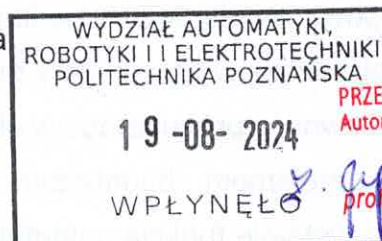


Prof. dr hab. inż. Adam Kawalec
Instytut Techniki Rakietowej i Mechatroniki
Wydział Mechatroniki, Uzbrojenia i Lotnictwa
Wojskowa Akademia Techniczna

Warszawa, dnia 06.08.2024 r.



PRZEWODNICZĄCY RADY DISCYPLINY
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologie Kosmiczne
prof. dr hab. inż. Wojciech Szelaąg

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY DISCYPLINY
AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA, ELEKTROTECHNIKA I TECHNOLOGIE
KOSMICZNE
POLITECHNIKI POZNAŃSKIEJ**

**Tytuł rozprawy: „System sztucznej inteligencji wspomagający wykonywanie
autonomicznych oprysków sadowniczych”**

Autor: mgr inż. Piotr Góral

Promotor: PROF. DR HAB. INŻ. ADAM DĄBROWSKI

Promotor pomocniczy: DR INŻ. PAWEŁ PAWŁOWSKI

Podstawa sporządzenia recenzji rozprawy doktorskiej: pismo DR-012/66/2024 przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Poznańskiej prof. dr. hab. inż. Wojciecha Szelaąga z dnia 28.06.2024 z prośbą o sporządzenie recenzji zgodnie z uchwałą Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Poznańskiej z dnia 18 czerwca 2024r.

1. Jakie zagadnienie naukowe/badawcze jest rozpatrzone w pracy (cel i teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora?

Rozprawa doktorska dotyczy opracowanego przez Doktoranta systemu sztucznej inteligencji wspomagającego wykonywanie oprysków sadowniczych. Genezą zainteresowania Doktoranta tą problematyką była możliwość wykonywania precyzyjnych oprysków sadowniczych i zastosowania tego rozwiązania w warunkach plantacji sadowniczej, co wymagało rozwiązania istotnych zagadnień w zakresie opracowania automatycznego algorytmu rozpoznawania stanu rozwojowego drzew.

Problematyka ta wynika również z zastosowań sztucznej inteligencji w automatyzacji rolnictwa, co spowodowało powstanie tzw. rolnictwa precyzyjnego PA (ang. **Precision Agriculture**) optymalizującego obszary produkcji żywności, które minimalizuje koszty i poprawia efektywność produkcji też w obszarze sadownictwa.

Zasadniczym problemem badawczym dla potrzeb realizacji rozprawy, poza dedykowaną w systemie funkcją automatycznego rozpoznawania infekcji drzew wraz z określeniem współrzędnych lokalizacji wykrytej infekcji, były również badania eksperymentalne z zastosowaniem algorytmów wizyjnych do sterowania zautomatyzowanym ciągnikiem i opryskiwaczem w warunkach plantacji sadowniczej. Bazując na aktualnych doniesieniach literaturowych w zakresie tematu rozprawy oraz własnych doświadczeniach badawczych Doktorant podjął badania w zakresie wykorzystania algorytmów sztucznej inteligencji w zautomatyzowanych systemach zastosowanych do oprysków sadowniczych.

Rozwiązanie problemów badawczych podjętych przez Autora rozprawy jest szczególnie ważne dla nowoczesnych systemów wspomagających produkcję w branży rolniczej i ogrodniczej. Dlatego Doktorant przedstawił obszerną analizę stanu wiedzy i stosowanych technologii dla nowoczesnego ogrodnictwa.

Z analizy stanu wiedzy literaturowej wynika cel rozprawy dotyczący zastosowania metod sztucznej inteligencji do wspomaganie podejmowania decyzji w zakresie wymaganych zabiegów sadowniczych, minimalizujących liczbę oprysków i ilość wykorzystywanych w tym celu środków ochrony roślin, a także do eliminacji bezpośredniego udziału operatora narażonego na stosowane środki chemiczne.

Cel rozprawy jest określony właściwie, tematyka jest aktualna i potrzebna. Recenzowana rozprawa ma charakter teoretyczno-doświadczalny.

