

Prof. dr hab. inż. Wojciech Batko

Kraków, 2023-05-28.

Akademia Nauk Stosowanych w Krośnie

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Mateusza Kalischa



pt. „Metoda detekcji uszkodzeń w diagnostyce procesów z uwzględnieniem kontekstu” .

Promotor pracy : dr. hab. inż. prof. PŚI. Anna Timofiejczuk.

Promotor pomocniczy : dr hab. inż. prof. PŚI Piotr Przysiałka

Podstawa prawna oceny : Pismo RDIME.512.7..2023, Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej, prof. dr hab. inż. Ewy Majchrzak z dnia 29.03.2023 r.

1. Ocena problematyki rozprawy.

Problemy badawcze związane z doskonaleniem wiedzy wspomagającej rozpoznawanie uszkodzeń maszyn i urządzeń należą do grupy zagadnień badawczych ciągle rozwijanych w licznych ośrodkach naukowo-badawczych w kraju i zagranicą. Poszukiwane rozwiązania; *(w sytuacji ciągle rosnącej złożoności maszyn i systemów produkcyjnych)* są niezbędnym warunkiem rozwoju nowej wiedzy diagnostycznej, pomocnej w procesach identyfikacji sprawność monitorowanych obiektów, które wpisują się w poszukiwania efektywnych metod ich eksploatacji i zarządzania procesami przemysłowymi.

Współczesna wiedza w zakresie uczenia maszynowego otworzyła nowe możliwości rozwoju metod diagnostyki. Są one związane z identyfikacją fizycznych modeli rozpatrywanego obiektu dla potrzeb diagnostyki, jak i budową dyskryminacyjnych modeli dla potrzeb detekcji uszkodzeń, które bazując na materiale empirycznych uzyskanych w procesach monitorujących umożliwiają aproksymacje wielowymiarowych rozkładów prawdopodobieństwa diagnozowanych stanów obiektu, przy znanych wartościach cech diagnostycznych.

Doktorant z tym kierunkiem poszukiwań rozwiązań diagnostycznych związał swoje badania. Podjął próbę opracowania metody detekcji uszkodzeń bazującej na klasyfikatorze kontekstowym. Opracował podstawy teoretycznych konstrukcji takiego klasyfikatora, którego parametry dostrajał automatycznie za pomocą algorytmu optymalizacji wielokryterialnej NSGA-II. Sprawdził swoją koncepcję badawczą na danych uzyskanych z odpowiednio zaprogramowanego czynnego eksperymentu diagnostycznego, który wykonał na stanowisku laboratoryjnym FESTO S7 Edu Trainer., Pokazał, jak uwzględnienie kontekstu w algorytmach budowy klasyfikatorów stanu ogranicza ich złożoność przy zadaniu maksymalizacji efektu detekcji stanu z uszkodzeniami oraz bez uszkodzeń, przy warunku zachowania wysokiej powtarzalności wyników oraz powiązanych z nimi uproszczeń realizacyjnych struktury modeli klasyfikatorów. Nakreślił istotne wyróżniki wyników uzyskanych w przy realizacji rozprawy. Pozwoliły mu na sformułowanie tezy rozprawy - mówiącej o możliwości

poprawy wskaźników opisujących skuteczność detekcji uszkodzeń przy uwzględnieniu kontekstu w procesie budowy klasyfikatora stanu..

Uzyskane przez Doktoranta rezultaty mają wymiar narzędzi i wskazań projektowych do budowy klasyfikatora detekcji uszkodzenia z uwzględnieniem kontekstu. Mogą one znaleźć liczne aplikacje w budowanych systemach monitorujących stan nadzorowanych maszyn i urządzeń.

Rozprawa porusza wiele zagadnień z zakresu inżynierii mechanicznej związanych z zagadnieniami: budowy modelu matematycznego zachowań eksploatacyjnych obiektu diagnozy, metod przetworzeń sygnałów diagnostycznych w procesie tworzenia identyfikacyjnych algorytmów rozpoznania stanu obiektu w tym z zastosowaniem metod sztucznej inteligencji, a także prowadzenia zaprogramowanych eksperymentów badawczych. Ich wykorzystanie umożliwiło Autorowi stworzenie oryginalnego algorytmu budowy klasyfikatora detekcji uszkodzeń z uwzględnieniem kontekstu. Został on poparty studium przypadku, w którym mają odniesienia do zaproponowanego rozwiązania budowy klasyfikatora stanu diagnozowanego obiektu.

