcie prowadzonych przez Autora badań. Rozdział zakończono podsumowaniem i sformułowaniem wniosków, co do możliwości stosowania wybranych metod w ramach Autorskich badań.

Autor bardzo sprawnie i zwięźle, bo tylko na 45 stronach opisał wiele istotnych zagadnień dotyczących metod analizy i rozpoznawania obrazów. Dobór, źródeł jest właściwy gdyż, pozwolił scharakteryzować praktycznie wszystkie ważne metody stosowane w analizie i rozpoznawaniu obrazów dając jednocześnie Autorowi szerokie spojrzenie na obszar wiedzy i możliwość sformułowania tezy oraz słusznego wyboru metodyki stosowanej w ramach badań własnych. Stwierdzenie Autora o małej liczbie badań naukowych w zakresie wykorzystania kontekstu bazującego na danych z systemów rozpoznawania obrazów w komunikacji głosowej między człowiekiem a maszyną jest jak najbardziej słuszne. Podziela również zdanie Autora, co do zasadności stosowania technik bazujących na sygnaturach i elastycznym dopasowaniu dla potrzeb rozpoznawania konturów obiektów manipulowanych przez systemy wizyjne robotów przemysłowych. Spostrzeżenia Autora dotyczące rozpoznawania konturów stanowiły podstawę do opracowania oryginalnej metody bazującej na elastycznych edytowalnych wzorcach konturów wykorzystywanej w ramach badań opisanych w rozprawie. Można zarzucić Autorowi, że nie uwzględnił w rozdziale przeglądu metod przetwarzania obrazów pozwalających na ekstrakcję cech czy segmentację obiektów, jednak jak sam Autor podkreślił w treści rozprawy nie jest to główny cel badań i założono, że metodyka przetwarzania obrazów dla potrzeb ekstrakcji cech powinna być dobrana w odpowiedni sposób przed stosowaniem metod rozpoznawania i klasyfikacji obrazów. Częściowo się z tym można zgodzić jednak moim zdaniem skuteczność systemów rozpoznawania wzorców są pochodną, jakości obrazów, za czym stoją m.in. odpowiednie algorytmy stosujące metody przetwarzania obrazów. Zatem w treści rozprawy (czy to w rozdziale drugim czy też w dodatku) warto byłoby umieścić przynajmniej wskazówki dotyczące sposobu doboru i stosowania metod przetwarzania obrazów w celu należytej segmentacji obiektów i ekstrakcji odpowiedniej, jakości konturów obiektów przynajmniej dla potrzeb stosowanej przez Autora metody rozpoznawania obiektów. Autor z pewnością opanował te techniki i stworzył algorytm przetwarzania obrazów w celu przygotowania obrazów wykorzystywanych w ramach badań. Opisanie doświadczeń Autora pozyskanych na tym gruncie wiedzy z pewnością wzbogaciłyby rozprawę.

W treści rozdziału pojawiło się kilka drobnych i nieznaczących dla przeprowadzonych rozważań usterek edycyjnych jak np. brak odniesień w treści rozdziału do niektórych rysunków (np. rys. 9). W przypadku rysunku 4 warto by było rozważyć spolszczenie jego treści. Rysunek 17 przedstawiający budowę sztucznego neuronu warto by było uzupełnić o symbole podkreślające funkcjonalności bloku sumacyjnego i aktywacji neuronu.

Rozdział trzeci Autor w całości poświęcił sformułowaniu tezy, wskazaniu celów badań i przedstawieniu zakresu zrealizowanych i opisanych prac. Treść rozdziału oceniam pozytywnie. W przypadku tezy uważam, że jest bardzo ogólna i warto byłoby ją albo uszczegółwić lub sformułować kilka tez odnoszących się m.in. do tytułu rozprawy, w którym pojawia się słowo metoda. Przykładowo uzupełnienie tezy o stwierdzenie, że możliwe jest opracowanie metody pozwalającej na jednoznaczną identyfikację obiektów dla potrzeb systemów wizyjnych robotów przemysłowych byłoby bardziej precyzyjne i czytelniejsze.

