Recenzja rozprawy doktorskiej
Tomasza Koniora
pt. *Nowe algorytmy przetwarzania, analizy i oceny danych dla niestacjonarnych systemów ważenia pojazdów w ruchu*

Prof. dr hab. inż. Robert Cierniak
Politechnika Częstochowska
Katedra Sztucznej Inteligencji

Częstochowa, 7 marca 2025r.

Niniejsza recenzja została przygotowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacji Politechniki Śląskiej Pana Prof. dr. hab. inż. Andrzeja Polańskiego, pismem z dnia 27 listopada 2024 roku.

Ocena rozprawy doktorskiej

1. Uwagi wstępne

Zakres recenzowanej rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Tomasza Koniora dotyczy opracowania technik z obszaru przetwarzania informacji, czyli w swojej naturze zagadnienia z zakresu informatyki. Główny problem badawczy ujęty w niniejszej pracy dotyczy poszukiwania metod przetwarzania i wykorzystania danych pomiarowych pochodzących ze stacji ważenia pojazdów w ruchu. W skład tego rodzaju stacji wchodzi szereg instrumentów, wśród których najistotniejszymi elementami są czujniki wagowe i pętle indukcyjne. Motywacją dla podjęcia się działalności badawczej w tym zakresie był dla Doktoranta dynamiczny rozwój systemów kontroli przeciążenia pojazdów, co ma w perspektywie doprowadzić do zmniejszenia kosztów utrzymania infrastruktury drogowej (nawierzchni) poprzez zapobieganie nadużywania przez przewoźników norm w zakresie obciążenia osi pojazdów transportowych. Wobec rozwiązań technicznych związanych z powyższym problemem stoi zadanie, aby na podstawie pomiarów otrzymywanych z sensorów (całego spektrum możliwych rozwiązań sprzętowych),

które pozyskiwane są z pozycji całej stacji pomiarowej, określić przede wszystkim wagę pojazdu, który porusza się ze znaczną (normalną) prędkością. Pozwalałoby to na zbudowanie systemu nadzoru i kontroli ciężaru przypadającego na każdą oś danego pojazdu, co w konsekwencji ograniczałoby nadużycia w tym zakresie. Dodatkowo możliwe jest ustalanie długości przejeżdżających pojazdów, liczbę osi pojazdu, klasyfikacje pojazdów, określenie marki pojazdu. Istotne jest również, aby przeprowadzane pomiary i wyniki ich analizy były wiarygodne, głównie ze względów formalno-prawnych, gdyż egzekwowanie przepisów w zakresie utrzymywania norm obciążenia wagowego osi wiąże się niestety z koniecznością wymierzania kar za dokonywane przekroczenia. W pracy użyto zaawansowanych algorytmów przetwarzania sygnałów i analizy sygnałów, aby spełnić wszystkie zakładane cele, co sprawia, w świetle powyżej zarysowanego kontekstu należy uznać, że wyzwania stojące przed Doktorantem w określonym przez Niego obszarze są naukowo istotne. Dodatkowo nie można zaprzeczyć, że pola zastosowań proponowanych rozwiązań dotyczą bardzo aktualnych technik, mających bezpośrednie odniesienie do centralizujących monitorowanie rzeczywistości kierunków rozwoju technologii. Należy zatem uznać wysiłki naukowe i inżynierskie Kandydata do stopnia naukowego doktora, które są ujęte w Jego pracy, za w pełni umotywowane.

Praca kładzie główny nacisk na rozwijanie wątków związanych z rozwiązaniami algorytmicznymi, co sprawia, że klasyfikacja tejże pracy jako mieszczącej się w dyscyplinie naukowej informatyka techniczna i telekomunikacja jest w pełni uzasadniona. Choć, trzeba tu przyznać, mocne są tutaj też wątki związane z metrologią i transportem, co jedynie wzmacnia pozytywny odbiór motywacji dla podjęcia się Doktoranta prac w obranym przez siebie obszarze.

Podsumowując, problem badawczy, przed którym stanął mgr inż. Tomasz Konior należy uznać za wymagający na wielu płaszczyznach, naukowych i praktycznych, dotykając w swojej naturze dyscypliny informatyki technicznej i telekomunikacji. W tym sensie perspektywicznie aplikacyjną stronę niniejszej pracy należy szczególnie podkreślić.