Doktorant sformułował następującą tezę rozprawy:

„Dzięki zastosowaniu zaproponowanego inteligentnego systemu wizyjnego do rozpoznawania chorób i szkodników drzew owocowych oraz detekcji drzew, a także opracowanego zrobotyzowanego bezzałogowego sprzętu do oprysków sadowniczych, zapewnia się poprawę precyzji oprysków, ograniczenie ilości stosowanych środków chemicznych i wody, poprawę jakości owoców a ponadto ochronę sadownika przed ekspozycją na szkodliwe środki chemiczne”

oraz przedstawił zadania cząstkowe wynikające z celu rozprawy i weryfikacji powyższej tezy.

Rozprawa składa się z pięciu rozdziałów oraz biografii. Rozdział 1. rozprawy jest krótkim wprowadzeniem w tematykę badań. Rozdział ten zawiera również tezę rozprawy, jej cel i zakres badań oraz publikacje Autora rozprawy opublikowanych w czasopiśmie (pięć pozycji) i materiałach konferencyjnych (pięć pozycji). Autor w rozdziale 2. obszernie opisał stan wiedzy i technologii w obszarze nowoczesnego ogrodnictwa (strony 16-46 rozprawy). Skupił się między innymi na wykorzystaniu sztucznej inteligencji oraz automatyki i robotyki w ogrodnictwie. Uwzględnił również potrzeby i kompetencje wyznaczane przez Przemysł 4.0, tj. cyfryzację, automatyzację i robotyzację oraz dynamikę zmian gospodarczych. Przedstawił metody rozpoznawania chorób drzew i szkodników ogrodowych oraz opisał systemy wizyjne w sadownictwie. W rozdziale 3. Doktorant przedstawił własną propozycję systemu sztucznej inteligencji wspomagającego realizację autonomicznych oprysków sadowniczych. Szczególną uwagę zwrócił na system wspomagający podejmowanie decyzji i realizację autonomicznych oprysków sadowniczych w oparciu o dane wizyjne, dane meteorologiczne i bazę strategii ochronnych. Autor przedstawił również wybrane zagadnienia z obszaru spłotowych sieci neuronowych. Rozdział 4. zawiera opis części eksperymentalnej rozprawy, gdzie opisane są również wyniki badań eksperymentalnych i ich analiza. W rozdziale 5. Doktorant przedstawił wnioski końcowe z wykonanych badań oraz podsumowanie rozprawy.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł, w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle?

W przedstawionej do recenzji rozprawie Doktorant uwzględnił 128 pozycji literaturowych, których w trzech jest współautorem. Literatura przedmiotu, zawiera pozycje książkowe, konferencyjne oraz publikacje istotnych, czołowych pism światowych.

Bazując na dostępnych pracach Autor przedstawił stan wiedzy w zakresie tematyki rozprawy. Analizując źródła literaturowe z obszaru precyzyjnego rolnictwa i sadownictwa Doktorant wykazał brak propozycji systemów sterowania opryskiwaczami sadowniczymi w oparciu o system wizyjny dysponującym algorytmem

rozpoznającym wysokość drzew, selekcionującym gałęzie do oprysku, opartym na sztucznych sieciach neuronowych, co z odpowiednim wnioskowaniem pozwoliło na sformułowanie celu pracy oraz szczegółowych zadań badawczych.

Sposób przeprowadzenia analizy źródeł odpowiada potrzebom rozprawy i należy uznać go za właściwy i szczegółowy. Doktorant wykazał się bardzo dobrą znajomością problematyki związanej z tematyką rozprawy. Autor przedstawił w rozprawie znane rozwiązania w zakresie wykorzystania systemów sztucznej inteligencji stosowanych w ogrodnictwie oraz rozwiązania autorskie włącznie z propozycją systemu wspomagającego dla autonomicznych oprysków sadowniczych. Opracowany system wykorzystuje rozwiązania z obszaru przetwarzania obrazów i sztucznej inteligencji.

