

wpłynęło dnia 10.01.2024

nr zał.

Prof. dr hab. inż. Ryszard Tadeusiewicz

rtad@agh.edu.pl; www.tadeusiewicz.pl; 30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30
Katedra Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej wydziału EAIIB AGH
Doktor Honoris Causa czternastu uczelni krajowych i zagranicznych
Członek Polskiej Akademii Nauk; Członek Polskiej Akademii Umiejętności;
Były Rektor AGH; Były Prezes Krakowskiego Oddziału PAN; Były członek CK
Członek Akademii Inżynierskiej, член Российской Академии Естественных Наук
Participle Pleno Jure Academiae Europensis Scientiarum Artium Litterarumque
Fellow of World Academy of Art and Science; Euro-engineer FEANI
Senior Member of IEEE; professional member of ACM; member of SPIE

Kraków, 05.01.2024

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Fica

Przedmiotem niniejszej recenzji jest rozprawa doktorska **mgr inż. Pawła Fica** zatytułowana „Przewidywanie awarii urządzeń przemysłowych w oparciu o analizę wibrodiagnostyczną z wykorzystaniem sztucznej inteligencji”. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Adam Czornik. Praca została opracowana na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej. Formalną podstawą do sporządzenia tej recenzji jest Uchwała nr 61/2023 Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Śląskiej z dnia 26.09.2023 powierzająca między innymi mnie funkcję recenzenta w tym przewodzie, o czym powiadomiła mnie Przewodnicząca owej Rady Dyscypliny, dr hab. inż. Monika Kwoka, prof. PŚ pismem numer RDAEETK.512.10.2023 datowanym w Gliwicach 16.10.2023.

Ogólne komentarze dotyczące zawartości rozprawy

Oceniana rozprawa doktorska przygotowana została w ramach programu MEiN „Doktorat wdrożeniowy”, co będę brał pod uwagę przy jej ocenie. Rozprawa ma objętość 107 stron, a jej treść podzielona jest na 4 rozdziały, wliczając w to „Wprowadzenie” oraz „Zakończenie”. W pracy umieszczono krótkie streszczenie w języku polskim. Brakuje streszczenia w języku angielskim, które w zwykłych doktoratach jest wymagane, nie wiem jednak, czy wymaganie to dotyczy również doktoratów wdrożeniowych? W każdym razie czuję się w obowiązku odnotować to odstępstwo, nie czyniąc jednak z tego zarzutu pod adresem Doktoranta. Praca zawiera na początku typowe spisy – odpowiednio treści, rysunków, tabel, a na końcu bibliografii. Ten ostatni jest bardzo obszerny (145 pozycji) i zawarte w spisie publikacje są przywoływane w treści rozprawy (sprawdziłem wrywkowo kilka pozycji), więc można z uznaniem stwierdzić, że Doktorant bardzo solidnie przygotował się do realizacji zadań opisanych w rozprawie.

Jej zawartość to głównie opis wdrożeń przemysłowych zmierzających do predykcji awarii urządzeń przemysłowych. Autor rozprawy przyjął założenie, że do osiągnięcia tego celu wykorzystywał będzie dostępne narzędzia chmurowe, dla których przygotowuje algorytmy sztucznej inteligencji wykorzystujące dane procesowe i wibrodiagnostyczne. Elementem występującym w tej rozprawie, a

nie spotykanym przy wcześniej opiniowanych przeze mnie dysertacjach doktorskich, było pozyskanie przez Autora klienta, dla którego potrzeb oprogramowanie do predykcji awarii było przystosowane i u którego wdrażany jest system przewidywania awarii. Dla tego klienta przedstawiony został w rozprawie autorski algorytm klasyfikacji i predykcji awarii urządzeń przemysłowych w oparciu o analizę wibrodiagnostyczną z wykorzystaniem sztucznej inteligencji. Ten algorytm oraz implementujący go system stanowi zasadniczą wartość, którą wnosi opiniowana rozprawa.

