

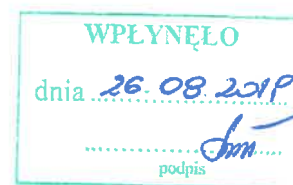
Szczecin, 20.08.2019

dr hab. inż. Jacek Piskorowski, prof. ZUT

Katedra Inżynierii Systemów, Sygnałów i Elektroniki

Wydział Elektryczny

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie



RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Stief

pt.: "Łączenie danych z różnych źródeł w celu monitorowania stanu urządzeń przemysłowych".

Podstawą formalną opracowania recenzji jest zlecenie Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie z dnia 05.07.2019 r. Promotorem opiniowanej rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Jerzy Baranowski, a funkcję promotora pomocniczego pełnił dr James R. Ottewill.

1. Ogólna charakterystyka, zakres i cel rozprawy

Opiniowana rozprawa doktorska dotyczy problematyki fuzji danych pochodzących z różnych źródeł w celu efektywnego monitoringu stanu urządzeń, systemów oraz procesów przemysłowych. Współczesny rozwój automatyzacji oraz informatyki wpłynął na dynamiczny rozwój systemów diagnostyki oraz monitoringu. Nowe możliwości w tym zakresie wynikają m.in. z pojawienia się nowych konstrukcji inteligentnych czujników, modułów komunikacji i wymiany danych, a także modułowego oprogramowania. Utrzymanie urządzeń oraz procesów przemysłowych może być realizowane na podstawie różnych strategii eksploatacyjnych. Jedną z najnowocześniejszych jest utrzymanie na podstawie stanu technicznego CBM (ang. Condition-Based Maintenance). Utrzymanie w oparciu o tę strategię związane jest z

monitorowaniem stanu technicznego urządzeń i systemów oraz podejmowaniem decyzji o realizowaniu obsługi technicznej na podstawie znanych wartości określających stan techniczny. Wykorzystanie systemów monitoringu, diagnostyki oraz predykcji pozwala w efekcie na ograniczenie zagrożenia związanego z wystąpieniem uszkodzeń oraz na obniżenie całkowitych kosztów utrzymania urządzeń oraz procesów przemysłowych. Pomimo zaawansowanego już rozwoju systemów monitorowania oraz diagnostyki urządzeń oraz procesów przemysłowych wciąż duże możliwości tkwią w zakresie pobierania istotnych informacji z ogromnej ilości danych generowanych przez monitorowane obiekty. W szczególności istotna jest odpowiednia synteza danych dostępnych w warunkach przemysłowych, która pozwoli na precyzyjną ocenę stanu danego systemu lub procesu. W świetle powyższego można uznać, że tematyka rozprawy doktorskiej jest aktualna, a wyniki przeprowadzonych badań mogą być wykorzystane w praktyce.

Tematyka rozprawy doktorskiej wpisuje się bezpośrednio w zakres merytoryczny dyscypliny automatyka i robotyka. Do głównych wątków poruszanych w pracy należy zaliczyć przede wszystkim problematykę monitoringu, diagnostyki i utrzymania urządzeń oraz procesów przemysłowych, fuzję danych, dobór oraz selekcję cech sygnałów, a także problematykę systemów decyzyjnych.

W swojej pracy Autorka zadeklarowała, że głównym celem badawczym jest opracowanie nowych metod łączenia danych z różnych źródeł dla celów monitoringu oraz diagnostyki, które będą pobierane online oraz offline. Wykorzystanie danych pochodzących z większej ilości różnych źródeł ma w efekcie umożliwić bardziej wiarygodną ocenę stanu monitorowanych obiektów. W oparciu o przyjętą tezę Autorka zdefiniowała cele pracy w postaci wyznaczenia wymagań algorytmu w odniesieniu do typowo dostępnych danych w procesach przemysłowych, rozwoju metod wyboru cech z dużych zbiorów danych, rozwoju metod fuzji danych na potrzeby klasyfikacji uszkodzeń z wykorzystaniem statystyki wielowymiarowej oraz wnioskowania bayesowskiego, a także rozwoju metod fuzji różnych typów danych. Zaproponowane przez Autorkę metody oraz algorytmy będą przetestowane na dwóch przykładach. Pierwszy z nich będzie dotyczył typowego urządzenia wykorzystywanego w procesach przemysłowych, jakim jest silnik indukcyjny. Drugie studium przypadku będzie dotyczyło monitoringu wielofazowej instalacji przepływowej.

Cele pracy zdefiniowano w precyzyjny sposób. Teza pracy nie została jednak określona w bezpośredni sposób. Można stwierdzić, że postawione cele pracy są istotne i aktualne na tle obecnego stanu wiedzy w zakresie diagnostyki urządzeń i procesów przemysłowych oraz fuzji danych. Uważam, że podjęcie tematu rozprawy doktorskiej było celowe zarówno ze względów poznawczych, teoretycznych oraz praktycznych.

2. Zawartość merytoryczna rozprawy

Rozprawa doktorska, napisana w języku angielskim, liczy 164 stron i jest podzielona na 8 rozdziałów uzupełnionych wykazem pozycji literaturowych (w tym spisem prac własnych Autorki).