2. Zawartość rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Tomasza Koniora pt. *Nowe algorytmy przetwarzania, analizy i oceny danych dla niestacjonarnych systemów ważenia pojazdów w ruchu* została napisana w języku polskim i jest dość obszerna, zajmując w sumie 164 strony. Praca składa się z części zatytułowanej *Wprowadzenie*, rozdziału przedstawiającego problematykę kontroli przeciążenia pojazdów i kontroli tego procederu, cele pracy i podstawowe informacje o

autorskich dokonaniach Doktoranta, Rozdziału 2., omawiającego podstawowe kierunki rozwoju systemów ważenia pojazdów, Rozdziału 3., prezentującego dokonane realne wdrożenia systemów z udziałem zaproponowanych nowych rozwiązań autorstwa/współautorstwa Doktoranta, w którym dokładnie zaprezentowano elementy takich systemów, gdzie mgr inż. Tomasz Konior posiada własny wkład twórczy, i w końcu Podsumowania, w którym opisane są najważniejsze informacje o dokonaniach Autora, perspektywy techniczne i formalno-prawne dla tworzonych systemów. Pracę uzupełniają części w postaci Rozdziałów 5 i 6, w których znalazł miejsce opis zestawów danych zbieranych ze stacji ważenia pojazdów, narzędzia i kody użyte w trakcie badań. Na końcu umieszczona jest obszerna bibliografia tematyczna, składająca się z 101 pozycji.

3. Ocena pracy

W mojej ocenie recenzowana praca Pana Mgr inż. Tomasza Koniora posiada znaczną wartość naukową, jak i godny uznania charakter praktyczny, gdyż prezentowane w ramach niniejszej dysertacji rozwiązania znalazły bezpośrednie zastosowanie w konkretnym zastosowaniu z zakresu kontroli wybranych elementów monitorowania ruchu pojazdów na drogach. Po lekturze niniejszej pracy nasuwa się nieodparte wrażenie, że Doktorant musiał w trakcie realizacji swoich zamierzeń badawczych przejść głębokie studia nad dziedziną problemu, tj. wykorzystaniem możliwości w zakresie opomiarowania niestacjonarnych systemów kontroli wagi pojazdów do określania szeregu parametrów pojazdów poddawanych monitoringowi tego rodzaju, co znajduje swoje odzwierciedlenie w wielu miejscach opisu Jego dzieła.

Rozdział 2. systematycznie wprowadza czytelnika w elementy systemów niestacjonarnego ważenia pojazdów będących w ruchu), tj. czujników wagi, czujników detekcji pojazdów (np. pętli indukcyjnych, komputera sterującego pomiarami, algorytmów służących przetwarzaniu sygnałów pochodzących z tych czujników i sposoby analizy powstałych danych sygnałowych czujników. Brak jest w pracy odnośników do wkładu Doktoranta w budowanie fizycznych elementów powstałych systemów (być może Doktorant miał w tym obszarze swoje zasługi, które w takim razie trzeba byłoby wskazać). Jakkolwiek sposób i zakres przedstawienia tej tematyki w Jego pracy wskazuje na głęboką wiedzę Pana Tomasza Koniora na tym polu. Na podkreślenie zasługuje szerokie spektrum narzędzi umożliwiających wydobycie istotnej informacji z pozyskanych danych pomiarowych, uwzględnionych w zaprezentowanej zestawieniu, tj. w szczególności programowanie liniowe, FFT, *Chirp Z-Transform*,

transformata falkowa, szeroka gama klasyfikatorów z zakresu uczenia maszynowego, regresory, *fuzzy logic*.

W Rozdziale 3. który w sposób bezsprzeczny nosi autorskie piętno Doktoranta, podjęto się zadania nakreślenia oryginalnych osiągnięć Pana mgr. inż. Tomasza Koniora w kontekście zbudowanych i eksploatowanych czterech różnych stacjach testowych, w dwóch stacjach badawczych i dwóch wdrożeniowych. Każda z tych stacji różni się od pozostałych i w każdym przypadku należało indywidulanie podejść do napotkanych uwarunkowań technicznych i środowiskowych. Zrealizowane przez Doktoranta badania można podzielić na kilka oddzielnych kategorii, z wyróżnieniem przede wszystkim tych wątków, które związane były z wykorzystaniem pomiarów z pętli indukcyjnej wchodzącej w skład danej stacji, jak również te podejścia, które dotyczyły wykorzystania pomiarów z czujników wagowych.