3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Przyjęte cele rozprawy wymagały przede wszystkim rozwiązania kilku istotnych problemów badawczych. W szczególności dla ich realizacji Autor wykonał analizę aktualnego stanu wiedzy związanej z systemami sztucznej inteligencji stosowanymi w ogrodnictwie. Opracował nowy, nieznan w literaturze system sztucznej inteligencji wykorzystany dla wspomaganie realizacji autonomicznych oprysków sadowniczych, co umożliwiło wykonanie serii badań eksperymentalnych z wykorzystaniem modeli głębokich spłotowych sieci neuronowych. Dla realizacji stanowiska badawczego Autor rozprawy zdecydował się na modernizację ciągnika Władimiriec T-25 oraz wykonanie prototypowej przystawki do wybranego modelu opryskiwacza sadowniczego marki Pilmet, co należy uznać za wartość dodaną rozprawy. Na uwagę zasługuje również szczegółowo opisana w rozprawie architektura systemu sterowania.

Należy podkreślić, że opracowane przez Doktoranta rozwiązania uwzględniają potrzeby ograniczenia ilości stosowanych środków chemicznych oraz oszczędności wody wykorzystywanej do oprysków.

Uzyskane wyniki pomiarów potwierdzają, że zastosowanie metod sztucznej inteligencji do wspomaganie podejmowania decyzji wykorzystywane do ochrony roślin w sadownictwie został w całości zrealizowany.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy i poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Praca stanowi oryginalny wkład Autora do problematyki wykorzystania metod sztucznej inteligencji dla wspomagania podejmowania decyzji w zabiegach sadowniczych. Do zasadniczych, oryginalnych osiągnięć Autora należy zaliczyć:

- opracowanie systemu sztucznej inteligencji wspomagającego wykonywanie autonomicznych oprysków sadowniczych, w którym zastosowane algorytmy wizyjne posiadają określoną, użyteczną funkcjonalność, w szczególności są wykorzystane do inspekcji plantacji, do detekcji szkodników drzew, do sygnalizacji konieczności wykonania oprysku, do wspomagania sterowania ciągnika na plantacji sadowniczej, do klasyfikacji stanu rozwojowego drzew oraz do określania wysokości drzew;
- modernizację ciągnika sadowniczego i opryskiwacza, w szczególności realizację podsystemu bezprzewodowej automatyki do bezzałogowego sterowania ciągnikiem wraz z podsystemem bezprzewodowej automatyki sterującej opryskiwaczem;
- opracowanie bazy zdjęć do trenowania wybranych modeli sztucznych sieci neuronowych;
- badanie dokładności metod wykorzystywanych do automatycznej analizy obrazów oraz do oszczędzania wody ze środkami ochrony roślin dzięki zastosowanemu wizyjnego systemu sterowania automatycznym opryskiwaczem sadowniczym, co potwierdziło w całości tezę rozprawy.

Opracowane przez Autora oryginalna architektura systemu sztucznej inteligencji i przeprowadzone badania eksperymentalne mogą zostać wykorzystane przede wszystkim w obszarze ogrodnictwa precyzyjnego, gdzie istotnym problemem jest minimalizacja kosztów i podnoszenie wydajności produkcji. Uzyskane rozwiązania nie są dotąd znane w literaturze przedmiotu. Wykorzystane przez Doktoranta modele do przeprowadzenia eksperymentów są częścią przygotowanego systemu sztucznej inteligencji wspomagającego wykonywanie autonomicznych oprysków sadowniczych. Dodatkowo interpretacja zamieszczonych w rozprawie wyników zaproponowanych przez Doktoranta badań eksperymentalnych zasługuje na podkreślenie.

Rozprawa zawiera również wykaz dorobku naukowego Doktoranta powiązanego z tematem rozprawy jako współautora pięciu recenzowanych publikacji naukowych, gdzie w artykułach opublikowanych w czasopiśmie jest pierwszym autorem. W pięciu dodatkowych prezentacjach konferencyjnych Doktorant jest pierwszym autorem poza publikacją [2] prezentowaną w materiałach XXII Krajowej Konferencji Elektroniki, KKE 2023, co świadczy o znaczącym wkładzie Autora do uprawianej przez niego tematyki badawczej.

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?

Rozprawa zawiera 111 stron i jest zredagowana jest w sposób bardzo staranny, napisana jasnym językiem i posiada logiczny układ. Szata graficzna przy prezentacji uzyskanych rezultatów jest przejrzysta i logiczna. Wyniki analiz przedstawione zostały w rozprawie w sposób jasny i zwięzły.