Podjęcie tego tematu przez Doktoranta i jego realizację oceniam jednoznacznie pozytywnie. Z punktu widzenia walorów poznawczych i praktycznych, recenzowana praca doktorska **jest poznawczo niezmiernie ważna i aktualna.**

Spełnia wszystkie oczekiwania jakie wiązać można z tematem pracy doktorskiej. Jest ona atrakcyjna aplikacyjnie i naukowo, i dobrze wkomponowując się w współczesne potrzeby i trendy badawcze, związane z poszukiwaniami nowych rozwiązań diagnostycznych dla sterowania procesami eksploatacji maszyn i procesów produkcyjnych.

2. Analiza zawartości rozprawy.

Przechodząc do ogólnej charakterystyki rozprawy mgr inż. Mateusza Kalischa stwierdzam, że opiniowana praca doktorska stanowi bardzo obszerne analityczno-eksperymentalne studium problemu budowy klasyfikatora detekcji uszkodzeń z uwzględnieniem kontekstu. Ma ona egzemplifikację w zadaniach detekcji uszkodzeń elementów instalacji hydraulicznych, takich jak pompy, zawory czy zbiorniki. Jej treści są ujęte na 151 stronach, i prezentowane w: 6 rozdziałach, 71 rysunkach, 46 tabelach. Całość uzupełnia wykaz 111 odnośników literaturowych do treści pracy, streszczenia (w jęz. polskim i angielskim), wykaz ważniejszych oznaczeń oraz dodatek A zawiera zbiorczą prezentację wyników eksperymentów.

Rozdział 1 rozprawy doktorskiej stanowi wprowadzenie do problemu naukowego poruszonego w pracy. Przedstawia jej motywację oraz jego podłoże naukowe celowości jego podjęcia. Umiejscawiają ideę programową rozprawy w tle zadań diagnostyki technicznej, tj. realizacji procesu detekcji i naprawy uszkodzeń maszyn i urządzeń technicznej, jego powiązań oraz roli w doborze efektywnych strategii zarządzania procesami przemysłowymi. Omawia zakres poruszonych w rozprawie problemów.

Rozdział 2 charakteryzuje podstawowe ujęcie procesu wnioskowania diagnostycznego w diagnostyce procesów przemysłowych. Omawia podstawowe pojęcia jakimi się posługuje w rozprawie. Skupia uwagę na pojęciu kontekstu oraz zagadnień realizacyjnych diagnostyki symptomowej wspartej modelem. Omawia wybrane algorytmy klasyfikacyjne uszkodzeń, a także sposoby estymacji błędów klasyfikacji i doboru miar oceny ich zdolności klasyfikacyjnych, Skupia też uwagę na prezentacji zagadnień związanych z zastosowaniem algorytmów optymalizacyjnych, w szczególności przy zastosowaniu optymalizacji wielokryterialnej i ich wykorzystania w zadaniach klasyfikacji.

Rozdział 3 omawia zagadnienia związane z pojęciem kontekstu. Przedstawia definicję kontekstu i jego egzemplifikację w procesach diagnostycznych, w tym w diagnostyce procesów

przemysłowych. Skupia uwagę na jego wykorzystaniu w uczeniu maszynowym, w szczególności przy uwzględnieniu metod bazujących na systemach wieloklasyfikatorowych, jak np. komitetów klasyfikatorów.

Rozdział 4 zawiera formalny opis metody detekcji stanu procesów przemysłowych z wykorzystaniem kontekstu oraz komitetów klasyfikatorów. Omawia szczegółowo kolejne wykonawcze czynności zaproponowanej metody, tj. kwestie akwizycji danych i dalsze ich przetwarzanie poprzez ekstrakcję cech. Skupia uwagę na procesie przygotowania uczenia klasyfikatorów przy wykorzystaniu metody selekcji cech oraz ocen poprawności klasyfikacji. Przedstawiono sposób działania fuzji klasyfikatorów poprzez opisanie metody głosowania z zastosowaniem kontekstu w komitecie klasyfikatorów.

W dalszej części rozdziału zawarto opis procesu trenowania klasyfikatorów przy wykorzystaniu procesu optymalizacji wielokryterialnej, prowadzących do uzyskania wyników działania klasyfikatora zgodnych z oczekiwaną od nich skutecznością. Przedstawia reguły kwantyfikowane jakości rozpoznawania diagnostycznych, określone warunkiem minimalizacji wartości wskaźnika fałszywych alarmów, przy warunku maksymalizacji wartości wskaźnika prawdziwych alarmów oraz maksymalizacji powtarzalności uzyskiwanych wyników.