Ocena celu i zakresu badań oraz przedstawionej tezy naukowej

Cel badań jest czytelnie i jednoznacznie zapisany w tytule rozprawy, jest więc podczas czytania rozprawy od początku wiadomo, do czego mgr Fic dąży. Niemniej teza pracy pojawia się dość późno, w podrozdziale 1.5, na stronicy 9. Osobiście wolę rozprawy, w których ten kluczowy element pojawia się wcześniej, bo łatwiej jest śledzić wywody Autora, gdy konkretnie wiadomo, do czego on dąży. Niemniej samą tezę sformułowaną przez mgra Fica:

Widmo prędkości drgań pozyskane z odpowiednio umiejscowionego czujnika drgań jest wystarczające, aby poprawnie klasyfikować i w przejrzysty sposób prezentować stan pompy z rozróżnieniem kilku rodzajów uszkodzeń i wartości obciążenia

w pełni akceptuję i stwierdzam, że łączy ona aspekt wdrożeniowy (ważny w kontekście celu doktoratu jako pracy wdrożeniowej z rozwiązaniem niebanalnego problemu naukowego i przez to ze wzbogaceniem wiedzy. Uważam, że praktyczne udowodnienie przez Doktoranta prawdziwości owej tezy odpowiada temu, czego ustawowo i zwyczajowo oczekuje się od prac doktorskich.

Ocena zawartości rozprawy

Przejdę teraz kolejno przez wszystkie rozdziały rozprawy, omawiając skrótowo ich treść i wskazując, co uważam za ich istotną wartość naukową.

Rozdział 1 zatytułowany „Wprowadzenie” zaczyna się od rozważań bardzo ogólnych na temat specyfiki potrzeb generowanych przez przemysł pod adresem nauki, w szczególności w kontekście predykcyjnego utrzymania ruchu. Podoba mi się ten fragment pracy, bo dowodzi, że fakt wybrania przez mgra Fica drogi do nauki wiodącej przez doktorat **wdrożeniowy** był skutkiem dojrzałych i mądrych przemyśleń.

Następne dwa podrozdziały „Wprowadzenia” poświęcone są na zebranie i wstępne przedyskutowanie zaczerpniętych z literatury koncepcji oraz pojęć, dotyczących kolejno: urządzeń brzegowych i chmury obliczeniowej. Żadnych elementów oryginalnych w nich nie dostrzegam, więc

nie dopisuję ich do listy argumentów przemawiających za nadaniem magistrowi Ficowi stopnia doktora. Natomiast elementem oryginalnym i naukowo wartościowym jest zawartość podrozdziału 1.4, w którym Doktorant przeprowadza analizę relacji pomiędzy swoimi koncepcjami, które chce zrealizować w ramach rozprawy, a stanem wiedzy ocenionym na podstawie literatury. Analizowane są zagadnienia związane z pomiarem wibracji, wydobywania cech rejestrowanych sygnałów i problem fuzji sensorycznej. Ciekawy jest też przegląd zagadnień związanych ze sztuczną inteligencją w wibrodiagnostyce, oraz naświetlony w podrozdziale 1.4.3 aspekt wdrożeniowy. W podrozdziale 1.4.4 Doktorant zapowiada, jakie elementy innowacyjne zamierza umieścić w swojej pracy, chociaż na tym etapie jest to tylko zapowiedź. Mgr Fic w podrozdziale tym deklaruje, że elementy te są wartością dodaną jaką niesie ze sobą prezentowana praca. Niewątpliwie ma rację, bo po przestudiowaniu treści dysertacji potwierdzam, że wskazane elementy rzeczywiście występują w niej i rzeczywiście są ową wartością dodaną. Jednak muszę stwierdzić, że zawartość omawianego podrozdziału wprawiła mnie w zakłopotanie, bo Doktorant dokonał w nim swoistego rodzaju samooceny, by nie powiedzieć – autoreklamy. Taki sposób mówienia i pisanie o własnych dokonaniach nie jest przyjęty w pracach naukowych i powinno się go unikać. Zasadą jest przedstawienie **faktów**, natomiast ich **ocenę** pozostawia się czytelnikom, zwłaszcza gdy są oni do tego właśnie powołani (jak recenzenci rozprawy doktorskiej).

Dalsza część „Wprowadzenia” (podrozdział 1.5) zawiera wyartykułowaną tezę rozprawę i omówienie przyjętej w rozprawie drogi dowodzenia tej tezy. Było to już wcześniej dyskutowane, więc tutaj do tego ponownie się nie odnoszę.

W rozdziale drugim mgr Fic opisuje ogólną architekturę projektowanych i wdrażanych przez siebie programów do przewidywania awarii urządzeń przemysłowych w oparciu o analizę wibrodiagnostyczną z wykorzystaniem sztucznej inteligencji. W całym rozdziale rozważa równolegle dwa warianty programów: działające lokalnie u użytkownika (co określa jako rozwiązanie „on-premise”) oraz oprogramowanie wykorzystujące rozwiązania bazujące na chmurze.