W rozprawie nie znalazłem zasadniczych błędów edycyjnych. Brakuje jednak np. oznaczeń wartości na wykresie (rys 1.2 str. 10.). Rys. 1.3 (str.12) niewiele wnosi w rozprawie w porównaniu z rys. 1.1 (str.10). Str. 54, wzór (3.1) - brakuje opisu oznaczenia t_i podczas gdy pozostałe np. t_k nie są wykorzystane. Brakuje w rozprawie odnośników literaturowych do wyrażeń matematycznych, co powoduje, że trudno jest ocenić, które wzory są oryginalne (autorskie).

Na str.68-69 pojawia się wyróżniona definicja ciągłej operacji splotu (wzór 3.20), ale dalej użyta jest, bez wyróżnienia i jasnego powodu, dyskretna operacja splotu np. (wzór 3.22), co wymaga wyjaśnienia.

Brakuje również porównania opracowanego systemu z innymi znanymi w literaturze przedmiotu, co również wymaga omówienia.

Niezrozumiałym jest fakt użycia opisów tabel np. str. 92 tabela 4.1 oraz rysunków np. rys 4.21 oraz 4.22 w języku angielskim. Dla poprawienia czytelności rozprawa powinna zawierać wykaz rysunków oraz tabel, czego tutaj brakuje.

Używanie przez Doktoranta oczywistych definicji z rachunku różniczkowego, np. str. 71 – używa się zwykle znanego z literatury wzoru na pochodną funkcji złożonej, a nie reguły łańcuchowej.

Oczywiście uwagi te nie obniżają wartości rozprawy i trudno doszukiwać się słabych stron rozprawy. Przedstawiona do recenzji rozprawa stanowi nowatorskie, szerokie i wnikliwe opracowanie potwierdzone precyzyjnie zaplanowanymi badaniami.

6. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk inżynierjno-technicznych?

Autor opracował nowy, oryginalny system wspomaganie podejmowania decyzji dla sadownictwa z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji minimalizujących liczbę oprysków i ilość wykorzystywanych w tym celu środków ochrony roślin. Istotne jest również zapewnienie braku bezpośredniego udziału operatora systemu w celu zapewnienia jego ochrony przed stosowanymi środka chemicznymi.

Opracowana przez Doktoranta oryginalna metoda zastosowania inteligentnego systemu wizyjnego do rozpoznawania chorób i szkodników drzew owocowych oraz detekcji drzew, a także opracowane zrobotyzowanego bezzałogowego urządzenia do oprysków sadowniczych, zapewnia poprawę precyzji oprysków.

Wybrane wyniki i metody można wykorzystać w innych pracach naukowych i badawczo-rozwojowych z zakresu metod sztucznej inteligencji do wspomaganie podejmowania decyzji.

7. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę?

- a) *nie spełniająca wymagań stawianym rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy,*
- b) *wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania,*
- c) **spełniająca wymagania,**
- d) *spełniająca wymagania z nadmiarem,*
- e) *wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie.*

Podsumowanie

Biorąc powyższe pod uwagę oceniam, że Doktorant wykazał się bardzo dobrą znajomością problematyki związanej z tematyką rozprawy. Uzyskane wyniki analiz i pomiarów potwierdzają, że zastosowanie metod sztucznej inteligencji dla systemu wspomaganie podejmowania decyzji wykorzystywane do ochrony roślin w sadownictwie został w całości zrealizowany z wyraźnym określeniem funkcjonalności opracowanych oryginalnych algorytmów wizyjnych zastosowanych

w systemie inspekcji plantacji do detekcji szkodników drzew i konieczności wykonania oprysku. Istotny jest również wkład Doktoranta w modernizację ciągnika sadowniczego i opryskiwacza poprzez realizację podsystemu bezprzewodowej automatyki do bezzałogowego sterownia ciągnikiem wraz z podsystemem bezprzewodowej automatyki sterującej opryskiwaczem.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Piotra Górala stanowi interdyscyplinarne, nowatorskie, szerokie i oryginalne opracowanie z zaplanowanymi precyzyjnie badaniami, co potwierdza ogólną wiedzę kandydata w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Recenzowana praca doktorska spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z Ustawą o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz.U. z 2017 r. poz. 1789), oraz zgodnie z Ustawą z 20 lipca 2018 r. – Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r. poz. 1668 z póź. zm.) w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne, zatem wnoszę o przyjęcie rozprawy i jej dopuszczenie do publicznej obrony.