W tym miejscu rozprawy mamy dokumentowaną ideę koncepcyjną i wykonawczą pracy Doktoranta związaną z budową algorytmu klasyfikatora kontekstowego. Jest ona prezentacją **Autorskiej nowej metody diagnostycznej, a także powiązanej z nią nowej bazy informacji** dla dziedziny wiedzy jaką jest diagnostyka techniczna. Może ona być pomocna w procesie konstrukcji klasyfikatora uszkodzeń przy uwzględnieniu kontekstu zachodzących zdarzeń, aplikowanego w innych zastosowaniach niż było to rozpatrywane przez Autora.

Rozdział 5 opisuje badania weryfikacyjne. Rozpoczyna go krótki opis stanowiska laboratoryjnego które posłużyło do wygenerowania danych, na bazie których weryfikowano zaproponowaną metodę detekcji uszkodzeń z uwzględnieniem kontekstu. Uzyskane wyniki zostały przedstawione w formie tabel i wykresów, i poddane zostały szczegółowej analizie. W szczególności przedmiotem analizy była kwestia wpływu parametrów bazowych zaproponowanej metody na uzyskane wyniki detekcji. Dokonano odniesień rezultatów detekcji przy wykorzystaniu zaproponowanej przez Doktoranta metody do wyników innych metod detekcji uszkodzeń, klasycznymi metodami nie uwzględniającymi kontekstu.

Prezentowane w tym rozdziale badania Doktoranta są **istotnym, nowatorskim rezultatem** rozprawy. Określiły opracowaną przez niego, **nową bazę wiedzy eksperymentalnej** pomocną w budowie algorytmu detekcji uszkodzeń przy zastosowaniu klasyfikatora kontekstowego.

Rozdział 6 zawiera podsumowanie dokonań rozprawy. Przedstawia listę sformułowanych na ich podstawie wniosków. Kreśli ponadto koncepcję dalszych prac rozwojowych nad opracowanym algorytmem.

Podsumowując ten punkt recenzji można stwierdzić, że tytuł rozprawy doktorskiej został sformułowany w właściwym brzmieniu, a jej treści w pełni korespondują z tytułem pracy. Zrealizowane i udokumentowane w rozprawie doktorskiej poszukiwania badawcze Autora: skalą złożoności podjętych zadań i realizacją wykonanych prac: analitycznych, eksperymentalnych, a także przekazem nowych idei konstrukcji klasyfikatora kontekstowego uszkodzeń w pełni wypełniają **wymogi stawiane rozprawom doktorskim.**

3. Ocena merytoryczna.

Przechodząc do oceny merytorycznej pracy i sposobu rozwiązania podjętego problem badawczego należy na wstępie podkreślić, że rozprawa mgr inż. Mateusza Kalischa stanowi **bardzo wartościową naukową pozycję**, będącą ważnym źródłem informacji. W moim przekonaniu znajdzie liczne grono odbiorców wśród osób zajmujących się diagnostyką techniczną.

Temat pracy można uznać za rozwiązany; (*na etapie zadania doktorskiego*); w pełni oczekiwaną od niego problemową dociekliwością, z licznymi wyjaśnieniami prezentowanych i rozwiązywanych zagadnień. Poszczególne rozdziały rozprawy referują w przekonujący, konsekwentny sposób tok myślowy Doktoranta, który prowadzi do rozwiązania podjętego problemu. Ma on odniesienia w zrealizowanym oryginalnym zadaniu badawczym, i jego weryfikacji. Prezentuje opracowaną przez Doktoranta metodę budowy klasyfikatora stanu z uwzględnieniem kontekstu towarzyszącego realizowanym rozpoznaniem.

Rozprawa swoimi treściami przekazuje **nowe wskazania metodyczne oraz informacje wykonawcze** dla procesów detekcji uszkodzeń diagnozowanego obiektu z uwzględnieniem kontekstu, jaki ma miejsce w jego uwarunkowaniach realizacyjnych.

Mają one **istotną wartość poznawczą** dla dziedziny wiedzy jaką jest inżynieria mechaniczna i rozwiązywanie powiązanych z nią problemów eksploatacyjnych maszyn i urządzeń.

