Prof. dr hab. inż. Waldemar Minkina
Uniwersytet Jana Długosza w Częstochowie
Wydział Nauk Ścisłych, Przyrodniczych i Technicznych
Katedra Matematyki i Informatyki
Al. Armii Krajowej 13/15 pokój nr 5
42-200 Częstochowa
e-mail: *
w.minkina@ujd.edu.pl

Częstochowa, dnia 16.08.2024 r.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Biuro Rady Dyscypliny
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologie Kosmiczne
wpłynęło dnia 20.08.2024
nr ..... zał. .....

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. Łukasza Dróżdża pod tytułem

„Analiza metrologiczna algorytmów dyskretnej transformacji falkowej"

Uwagi wstępne

Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Jerzy Roj, prof. PŚl. Przewód doktorski jest prowadzony przez Radę Dyscypliny *„Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne"* Wydziału Elektrycznego, Katedra Metrologii Elektroniki i Automatyki Politechniki Śląskiej. Recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej *„automatyka, elektronika i elektrotechnika i technologie kosmiczne"* Prof. dr hab. inż. Moniki Kwoki pismem (RDAEETK.512.3.2024) z dnia 12.06.2024 r.

Praca recenzowana jest zgodnie z zapisami art. 186 oraz 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. z 2023 r. poz. 742, z późniejszymi zmianami).

Tematyka ocenianej pracy doktorskiej dotyczy autorskiej metody wyznaczania wartości niepewności rozszerzonych wielkości wyjściowych torów pomiarowych, zawierających w swojej strukturze algorytmy transformacji falkowej. Jest to metoda uniwersalna do zastosowania dla dowolnych algorytmów transformacji falkowej, które przetwarzają dane z dziedziny liczb rzeczywistych, niezależnie od stosowanych parametrów algorytmu. W pracy przedstawiono, w jaki sposób algorytmy transformacji falkowej przetwarzają obecne w sygnale wejściowym sygnały błędów oraz przedstawiono ich rolę we wprowadzaniu sygnałów błędów własnych. W tym zakresie Doktorant podał przykład aplikacji zaproponowanej metody analizy, odpowiedni dla przypadku, gdy projektant toru pomiarowego stosuje gotową implementację algorytmu transformacji falkowej i nie posiada wiedzy eksperckiej na temat działania tych algorytmów.

Należy podkreślić, że Doktorant zweryfikował wszystkie przedstawione w pracy zależności metodami symulacyjnymi za pomocą metody Monte-Carlo. W pracy zajęto się głównie algorytmami dyskretnej transformacji falkowej, niemniej jednak należy podkreślić, że możliwe jest także stosowanie zaproponowanej przez Doktoranta metody analizy dla innych odmian algorytmu.

Recenzowana rozprawa składa się z pięciu rozdziałów oraz podsumowania:

1. Wstęp.
2. Model błędów wyniku pomiaru z podsumowaniem.
3. Algorytm transformacji falkowej z podsumowaniem.
4. Symulacyjna weryfikacja tezy z podsumowaniem.
5. Pomiarowa weryfikacja tezy z podsumowaniem. Dodatkowo zawiera przykład identyfikacji właściwości analizowanego toru pomiarowego. Tutaj wyniki uzyskane na drodze eksperymentu pomiarowego porównano z wynikami otrzymanymi przy zastosowaniu metody, zaproponowanej przez Doktoranta.
6. Podsumowane pracy.

Opiniowana praca liczy 179 stron, zawiera 24 rysunki, 31 tabel oraz 74 pozycji literaturowych, w tym 6 współautorskich prac Doktoranta opublikowanych w takich czasopismach jak: MDPI „***applied sciences***" (2024 rok, 100 pkt MNiSzW) - dwie publikacje opublikowane w 2024 roku, MDPI „***electronics***" (2021 rok, 100 pkt MNiSzW), Przeglądzie Elektrotechnicznym (2022 oraz 2023 rok, 70 pkt MNiSzW) – dwie publikacje opublikowane w roku 2022 oraz 2023, Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej jako materiały Międzyuczelnianej Konferencji Metrologów. Wszystkie z tych pac są to publikacje współautorskie opublikowane wraz z Promotorem pracy doktorskiej. Są opublikowane w dobrych, wysokopunktowanych czasopismach oraz dotyczą tematyki opiniowanej pracy doktorskiej - jest to więc monotematyczny cykl publikacji. Czasopisma w których opublikowano prace Doktoranta są afiliowane w dyscyplinie *„automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne"*, tj. dyscyplinie w której broniona jest niniejsza praca doktorska. ***Jest to bardzo dobry dorobek z nadmiarem wystarczający dla spełnienia kryterium otrzymania stopnia naukowego doktora nauk technicznych.***