W sformułowanych celach pojawiają się odniesienia do robotów sterowanych głosowo aczkolwiek nie znajdują one bezpośredniego odzwierciedlenia w zakresie planowanych badań. O wiele bardziej stosowne byłoby wskazywanie celów odnoszących się bezpośrednio do systemów wizyjnych robotów przemysłowych, które mogą być stosowane m.in., jako źródło danych kontekstowych dla układów sterowania głosowego robotów. Moim zdaniem opracowana metoda i jej zweryfikowana przydatność

ma o wiele szersze zastosowanie niż tylko uzupełnienie układu sterowania głosowego, co warto by było podkreślić w celu użytecznym. Opracowana metoda stanowi istotny wkład w metodologię analizy i rozpoznawania obrazów.

W rozdziale czwartym przedstawiono istotę idei elastycznych edytowalnych wzorców konturów (FECT) i metodykę ich tworzenia przy użyciu języka elastycznego opisu konturu (FCD). Koncepcja elastycznych edytowalnych wzorców jest oryginalnym pomysłem, którego współtwórcą jest Autor rozprawy. Edytowalne wzorce konturów stanowiły podstawę opracowanej metody. Opisany w rozdziale sposób tworzenia i wykorzystania elastycznych edytowalnych wzorców konturów nie budzi wątpliwości. Z uwagi na oryginalność proponowanego rozwiązania, rezygnacja przez Autora z przedstawienia w rozprawie szczegółów formatu FCD i odniesienie do współautorskiej publikacji naukowej, w której taki opis się znajduje ograniczyło spójność i kompletności rozprawy. Zamieszczenie szczegółów dotyczących formatu FCD choćby w postaci załącznika byłoby korzystniejszym rozwiązaniem.

Rozdział piąty, stanowi jeden z kluczowych z punktu widzenia osiągnięć naukowych Autora, część rozprawy. W rozdziale Autor prowadzi rozważania nad sposobem dopasowania sygnatur zdefiniowanych we wzorach elastycznych z sygnaturami konturów znajdujących się na rozpoznawanym obrazie. Głównym problemem zidentyfikowanym przez Autora jest poprawna i efektywna czasowo identyfikacja liczby punktów charakterystycznych konturu. Jednym z przedstawionych rozwiązań jest możliwość stosowania dwuetapowego sposobu poszukiwania punktów charakterystycznych opracowanego w ramach wcześniej badanego i opisanego w publikacji, której Doktorant był współautorem, algorytmu dopasowania segmentów. Z przeprowadzonej dyskusji wynika jednak, że algorytm ten pomimo swojej prostoty i niezawodności ma pewne ograniczenia wynikające głównie z problemu nieefektywnego wykrywania punktów charakterystycznych konturu przy obrazach gorszej jakości. W związku z tym Autor zdefiniował dwa podstawowe kryteria dla algorytmu dopasowania konturów, jakimi są szybkość działania i niewrażliwość, na jakość rozpoznawanego obrazu. Bazując na tych kryteriach Autor zaproponował wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych w algorytmie porównywania rozpoznawanych konturów z elastycznymi wzorcami FECT. Autor poświęcił omówieniu tego zagadnienia cały podrozdział 5.3. gdzie zaproponował ogólną koncepcję algorytmu. Istota proponowanego podejścia opiera się na wykorzystaniu, jako danych uczących dla sztucznej sieci neuronowej sygnatur generowanych na podstawie elastycznych edytowalnych wzorców konturów (FECT) co powinno umożliwić efektywną czasowo identyfikację i klasyfikację poszczególnych obiektów znajdujących się na obrazie. Przy czym Autor rozważa użycie i porównanie działania dwóch rodzajów sztucznych sieci neuronowych: klasycznych i konwolucyjnych. Aby zapewnić możliwość porównywania wyników działania dwóch rodzajów sieci w koncepcji założono ograniczenie w postaci stałej liczby segmentów konturu bez względu na jego długość. Dodatkowo, aby uwzględnić zmienność wartości sygnatury wewnątrz jednej sekcji konturu zaproponowano trzy cechy jak wartość średnią, maksymalną i minimalną krzywizny. Dzięki temu możliwe było określenie liczby neuronów wejściowych dla sztucznej sieci neuronowej, jako iloczyn segmentów konturu i liczby cech. Autor zaproponował zalecenia dotyczące sposobu obliczania liczby sekcji a także sposobu generowania danych uczących. Koncepcja została zweryfikowana na etapie wstępnych badań, których celem była ocena szybkości działania algorytmu z wcześniej omówionym algorytmem dopasowania segmentów. Wyniki wskazały przewagę zaproponowanego algorytmu, co stanowiło podstawę do realizacji szeregu eksperymentów numerycznych opisanych w dalszej części rozprawy. Na etapie weryfikacji koncepcji Autor słusznie zauważył, że aby poprawnie przygotować dane dla sztucznych sieci neuronowych konieczne jest wprowadzenie modyfikacji do formatu opisu konturów FCD, co też Autor zrobił i opisał na końcu rozdziału.

