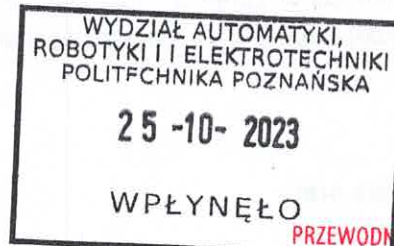


Warszawa, 8.10.2023

Dr hab. inż. Michał Kruk, prof. SGGW
Instytut Informatyki Technicznej
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
ul. Nowoursynowska 159
02-776 Warszawa



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

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Krzysztofa Kolanowskiego

Tytuł rozprawy: WIELOCZUJNIKOWY NEURONOWY SYSTEM NAWIGACYJNY Z SAMOTESTOWANIEM

Autor rozprawy: mgr inż. Krzysztof Kolanowski

Promotor: dr hab. inż. Aleksandra Świetlicka

Promotor pomocniczy: dr inż. Rafał Kapela

1. Cel, teza i zakres pracy

Celem pracy było stworzenie systemu nawigacyjnego wspomaganego przez sztuczną inteligencję, który dodatkowo posiada funkcjonalność samotestowania. System ten zrealizowany został poprzez zastosowanie zestawu czujników inercyjnych IMU: akcelerometru, żyroskopu i magnetometru. Funkcjonalność samotestowania stworzona została na bazie sztucznych sieci neuronowych.

Autor postawił dwie tezy:

- 1. *Możliwe jest określenie położenia obiektu w przestrzeni na podstawie odczytów z wybranych czujników inercyjnych (akcelerometr, żyroskop) i magnetometru przy wykorzystaniu sztucznych sieci neuronowych.***
- 2. *Możliwe jest wykrycie nieprawidłowego działania sensorów z wykorzystaniem systemu bazującego na sztucznych sieciach neuronowych.***

Moim zdaniem zarówno cel pracy jak i tezy przedstawione są prawidłowo. Autor zaprezentował jasno wyznaczony cel oraz w dalszej części pracy przedstawił jego realizację oraz weryfikację poprawności wykonania. Opracowany temat jest jak najbardziej aktualny i ważny dla dyscypliny naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

2. Struktura pracy

Praca składa się z 6 rozdziałów oraz literatury, które zajmują 70 stron.

Rozdział 1 zawiera wstęp, cel, jak również zakres i tezy. Przedstawiono też strukturę dokumentu.

Rozdział 2 opisuje różnego rodzaju systemy nawigacyjne. Systemy te przedstawione są w ujęciu historycznym i współczesnym. Rozdział ukazuje historię nawigacji, jak również najbardziej aktualne trendy. Dodatkowo, w tej części przedstawiono metody fuzji danych, opisano teorię kwaternionów i diagnostykę uszkodzeń. Należy zaznaczyć, że praca nie posiada klasycznego rozdziału z opisem literatury. Opis ten wpleciony jest w poszczególne rozdziały i zaczyna się właśnie w rozdziale drugim. W moim przekonaniu nie jest to wadą pracy, a literatura jest przedstawiana niejako w sposób wpleciony w treść pracy.

Rozdział 3 przedstawia informacje na temat sztucznych sieci neuronowych i ich główny podział. O ile poprzedni rozdział jest mocno rozbudowany, to ten opisujący strukturę zastosowanych sieci zawiera mało szczegółów. Podczas lektury odnosi się nieco wrażenie, że Autor skorzystał z sieci jak z „czarnych skrzynek”, które dostępne są w bibliotekach oprogramowania wspierającego obliczenia i nie wnikał co znajduje się i jak działa środek, a przecież SSN pojawiają się nawet w tytule.

Rozdział 4 opisuje sprzęt zastosowany do budowy i testowania systemu. Część ta zawiera dokładny opis danych technicznych poszczególnych urządzeń oraz ich ilustracje. Na końcu znajduje się opis algorytmu przetwarzania wstępnego zebranych próbek.

Rozdział 5 prezentuje ewaluację systemu. Początek opisuje proces generowania danych, następnie Autor przedstawia fuzję danych pomiarowych z użyciem sieci Elmana. Porównano działanie sieci jednokierunkowych, rekurencyjnych i konwolucyjnych w zastosowaniu do estymacji kątów Eulera. Oceniono również zaproponowany system samotestowania.

Rozdział 6 stanowi podsumowanie pracy.