W tym miejscu mam pytanie do Doktoranta, na które chciałbym uzyskać odpowiedź w trakcie obrony. Otóż całkiem niezrozumiałe dla mnie jest uporczywe używanie w rozprawie nazwy on-premise w odniesieniu do rozwiązania, które bez trudu można nazwać po polsku - na przykład jako rozwiązanie **lokalne** albo **umiejscowione**. Być może w pewnych grupach informatyków taka właśnie nazwa jest używana (ja się nie spotkałem), ale moim zdaniem jest to kolejne niepotrzebne zachwaszczanie języka polskiego zagranicznymi naleciałościami. W emailach wymienianych z innymi fachowcami Autor rozprawy może oczywiście używać tego (i innych anglojęzycznych) terminów, bo to nikomu nie szkodzi. Ale wprowadzanie takiego „nowotworu językowego” do tekstu rozprawy

naukowej (na której pewnie będą się wzorować kolejni naukowcy) uważam za wybitnie szkodliwe. Traktuję to jako poważny mankament opiniowanej rozprawy – chyba, że na obronie zostaną przekonani, że wprowadzenie tej anglojęzycznej nazwy było w tym przypadku absolutnie konieczne.

Przechodząc dalej do analizy zawartości drugiego rozdziału rozprawy odnotowuję, że omawianie szczegółów zaczyna Autor pozornie od końca, to znaczy od omówienia sposobów wizualizacji wyników, czyli od systemu SCADA. Do realizacji tego zadania przewiduje użycie gotowych narzędzi, wskazując je osobno dla rozwiązania chmurowego i osobno dla rozwiązania nazywanego przez Niego on-premise. Własnych odkryć naukowych Doktoranta w tym nie ma, natomiast z uznaniem odnotowuję jego dobrą orientację w tym, co (i gdzie) jest dostępne w formie gotowego oprogramowania.

W podrozdziale 2.2. omówiona jest architektura rozwiązania on premise. Opis jest rzeczowy i wyczerpujący, ze wskazaniem własnego oprogramowania, które dla tej architektury stworzył osobiście mgr Fic oraz z dobrą specyfikacją roli i sposobu użycia oprogramowania pobranego z różnych źródeł. W opisanym podrozdziale jest mnóstwo nazw różnych modułów programowych, więc łatwo się „zgubić w tym gąszczu”, ale w orientacji pomagają odnośniki do literatury.

Pomijając wzmiankowaną wyżej wątpliwość terminologicznej natury treść podrozdziału 2.2 oceniam pozytywnie i stwierdzam, że podrozdział ten jest dobrze zbudowaną bazą, na której można budować system będący przedmiotem wdrożenia.

Podobnie oceniam krótki podrozdział 2.3, w którym Doktorant przedstawia wstępny szkic rozwiązania chmurowego.

Ciekawe i zdecydowanie wartościowe jest porównanie zastosowanych rozwiązań wraz z analizą kompatybilności algorytmów, ekosystemu, a także magazynów danych oraz wymagań sprzętowych. Wszystko to jest zrobione bardzo profesjonalnie i reprezentuje dobry poziom naukowej oryginalności.

Wartość oryginalności posiada oczywiście także podrozdział 2.5, w którym zawarty został opis autorskich bibliotek. Szczegóły zbudowanych i użytych algorytmów oraz doświadczenia zdobyta podczas ich wdrażania zawarte są w rozdziale 3.

Rozdział 3 jest merytorycznym jądrem rozprawy, gdyż jego treścią są algorytmy proponowane przez mgra Fica do predykcji awarii. Opisane zostały wdrożenia produkcyjne (bardzo krótko, bo niewiele z nich wynikało) oraz bardzo obszernie i szczegółowo badania przeprowadzone w PONAR Wadowice

S.A. Zwłaszcza opis tych drugich doświadczeń i analiza ich wyników stanowi zdecydowanie wartościowy naukowo fragment opiniowanej rozprawy. Autor przeprowadził badania na pompie wielotłoczkowej HSP-10V firmy Hydraul, w której celowo wprowadzono opisane w pracy cztery rodzaje uszkodzeń, a potem poddano ją eksploatacji z czterema rodzajami obciążeń. Zaprojektowany i skompletowany przez Doktoranta układ pomiarowy zbierał dane dotyczące wibracji pracującej maszyny, które następnie zostały poddane analizie i klasyfikacji. Merytorycznie badania te prowadzone były bez zarzutu, a uzyskane wnioski korzystnie wspierają tezę rozprawy. Obok badań na rzeczywistych sygnałach rozważano także modele, wytrenowane na syntetycznych spektrogramach. Zastosowano przy tym rzutowanie wyekstrahowanych cech spektrogramów do układu współrzędnych 2D i przeprowadzono poprawną analizę tych rysunków.