Cały rozdział a w szczególności przedstawioną w nim koncepcję algorytmu dopasowania wzorców konturów oceniam bardzo dobrze i uważam, że jest słuszna dzięki temu, że w oparciu o elastyczne edytowalne wzorce konturów możliwe jest wygenerowanie bardzo licznych zbiorów przykładów uczących dla obiektów tej samej klasy. Bardzo pozytywnie oceniam dociekliwość i skrupulatność Autora, który na podstawie wnikliwej analizy dotychczasowych badań oraz dzięki przeprowadzeniu badań weryfikacyjnych uwzględnił i wyeliminował potencjalne niedoskonałości zaproponowanego przez siebie rozwiązania, co przełożyło się na opracowanie oryginalnego algorytmu stanowiącego podstawowe narzędzie w realizacji badań eksperymentalnych opisanych w dalszej części rozprawy.

W rozdziale szóstym opisano przebieg i wyniki badań eksperymentalnych prowadzonych na obrazach binarnych wybranych narzędzi ręcznych, które mogą być przedmiotem manipulacji robota. Metodę badawczą Autor opisał szczegółowo w podrozdziale 6.1. W trakcie badań zaplanowano cały szereg eksperymentów uwzględniających nie tylko klasyfikację obiektów za pomocą dwóch rodzajów sztucznych sieci neuronowych, ale również ocenę wpływu rodzaju sygnatury na wyniki klasyfikacji a także sposób podziału konturu na segmenty. Autor prawidłowo przygotował zestawy danych uczących uwzględniające różny charakter badanych sztucznych sieci neuronowych. Dla sieci klasycznych były to wektory sygnatur a dla sieci konwolucyjnych obrazy binarne obiektów. Zastosował tutaj oryginalne podejście pozwalające generować dane dla obu rodzajów sieci korzystając z tych samych wzorców FECT, co pozwoliło na wiarygodne porównywanie wyników działania sieci. Dane uczące uwzględniały zarówno różne wymiary jak i położenie obiektów. Przy doborze rozpoznawanych obiektów Autor słusznie zaproponował dwa obiekty o dużym podobieństwie kształtów (młotek gumowy i ślusarski), co pozwoliło zbadać skuteczność proponowanej metody. W rozdziale zaprezentowano obrazy binarne rozpatrywanych obiektów wraz z ich opisem w formacie FCD. Analiza i weryfikacja przez czytelnika zaproponowanych wzorców jest trudna ze względu na brak wskazania na obrazach punktów i segmentów charakterystycznych wykorzystywanych w opisie. Wśród rozpatrywanych obiektów był klucz nastawny. I tutaj rodzi się pytanie, dlaczego Autor w zbiorze uczącym nie uwzględnił różnych stopni rozwarcia szczęk klucza nastawnego i nie zbadał skuteczność działania algorytmu rozpoznawania dla tego typu przypadku? Przy tworzeniu zbioru uczącego warto by było również rozważyć uwzględnienie wzorców obiektów tej samej klasy różniących się drobnymi szczegółami występującymi w narzędziach różnych producentów (np. różnice w rękojeściach szczypiec). Zabrakło również dyskusji dotyczącej wpływu błędów przetwarzania obrazów systemu wizyjnego, czy błędów wytwarzania narzędzi na sposób rozpoznawania wzorców. Czy i dlaczego sieci były uczone na podstawie sygnatur wzorców, które nie uwzględniały niejednorodności konturu wynikającego czy to z błędów przetwarzania czy też błędów wytwarzania narzędzia (np. nadlewy)? W dalszej treści rozdziału Autor prezentuje wyniki działania klasycznej sztucznej sieci neuronowej biorąc pod uwagę sposób podziału konturu na sekcje i sposób generowania danych wejściowych. Wyniki działania sieci zgromadzono w tabelach i na podstawie ich analizy stwierdzono, że z punktu widzenia sposobu podziału konturu najlepsze wyniki rozpoznawania daje podział proporcjonalny. Z punktu widzenia sposobu generowania danych różnice w wynikach były niewielkie jednak Autor słusznie przyjął, jako wariant optymalny posługiwanie się krzywizną maksymalną ze względu na mniejszy rozrzut wyników klasyfikacji szczególnie w przypadku obiektów klasy młotek. Oceniając sposób prezentacji wyników działania sieci warto się zastanowić czy posługiwanie się macierzami pomyłek nie byłoby lepszym rozwiązaniem? Również podczas porównywania wyników o wiele lepiej niż tabele sprawdzają się wykresy co warto, aby Autor uwzględnił przy okazji kolejnych publikacji. Zaprezentowane wyniki były efektem działania sztucznej sieci neuronowej o określonej architekturze, której szczegółów nie przedstawiono wcześniej. Nie podano również, jaki algorytm uczenia sieci został zastosowany. Można tylko zakładać, że końcowa topologia sieci była efektem działań optymalizacyjnych opisanych w dalszej części rozdziału mających na celu zweryfikowanie wpływu liczby warstw ukrytych na sprawność