W pierwszym przypadku celem badań było wypracowanie metod automatycznej klasyfikacji pojazdów, w szczególności z wykorzystaniem estymowanej długości tych pojazdów i metod rozpoznawania liczby osi dla przejeżdżającego pojazdu, oraz estymowanie prędkości tych pojazdów. W tym zakresie Kandydat opracował metody służące estymacji długości pojazdów: bezpośrednią, z użyciem wektorów utworzonych z wykorzystaniem metod transformacyjnych na danych pomiarowych z pętli indukcyjnej, po normalizacji danych i przeprowadzeniu analizy czynnikowej, w których estymatorami były regresor lasu losowego, regresor drzewa decyzyjnego, maszyna wektorów nośnych oraz regresja logistyczna, oraz pośrednią, z wykorzystaniem dwóch pętli i wyznaczeniem interwału czasowego pomiędzy przejazdem danego samochodu pomiędzy pętlami. Poza tym opracował On klasyfikator rozpoznający liczbę osi, którą posiada przejeżdżający pojazd: z użyciem wektorów utworzonych z wykorzystaniem metod transformacyjnych na danych pomiarowych z pętli indukcyjnej, po normalizacji danych, w których estymatorami był zestaw narzędzi jak poprzednio, z tym, że najlepsze rezultaty przyniosło użycie regresora lasu losowego. Następnie Doktorant pokusił się o samodzielne opracowanie dwóch podejść do klasyfikacji pojazdów i jednego podejścia ze współudziałem innych badaczy. Dwa samodzielnie wypracowane podejścia są do siebie podobne, z tym, że w drugim z nich rozszerzono wektory danych o niektóre rezultaty uzyskane po zastosowaniu transformat FFT i Chirp Z-Transform, by później wykorzystać podobny zestaw metod klasyfikacyjnych, jak w poprzednich zagadnieniach. Trzecie, współautorskie, podejście wyróżnia się zastosowaniem trzech różnych częstotliwości nośnych w układzie pomiarowym oraz użycie powiększonej liczby typów klasyfikatorów o takie narzędzi, jak: *Naive Bayes*, KNN oraz sztuczną sieć neuronową.

W przypadku wykorzystania pomiarów z czujników wagowych Doktorant dopracował się jednego podejścia autorskiego, w którym wykorzystano model regresji z użyciem lasu losowego do estymowania wagi pojazdu. Poza tym Kandydat brał udział w opracowywaniu dwóch podejść do zagadnienia klasyfikacji pojazdów na podstawie prostych zależności wynikających z warunków przeprowadzania pomiarów (podejście I) i z użyciem analizy dyskryminacyjnej i metody kNN (podejście II).

Oprócz tych podstawowych wątków badawczych mgr inż. Tomasz Konior odniósł się do zagadnień, będących niejako przedłużeniem osiągniętych we wcześniejszych badaniach rezultatów. Chodzi tutaj o próby klasyfikowania przejeżdżający pojazdów do określonej marki, a nawet modelu samochodu (osiągniecie oryginalne) oraz badania nad algorytmami oceny wiarygodności pomiarów wagi pojazdów w ruchu. Ten ostatni element jest szczególnie istotny w kontekście perspektywicznych możliwości sankcji karnych dla użytkowników dróg, którzy dopuścili się przekroczeń norm w zakresie obciążenia osi pojazdów ciężarowych.

Należy jednoznacznie w tym miejscu podkreślić, że do swoich badań Kandydat do stopnia naukowego doktora przystąpił z pełną świadomością praktycznego wymiaru swoich zamierzeń naukowych i technicznych. Z tą świadomością rozpoczął On wysiłki naukowe i inżynierskie od sformułowania metodologii badawczej, w ramach której natknął się On na specyficzne problemy, z którymi poradził sobie zgodnie z zasadami stosowanymi w nauce. Zgodnie z aktualnie panującymi standardami Doktorant rozpoczął od dogłębnego zaznajomienia się z uwarunkowaniami technicznymi istniejących stacji, które zawierają układy pomiarowe, które to dostarczają koniecznych danych. Następnie dobrał On odpowiednie metody wstępnego przetwarzania danych, by doprowadzić je do stanu, w którym mogą zostać wykorzystane do przeprowadzenia podstawowych dla budowanego systemu procesów klasyfikacji i dokładnego pomiaru, oraz określenia wiarygodności uzyskanych rezultatów. Trzeba podkreślić, że w trakcie swoich naukowych peregrynacji Doktorant wybierał odpowiednie narzędzia i metody rozwiązywania problemów z pełną świadomością celów i konkretnych napotykanych uwarunkowań. Wykazał się On przy tym bardzo dużą wiedzą o istniejących możliwościach w tym względzie.