3. Główne osiągnięcia naukowe pracy

Tematyka rozprawy jest ciekawa i aktualna. W chwili obecnej zarówno sztuczna inteligencja jak również bezałogowe statki powietrzne (drony) cieszą się niezwykle dużą popularnością. W mojej ocenie praca zawiera wartościowe, oryginalne osiągnięcia do których należą:

- projekt, zaproponowanie i zastosowanie urządzeń do zbierania danych, przeprowadzenie procesu rejestracji danych pomiarowych, przygotowanie zbioru danych pomiarowych,

- dobór architektury SSN Elmana, parametrów trenowania, walidacja i opracowanie wyników,
- opracowanie miar jakościowych do oceny działania systemu wykrywania błędów i uszkodzeń występujących w czujnikach,
- implementacja systemu wykrywania uszkodzeń,
- przeprowadzenie analizy trzech typów sieci neuronowych: jednokierunkowych, rekurencyjnych oraz konwolucyjnych,
- opracowanie miar umożliwiających ocenę działania SSN.

4. Pytania i uwagi

Praca pod względem redakcyjnym prezentuje się poprawnie, aczkolwiek prezentacja ilustracji pozostawia wiele do życzenia. Brakuje konsekwencji w stosowaniu jednego języka. Niektóre ilustracje są w języku polskim, niektóre w angielskim. Tyczy się to zarówno schematów jak i wykresów, które nie były zaczerpnięte z literatury, ale stworzone przez Autora pracy.

str. 5 - James Cook w XV lub XVI wieku jeszcze się nie narodził

str. 26 - Autor przedstawia w Tablicy 3.1 parametry stworzonej sieci. Moim zdaniem brakuje opisu (np. w Rozdziale 3), co parametry te charakteryzują oraz dlaczego akurat te parametry wybrano. Domyślałem się jedynie, że nastąpiło to w sposób empiryczny, ale brakuje choć krótkiego opisu jak na poprawę lub pogorszenie uczenia wpłynęły.

Podobnie w opisach trzech sieci na stronie 28 pojawia się określenie *warstwy typu Dense*, bez krótkiej charakterystyki tego typu lub przynajmniej odwołania do literatury. Tutaj w przeciwieństwie do poprzedniej uwagi autor wskazuje, że zmiana któregoś z parametrów wpływała na pogorszenie wyników. Brakuje jednak krótkiego przedstawienia wyników.

Jak napisałem w punkcie 2 recenzji, powyższe wpływa na niekorzystny odbiór pracy przez czytelnika. Sprawia wrażenie, że Autor sprawnie posługuje się SSN, ale używa ich jako „czarnych skrzynek” i dodatkowo wszelkie parametry dobiera w najlepszym razie w sposób empiryczny.

Na stronie 28 jest mowa, że wybrano algorytm Adam, po uprzednim przetestowaniu takich algorytmów jak SGD, czy RMSProp - szkoda, że nie przedstawiono wyników dla porównania.

W mojej ocenie praca kończy się zbyt szybko. Rozdział 5 prezentuje dużo wykresów i wyników w formie tabelarycznej i moim zdaniem jest to najważniejszy rozdział pracy. Zabrakło tu jednak (lub w dodatkowym rozdziale) wniosków i bardziej rozbudowanej analizy wyników. Przykładowo na stronie 56 Autor napisał: *NDR pokazane na rysunkach 5.12, 5.13 i 5.14 odnoszą się do porównania sieci neuronowych opisanych w sekcji 3.2 (sieć jednokierunkowa, rekurencyjna oraz konwolucyjna). Ich szybka bieżność do maksymalnej wartości znormalizowanej szybkości wykrywania uszkodzeń dla wszystkich czujników potwierdza poprawność skonstruowanego systemu badania uszkodzeń.* W moim przekonaniu taki komentarz do zaprezentowanych 12 ilustracji, w których zawarto łącznie 108 wykresów jest niewystarczający.

5. Ocena końcowa rozprawy

Pomimo wskazanych w punkcie 4 zastrzeżeń uważam, że rozprawa doktorska przedstawia oryginalne rozwiązanie zaprezentowanego w niej zagadnienia naukowego i projektowego. Mgr inż. Krzysztof Kolanowski umiejętnie postawił i rozwiązał zdefiniowane tezy. Szczególnie docenić należy fakt, że autor pracował na rzeczywistych urządzeniach, a nie dokonywał przybliżeń w postaci symulacji. Doktorant rozwiązał zadanie, które ma istotne znaczenie praktyczne. Dodatkowo należy podkreślić, że praca ma charakter interdyscyplinarny, a autor musiał się wykazać wiedzą z kilku dyscyplin. Pomimo drobnych zastrzeżeń, w mojej opinii w pełni spełnia ona wymogi stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie do publicznej obrony.

Michał Kruk