W rozdziale pierwszym, będącym jednocześnie wprowadzeniem do rozprawy doktorskiej, sformułowano obszar tematyczny pracy, motywację podjęcia tematu pracy oraz określono cel oraz zakres pracy. Poza tym scharakteryzowano zawartość merytoryczną rozprawy.

Rozdział drugi poświęcony jest omówieniu koncepcji utrzymania urządzeń i procesów przemysłowych na podstawie stanu technicznego (CBM). W ramach rozdziału przedstawiono przegląd literatury w zakresie monitoringu stanu obiektów ze szczególnym naciskiem na różnorodność danych generowanych przez monitorowane urządzenia oraz procesy. Poza tym Autorka scharakteryzowała zalety strategii CBM w kontekście zadeklarowanych celów rozprawy doktorskiej.

W rozdziale trzecim omówiono problematykę fuzji danych. W ramach rozdziału przedstawiono typy i metody fuzji danych oraz omówiono poziomy abstrakcji w kontekście wykorzystania techniki łączenia danych do monitoringu stanu urządzeń oraz procesów przemysłowych. Przegląd stanu wiedzy w zakresie fuzji danych został podsumowany wyszczególnieniem zalet tej techniki oraz określeniem kierunków dalszych badań w tym zakresie zrealizowanych w rozprawie doktorskiej. Analiza dostępnej wiedzy pozwoliła Autorce na sformułowanie wyzwań badawczych w zakresie fuzji, do których zaliczono: rozwinięcie i opracowanie metody projektowania oraz wyboru cech z systemów wielosensorowych w celu wyznaczenia reprezentatywnych danych, które możliwie najlepiej odzwierciedlają problemy monitoringu stanu obiektów; opracowanie transparentnych, modułowych i skalowalnych heterogenicznych struktur fuzji danych i czujników, służących

do detekcji uszkodzeń i diagnostyki, które będą w stanie zapewnić dokładne wyniki diagnostyczne z niskimi wskaźnikami fałszywych i pominiętych alarmów; stworzenie heterogenicznych struktur fuzji danych i czujników, które mogą dostosować się do zmieniających się warunków operacyjnych i środowiskowych; opracowanie metod łączenia danych z różnymi częstotliwościami próbkowania i różnymi typami w celu włączenia szerszego zakresu typów danych, co w efekcie pozwoli zwiększyć niezawodność i dokładność diagnostyczną.

Rozdział czwarty poświęcony jest omówieniu znaczenia wyboru i selekcji cech w odniesieniu do fuzji danych i monitorowania stanu urządzeń oraz procesów przemysłowych. W ramach rozdziału w szczegółowy sposób przeanalizowano metodę ReliefF oraz zaproponowano autorskie rozszerzenia tej metody o mechanizmy kompensacji redundancji cech wykorzystując do tego celu współczynnik korelacji liniowej Pearsona. W celu wyboru cech stworzono metodę hybrydową wykorzystującą klasyczną metodę ReliefF. Zaproponowane przez Autorkę modyfikacje umożliwiają efektywniejsze wykorzystanie algorytmu ReliefF do monitorowania stanu urządzeń oraz procesów przemysłowych przy użyciu danych z heterogenicznych źródeł.

W rozdziale piątym zawarto przegląd bayesowskich metod fuzji danych w odniesieniu do monitorowania stanu urządzeń oraz procesów przemysłowych. W ramach rozdziału zaproponowano generyczną, dwustopniową strukturę bayesowską, która łączy dane z różnych źródeł na poziomie cech i na poziomie decyzji w celu dokładniejszego, przejrzystego i skalowalnego monitorowania stanu. Łączenie na poziomie cech jest realizowane z wykorzystaniem naiwnych klasyfikatorów bayesowskich. Z kolei łączenie na poziomie decyzyjnym realizowane jest z wykorzystaniem formuły naiwnego klasyfikatora bayesowskiego przy użyciu macierzy konfuzji. Zaproponowano ponadto dwie metody uwzględnienia zależności cech od warunków pracy z wykorzystaniem dwustopniowej struktury bayesowskiej.

W rozdziale szóstym Autorka zweryfikowała zaproponowane w rozprawie doktorskiej metody wykorzystując do tego celu silnik indukcyjny oraz wielofazową instalację przepływową. Przedstawione w pracy wyniki potwierdzają, że zaproponowane metody umożliwiły poprawę wydajności diagnostyki zarówno pojedynczego urządzenia jak i procesu przemysłowego.

W rozdziale siódmym Autora zawarła podsumowanie swoich badań, w którym przedstawiła główne osiągnięcia.

Bibliografia zawiera 325 pozycji. W spisie literatury wyodrębniono również 10 prac współautorstwa Doktorantki. Literaturę dobrano w staranny sposób. Odniesiono się do reprezentatywnych prac z zakresu monitoringu, diagnostyki oraz fuzji danych.