Działanie poszczególnych algorytmów użytych w ramach wymienionych powyżej wątków badawczych zostało przez Kandydata zweryfikowane w sposób obiektywny z wykorzystaniem analizy statystycznej uzyskanych wyników.

Przeprowadzona analiza głównych i pobocznych wątków badawczych zawartych w ocenianej tutaj pracy doktorskiej, z podkreśleniem własnego oryginalnego wkładu Doktoranta w powstanie prezentowanych metod nadzoru wybranych elementów ruchu drogowego,

pozwala stwierdzić, że zaproponowane przez Niego rozwiązania stanowią wartościowy dorobek naukowy i techniczny, z podkreśleniem ich utylitarności. Należy podkreślić szeroką gamę kompetencji posiadanych przez Doktorant, które pozwoliły na sformułowanie złożonych metod oraz twórczą adaptację znanych wcześniej podejść. Praca Pana mgr. inż. Tomasza Koniora charakteryzuje się entuzjazmem Autora, a Jego wysiłki najwyraźniej skupiają się na chęci zastosowania uzyskanych wyników w praktyce. W takim sensie pracę oceniam bardzo wysoko.

Po lekturze treści tej pracy nasuwają jednak pewne wątki dyskusyjne, które należałoby wyjaśnić lub odpowiednio naświetlić, a mianowicie:

1. W moim przekonaniu w pracy należałoby nakreślić podstawę funkcjonowania metody pomiarowej z wykorzystaniem pętli indukcyjnej, w szczególności potrzeby wyznaczania składowej rzeczywistej i urojonej w sygnale nośnej?
2. Trochę pogubiłem się w określeniu opracowanych i przedstawionych w pracy metod (albo pogubił się Doktorant), tj. nie zdołałem odnaleźć w treści pracy klasyfikatora do określania liczby osi pojazdu – podejście 2, wydaje mi się, że w punkcie 3.2.7 znajduje się opis obu podejść do wyznaczenia estymatora prędkości pojazdu, pomimo tego, że tytuł tego punktu to Estymator prędkości pojazdu – podejście 2.?
3. Rodzi się pytanie: jakiego rodzaju siec neuronową zastosował Doktorant w punkcie 3.2.6?;
4. Czy nie należało w trakcie przeprowadzanych eksperymentów odnoszących się do problemu klasyfikacyjnego użyć miar jakości klasyfikacji? I czy można określić w danym systemie klasyfikacyjnym parametry, które mogłyby balansować czułość i specyficzność decyzji w stosunku do pomiary obciążenia osi (problem pewności w stosunku do podjętej decyzji o karaniu kierowcy?
5.

Powyższe uwagi nie umniejszają jednak znaczenia przeprowadzonych przez Doktoranta badań w poszczególnych elementach składowych i ich znaczenia naukowego i praktycznego.

Godne skomentowania jest również strona redakcyjna niniejszej pracy. W tym sensie Doktorant dołożył wszelkich starań, aby lektura praca była przyjemnością: poszczególne zagadnienia są prezentowane w jasny i ciekawy sposób, zaznamiający czytelnika z prezentowanymi podejściami. Praca jest przejrzysta, Kandydat w systematyczny sposób wprowadza w niuanse swoich rozważań, od naszkicowania dziedziny problemu i zagadnień podstawowych, przechodząc następnie do szczegółowego omówienia zbudowanych przez siebie eksperymentów naukowych. W ogólnym zarysie praca prezentuje metodologiczną

poprawność pod względem scenariusza prezentacji danego zagadnienia badawczego. Jakkolwiek w trakcie analizy zawartości dysertacji zauważono nieliczne uchybienia w stosunku do edycji tekstu, to jednak nie zmienia to ogólnie pozytywnego odbioru pracy pod względem edytorskim.

Stwierdzam w tym miejscu, że praca Pana mgr. inż. Tomasza Koniora zatytułowana: *Nowe algorytmy przetwarzania, analizy i oceny danych dla niestacjonarnych systemów ważenia pojazdów w ruchu* uzyskała u mnie pozytywną ocenę i może **być przyjęta jako podstawa dopuszczenia do obrony pracy.**

Uwagi końcowe

Z uwagi na pozytywną ocenę rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Tomasza Koniora uważam, że jako Kandydat do uzyskania stopnia naukowego doktora spełnia On wymagania stawiane przez odnośne przepisy osobom ubiegającym się o ten stopień naukowy w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja. **Stawiam wniosek o dopuszczenie Pana mgr. inż. Tomasza Koniora do obrony pracy doktorskiej.**

Robert Cierniak