klasyfikacji. Wydaje się, że opis tych działań powinien pojawić się wcześniej w treści rozdziału oraz powinien zostać uzupełniony o wykres błędu uczenia ze wskazanym momentem zakończenia uczenia. Również w części rozdziału, w której Autor porównuje działanie klasycznej sieci z działaniem dwóch rodzajów sieci koewolucyjnych nie podano szczegółów dotyczących architektury sieci konwolucyjnych. Nie zmienia to faktu, że z punktu widzenia kryterium czasu obliczeń zaprezentowane wyniki stosowania metody zaproponowanej przez Autora są lepsze niż w przypadku sieci koewolucyjnych. Jak Autor zauważa, jest to efekt mniejszej obliczeniowości jednak, moim zdaniem wnioski są zbyt pochopne gdyż bez dodatkowych badań nie można jednoznacznie stwierdzić, czy prawidłowo dobrana i nauczona sieć koewolucyjna jednak nie byłaby bardziej skutecznym rozwiązaniem. Wymagałoby to z pewnością zastosowania większej liczby przykładów uczących uwzględniających nie tylko obrazy binarne ale również obrazy kolorowe oraz wstępnie nauczone sieci konwolucyjne udostępniane np. przez Google. Warto tutaj zauważyć, że w pracy wykorzystywane są obrazy binarne. Ich pozyskanie wymagało przeprowadzenia szeregu operacji, które również są obliczeniowe i nie gwarantują zawsze bardzo dobrych efektów. Dla celów badań spreparowano obrazy o odpowiednio dobrej jakości, jednak w warunkach przemysłowych występują czynniki zakłócające np. zmienne oświetlenie mocno wpływające na efekty końcowe metod przetwarzania obrazów. O ile w przypadku cel robotów przemysłowych można zadbać o ukształtowanie stabilnych warunków oświetleniowych to w przypadku stanowiska z robotem współpracującym zadanie to nie będzie łatwe. W tym przypadku o wiele celniejsze byłoby porównywanie całkowitych czasów działania algorytmów z uwzględnieniem czasu częściowego potrzebnego na przetworzenie obrazów do postaci binarnej (konturowej). Jeśli założyć, że sieci konwolucyjne uczone byłby na obrazach rzeczywistych obiektów bez konieczności stosowania przetwarzania wstępnego obrazów, mogłoby się okazać, że dysproporcje w skuteczności działania nauczonej i zaimplementowanej sieci konwolucyjnej a zaproponowanej metody z modulem przetwarzania wstępnego obrazu niekoniecznie musiałyby być tak duże jak wskazano w tabeli 11. Prawdopodobieństwo skutecznego działania sieci konwolucyjnych jest o tyle wyższe, że czujniki wizyjne lub tzw. kamery „inteligentne” stosowane w przemyśle coraz częściej wyposażane są w warstwy sprzętowe dedykowane do obliczeń konwolucyjnych.