Do istotnych rezultatów rozprawy doktorskiej zaliczam :

- opracowanie; (*na bazie obszernego, autorskiego materiału analitycznego i eksperymentalnego*); nowej bazy wiedzy pomocnej przy budowie algorytmu detekcji uszkodzeń z uwzględnieniem kontekstu – zabezpieczającej potrzeby wykonawcze realizacji diagnostyki różnych : maszyn, urządzeń, bądź procesów przemysłowych;
- podanie wskazań metodycznych i wzorców wykonawczych dla budowy klasyfikatora kontekstowego - o lepszych wskaźnikach oceny rozpoznania fałszywych i prawdziwych alarmów - w porównaniu do standardowych rozwiązań klasyfikacyjnych o mniejszej złożoności ich struktury; (*powszechnie obecnych w praktyce diagnostycznej*);
- nakreślenie drogi prowadzącej do redukcji danych uczących w procesie budowy klasyfikatora związanej z doбором właściwego kontekstu wiedzy, właściwej uwarunkowaniom realizowanych rozpoznania diagnostycznych;
- wykorzystanie algorytmów optymalizacji w identyfikacji parametrów klasyfikatorów, które pozwolą na znalezienie przynależnych im optymalnych wartości oraz wytrenowanie klasyfikatora do postaci zabezpieczającej osiągnięcie oczekiwanych od niego własności funkcjonalnych, określonych warunkami: minimalizacji liczby fałszywych alarmów, maksymalizacji wskaźnika wartości prawdziwych alarmów przy zachowaniu wymaganej trafności wyników diagnozy;
- wskazanie istotnych kierunków rozwojowych opracowanej metody - *w szczególności w odniesieniu do konstrukcji wiedzy kontekstowej różnego typu, czy odkrywania kontekstu ukrytego, bądź zastosowania różnych klasyfikatorów dla kontekstów w ramach jednego komitetu* - które mogą być źródłem inspiracją do dalszych rozwinięć i aplikacji opracowanej i wskazanej przez Autora drogi diagnostycznej.

Mam świadomość, że w edycji obszernego materiału badawczego Doktoranta zawsze może pojawić się pewien niedosyt u czytelnika. Dla mnie związać go można z mało widoczną w realizowanych rozpoznaniach badawczych Kandydata - oceną palety możliwych błędów które mogły pojawić się w procesie badawczym, braku pełniejszej analizy niepewności zastosowanych klasyfikatorów stanu. Uwaga ta dotyczy kwestii: zarówno oceny możliwych błędów w odniesieniu do realizowanych eksperymentów pomiarowych jak i stosowanych przetworzeń numerycznych, czy

interpretacji przyjętych założeń w procesie badawczym. Szkoda, że nie zostały one wypunktowane jako zadania przyszłych badań. Są one bowiem istotnym elementem naukowego rozpoznania. Mam nadzieję, że Autor weźmie tą kwestię pod uwagę w swoich dalszych pracach badawczych, co pozwoli na pełniejsze udokumentowanie i pełniejszą ocenę wiarygodności uzyskanych rozpoznań badawczych.

Reasumując stwierdzam, że zarówno wyniki poznawcze, jak i praktyczne dokonania Doktoranta zasługują **na w pełni pozytywną opinię**. Dotyczą one zagadnień perspektywicznych, o istotnych rezultatach naukowych, jak i aplikacyjnych.

Uznaję, że stanowią one istotny **wkład naukowy mgr inż. Mateusza Kalischa w rozwój aktualnej wiedzy diagnostycznej**, ważnej w zadaniach budowy klasyfikatorów stanu diagnozowanego obiektu.

4. Konkluzja.

Biorąc pod uwagę omówione i ocenione wyżej rezultaty rozprawy doktorskiej pracy mgr inż. Mateusza Kalischa stwierdzam, że **rozwiązał pewien istotny obszar ważnych aplikacyjnie i naukowo zadań badawczych** ukierunkowanych na prace związane z opracowaniem metody detekcji uszkodzeń w procesach diagnostycznych przy uwzględnieniu ich kontekstu możliwych ich obecności.

Wyniki rozprawy w pełni spełniają wymagania stawiane przez *Ustawę o stopniach i naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dn. 14.03.2003 r. Dz. U. z 2017 r. poz. 1789*.

Moją opinię uzasadniają wnioski przedstawione wyżej w recenzji dotyczące: analizy istotności treści rozprawy, ich ocena i powiązane z nimi konkluzje, które upoważniają mnie do opowiedzenia się za przyjęciem rozprawy i skierowaniem jej do dalszego procedowania.

Wypracowany przez Doktoranta przekaz wiedzy **nie miał** dotychczas należytego miejsca w przekazie literaturowym. Został wypracowany w badaniach cechujących się rzetelnością i wysokim poziomem merytorycznym. Został zredagowany w sposób przejrzysty i zachęcający do zajęcia się nakreślonymi przez Doktoranta nowymi celami badawczymi.

Ma on **perspektywiczne miejsce** w budowie innowacyjnych rozwiązań diagnostycznych z szerokim polem zapotrzebowania praktyki eksploatacyjnej, co skłania mnie do przypisania rozprawie **atrybutu pracy doktorskiej wyróżniającej**

Wojciech Bartko