3. Ogólna ocena rozprawy

Autorka rozprawy doktorskiej zrealizowała postawione cele w sposób adekwatny, używając do tego właściwej metodyki badań. Przyjęte założenia są uzasadnione. W sposób przejrzysty odniesiono się do źródeł. Celem rozprawy doktorskiej było zbadanie, w jaki sposób połączenie różnych danych może być wykorzystane do monitorowania stanu zasobów - zarówno z poziomu pojedynczego komponentu jak i poziomu złożonej instalacji przemysłowej. Do najistotniejszych osiągnięć Doktorantki należy zaliczyć przede wszystkim:

- a) Identyfikację wymagań algorytmu w odniesieniu do danych zwyczajowo dostępnych w środowisku przemysłowym. Po przeanalizowaniu źródeł danych w systemach monitorowania stanu i technikach fuzji danych wypracowano zestaw wymagań, które muszą spełnić systemy monitorowania stanu, aby dostosować się do nowoczesnego środowiska przemysłowego, w którym dostępne są dane pochodzące z różnych źródeł.
- b) Opracowanie nowej dwustopniowej bayesowskiej struktury fuzji danych w oparciu o zidentyfikowane wcześniej wymagania. Zaproponowana przez Autorkę metoda jest modułowa, skalowalna i transparentna, dzięki czemu użytkownik końcowy może prześledzić rezultaty od pierwotnej przyczyny. Opracowana struktura cechuje się odpornością i radzi sobie z niepewnością jakości pomiaru przy użyciu formuły bayesowskiej na poziomie cech oraz na poziomie decyzji. Zaproponowana metoda została przetestowana z pozytywnym skutkiem zarówno w przypadku problemów z monitorowaniem na poziomie komponentów, jak i całej instalacji.
- c) Opracowanie metody fuzji na poziomie cech w ramach dwustopniowej bayesowskiej struktury fuzji danych w odniesieniu do właściwości dostępnych danych.
- d) Opracowanie metody fuzji na poziomie decyzji w ramach dwustopniowej bayesowskiej struktury fuzji danych.

- e) Zastosowanie opracowanej dwustopniowej bayesowskiej struktury fuzji danych do fuzji czujników w diagnostyce uszkodzeń silnika indukcyjnego. Wykazano większą efektywność fuzji dwustopniowej w porównaniu do jednostopniowej fuzji na poziomie cech lub braku fuzji.
- f) Zastosowanie opracowanej dwustopniowej bayesowskiej struktury fuzji danych do heterogenicznej syntezy alarmów i danych procesowych w diagnostyce warunków procesowych wielofazowej instalacji przepływowej. W ramach eksperymentu zebrano dwa różne typy danych przy użyciu różnych metod akwizycji danych. Wykazano większą efektywność fuzji dwustopniowej w porównaniu z wykorzystaniem tylko jednego typu danych.
- g) Autorskie modyfikacje metody RefiefF do tworzenia mniej skorelowanych zestawów cech, wykorzystujące współczynnik korelacji liniowej Pearsona.
- h) Opracowanie hybrydowej metody wykorzystującej algorytm RefiefF w celu zapewnienia zautomatyzowanego rozwiązania do wyboru cech oraz wyznaczania optymalnych zestawów cech.
- i) Efektywne zastosowanie zaproponowanego podejścia wyboru cech dla problemu diagnostyki uszkodzeń silnika indukcyjnego oraz wielofazowej instalacji przepływowej.
- j) Autorska propozycja techniki interpolowanych estymatorów jądrowych. Wykorzystanie tej metody w procesie diagnostyki i detekcji uszkodzeń w czasie rzeczywistym skutkuje redukcją kosztów obliczeniowych.

4. Uwagi krytyczne

Uwagi ogólne:

- a) W pracy zaproponowano efektywne metody oparte o struktury bayesowskie. Brakuje jednak szerszej analizy porównawczej z technikami, które nie bazują na metodach bayesowskich. Czy dokonana została taka analiza? Jakimi ograniczeniami wg Doktorantki charakteryzują się rozważane w pracy metody?
- b) Istotnym elementem zaproponowanych metod jest algorytm RefiefF. W niezbyt przekonujący sposób wyjaśniono motywację wyboru tego algorytmu jako metody bazowej. Proszę o rozwinięcie argumentacji w tym zakresie.

Uwagi szczegółowe:

- a) Brak spisu oznaczeń oraz skrótów.

Wskazane uwagi krytyczne i komentarze mają charakter dyskusyjny i nie wpływają na ogólnie pozytywną ocenę wyników zawartych w opiniowanej pracy doktorskiej.

5. Wniosek końcowy

Wyniki przedstawione w opiniowanej rozprawie doktorskiej stanowią rozwiązanie istotnego problemu naukowego oraz poświadczają o szerokiej wiedzy Doktorantki z zakresu automatyki i robotyki. Postawione na wstępie cele pracy zostały w pełni zrealizowane.

Podsumowując stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Anny Stief pt.: "Łączenie danych z różnych źródeł w celu monitorowania stanu urządzeń przemysłowych" spełnia wymogi określone ustawą z dnia 14 marca 2003 roku (z późniejszymi zmianami) o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, i w związku z tym wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony w dyscyplinie Automatyka i Robotyka.