W rozdział siódmym wykazano słuszność postawionej tezy, wskazano na zalety opracowanej metody i podkreślono naukowe znaczenie przeprowadzonych badań. Zwrócono również uwagę na znaczenie praktyczne metody w warunkach przemysłowych i wskazano kierunki dalszych badań. Oryginalność proponowanego rozwiązania i jego znaczenie aplikacyjne i użytkowe nie budzą wątpliwości. Wątpliwa jest jednak gotowość metody do zastosowania przemysłowego m.in. z powodu braku zaleceń, co do budowy algorytmów przetwarzania obrazów dla systemów wizyjnych przygotowujących obrazy binarne konturów manipulowanych przedmiotów a także braku szerszego zbioru danych uczących uwzględniających różnorodność postaci i kształtów narzędzi tej samej klasy występujących w przemyśle. Autor podkreśla w wielu miejscach znaczenie i przydatność opracowanej metody do stosowania w układzie wizyjnym, który ma być źródłem kontekstu dla układu sterowania głosowego robotem, jednak brak jest opisu wyników działania takiego rozwiązania szczególnie, że Autor jednym zdaniem w podrozdziale 7.3 wspomina, że „Uwieńczeniem pracy była zrealizowana aplikacja laboratoryjna”. Nie do końca mogę się również zgodzić, że stwierdzeniem Autora, że „Zapis FECT jest przejrzysty i łatwy do utworzenia, dzięki czemu nie tylko profesjonaliści w dziedzinie rozpoznawania obrazów będą w stanie definiować te wzorce”. Według mojej oceny tworzenie wzorców bez dodatkowego narzędzia jest czynnością pracochłonną i kłopotliwą z powodu zbyt dużej swobody w sposobie opisu konturu. Sam Autor w pkt. 5 podrozdziału 7.3 podkreśla konieczność stworzenia narzędzia ułatwiającego generowanie wzorców. Niestety w warunkach przemysłowych, jeśli coś jest czasochłonne nie zawsze znajduje zastosowanie.

3. Ocena końcowa

Opiniowaną rozprawę oceniam pozytywnie. W pracy sformułowano bardzo ogólną tezę, która została udowodniona na podstawie analizy wyników z przeprowadzonych samodzielnie przez Autora badań eksperymentalnych.

Do głównych oryginalnych osiągnięć Autora opiniowanej rozprawy zaliczam opracowanie metody rozpoznawania obrazów binarnych obiektów z wykorzystaniem sztucznej sieci neuronowej wytrenowanej przy użyciu sygnatur generowanych na podstawie elastycznych edytowalnych wzorców konturów (FECT). Jako elementy nowości naukowej stanowiące oryginalny dorobek doktoranta można wskazać:

- Opracowanie sposobu podziału konturu rozpoznawanego obiektu na relewantną liczbę sekcji i identyfikację sygnatur konturów na podstawie elastycznych edytowalnych wzorców konturów FECT.
- Opracowanie sposobu automatycznego generowania danych uczących dla sztucznych sieci neuronowych z wykorzystaniem elastycznych edytowalnych wzorców konturów

Opiniowana rozprawa dowodzi, iż jej Autor posiada odpowiednią wiedzę i umiejętności w zakresie objętym tematem rozprawy. Mgr inż. Piotr Skrobek potrafi planować i przeprowadzać eksperymenty badawcze przy użyciu samodzielnie opracowanego oprogramowania komputerowego. Potrafi również w prawidłowy sposób przy użyciu zaawansowanych narzędzi informatycznych tworzyć algorytmy obliczeniowe i opracowywać oraz analizować wyniki badań eksperymentalnych a także wyciągać z nich prawidłowe wnioski.

Pozytywnie oceniam również dorobek publikacyjny Autora, na który składają się 3 publikacje współautorskie w tym 1 recenzowany artykuł opublikowany w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym znajdującym się na liście JCR, co spełnia wymagania Ustawy. Indeks Hirscha wg bazy Web of Science wynosi 1.

Całość rozprawy oceniam pozytywnie i uważam ją za istotną dla rozwoju dyscypliny budowa i eksploatacja maszyn a w szczególności rozwoju robotyki przemysłowej i metod rozpoznawania obrazów wizyjnych. Pozytywna ocena rozprawy doktorskiej uzasadnia podany w punkcie 1 wniosek o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Marek Fidali