Z punktu widzenia celu rozprawy szczególnie ważna jest zawartość podrozdziału 3.2.3 „Predykcja”. Przy wdrożeniu systemu użytkownikowi zapewne właśnie na tym szczególnie zależy, żeby przewidzieć (oczywiście z pewnym prawdopodobieństwem) co i kiedy się wydarzy. Uważam, że mgr Fic z tego zadania wywiązał się bardzo dobrze.

Podsumowując stwierdzam, że zawartość rozdziału 3 spełnia wszystkie wymagania, jakie można formułować w stosunku do dysertacji, której celem ma być zdobycie stopnia naukowego doktora, w szczególności w przewodzie prowadzonym pod kątem konkretnego wdrożenia – i ten fakt przesądza o moim końcowym pozytywnym wniosku.

Pracę kończy bardzo dobrze sformułowane Zakończenie (Rozdział 4) w którym rzeczowo i konkretnie wskazano cechy wypracowanych rozwiązań. Wzięto pod uwagę przejrzystość wypracowanych hipotez, jakość działania algorytmów, koszt aparatury pomiarowej oraz przenaszalność algorytmów. Z podanymi przez Autora stwierdzeniami w pełni się zgadzam. Aprobuję także przedstawione podsumowanie, a w szczególności zgadzam się, że przytoczone w pracy argumenty dowodzą prawdziwości postawionej tezy.

Uwagi dyskusyjne

Praca napisana jest ogólnie poprawnie. Zdarzają się jednak drobne usterki redakcyjne, które jako recenzent mam obowiązek wskazać. Na przykład wiele rysunków włączono do tekstu w taki sposób, że rozbijają one zdania. Zdanie zaczyna się na końcu jednej stronicy, nie jest dokończone bo na następnej stronicy jest rysunek, a kontynuacja rozpoczętego zdania jest dwie stronicę dalej. To samo dotyczy sposobu włączania do tekstu tabel, gdzie niekiedy wstawiona tabela przedziela dwie części przenoszonego do nowej linijki wyrazu (na przykład tabela 3.2 na stronicy 38). Tego tak się nie robi,

to urąga wszelkim zasadom redagowania jakichkolwiek dokumentów, a rozprawa doktorska powinna być poważnym i poprawnie zredagowanym dokumentem. Opis sygnałów na rysunku 3.3 jest wadliwy – na przyzwoitym schemacie powinna być informacja, jaka informacja jest przesyłana, a nie jakie jest napięcie czy natężenie i ile jest tam drutów. Na rysunku 3.4 opis jest niekonsekwentny: osie pionowe obu wykresów opisane są po angielsku, natomiast ich osie poziome – po polsku. W otoczeniu tego rysunku też jest redakcyjna usterka. W pierwszym wierszu na stronicy 37 jest słowo „per”, które wydaje się tam niestosowne. Bloki na rysunkach 3.5 i 3.6 oraz na rysunku 3.21 (str. 73) powinny być opisane po polsku, a nie po angielsku, bo cała praca napisana jest po polsku. To samo dotyczy rysunków 3.7 i 3.8 oraz 3.21 i 3.26 na których także opisy powinny być po polsku. Kuriozalny jest rysunek 3.15, gdzie część opisu bloków jest po polsku, a część po angielsku.

Niektóre stwierdzenia Autora bywają nadmiarowe. Na przykład określenie „płaszczyzna 2D” zawiera dwukrotnie tę samą informację. Niby niczemu to nie przeszkadza, ale tak się pisać nie powinno.

Przy tworzeniu prezentacji 2D osie na wykresach 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, 3.25, 3.26 opisano niepotrzebnie po angielsku, zwłaszcza że **nazwy** wartości odkładanych na osiach w istocie nie niosą żadnej informacji.

Podsumowanie i wniosek końcowy

Opiniowana rozprawa doktorska mimo wspomnianych wyżej redakcyjnych (a więc nie merytorycznych!) usterek zdecydowanie spełnia ustawowe i zwyczajowe warunki stawiane rozprawom doktorskim, a w szczególności spełnia nowe wymagania ustawowe związane z doktoratem wdrożeniowym, dlatego wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Śląskiej o przyjęcie pracy jako rozprawy doktorskiej, dopuszczenie Autora, mgr inż. Pawła Fica do obrony doktorskiej, a po jej poprawnym (w co wierzę) przebiegu – będę głosował za nadaniem Kandydatowi stopnia naukowego doktora.