Tutaj warto przytoczyć słowa prof. dr hab. Grzegorza Węgrzyna, Zastępcy Przewodniczącego Rady Doskonałości Naukowej (RDN), który w zakresie oceny pracy doktorskiej zaleca, aby: *„W postępowaniach doktorskich podmioty doktoryzujące powinny stosować takie same zasady oceny merytorycznej wniosków, jakie stosowane są przez RDN w rozpatrywaniu wniosków o tytuł profesora"*, co sprowadza się do faktu, że *„RDN **nie** oczekuje od recenzentów analizy bibliometrycznej prac naukowych kandydatów ani punktowej oceny ich dorobku. Tego typu analiza nie wymaga żadnych kompetencji ani wiedzy w zakresie danej dyscypliny naukowej i mogłaby być dokonana przez dowolnego pracownika administracyjnego w Biurze RDN."* I dalej zaleca aby: *„Wewnętrzne regulaminy podmiotów doktoryzujących **nie** powinny zawierać limitów ilościowych, w szczególności określających minimalne wysokości wskaźników bibliometrycznych, punktowych"*. Co oznacza, że: *„RDN oczekuje od recenzentów analizy merytorycznej osiągnięć naukowych kandydatów. Zapoznania się z ich publikacjami i stwierdzenia, czy rezultaty ich aktywności naukowej wniosły istotny wkład do nauki"*.

Z uwzględnieniem tych właśnie zaleceń będzie dalej kontynuowana ocena pracy doktorskiej mgra inż. Łukasza Dróżdża.

Ocena struktury oraz tezy pracy

Struktura pracy jest poprawna. Podano cel pracy oraz jej tezę. Znacznie ułatwia jej lekturę załączone na początku zestawienie użytych terminów, definicji oraz wykazu skrótów i stałych. Teza jest sformułowana prawidłowo i nosi cechy nowości:
„Stosując przedstawiony w pracy model błędów oraz zaproponowaną metodę szacowania wypadkowej wartości niepewności rozszerzonej istnieje możliwość oszacowania wartości niepewności rozszerzonych dla wielkości wyjściowych toru pomiarowego wykorzystującego algorytm dyskretnej transformacji flakowej. Oszacowanie wartości niepewności rozszerzonych dla omawianych wielkości jest możliwe w trakcie działania systemu pomiarowego, również w przypadku zmiany parametrów pracy tego systemu oraz zmiany parametrów modelu błędów".

W tym zakresie Doktorant założył, że dopuszczalna rozbieżność oszacowania wypadkowej wartości niepewności rozszerzonej nie powinna przekraczać ±5 % w odniesieniu do wartości uzyskanej klasyczną metodą Monte-Carlo.

Zaproponowana przez Doktoranta teza pracy jest nowa, naukowo „odważna" i oryginalna.

Praca napisana jest dobrym językiem naukowo – technicznym. Należy stwierdzić na tej podstawie, że Doktorant wykazał się dobrą umiejętnością pisania prac o charakterze naukowym. Drobne uwagi w tym zakresie opiszę w dalszej części niniejszej recenzji.

Tutaj nasuwa się tylko drobna uwaga dotycząca sytuacji, gdy praca doktorska dotyczy bardzo szerokiej tematyki - tak jak w tym przypadku.

Standardowo, na początku pracy powinno się podać ograniczenia pracy – np. znam dany problem, ale go nie rozwiązuję, gdyż jest on bardzo szeroki. Tego nie podano, a szkoda, gdyż

wtedy możnaby uniknąć ewentualnych uwag recenzentów dotyczących braków pewnych analiz i eksperymentów. Przykładowo, pominięto część zagadnień dotyczących np. sygnałów błędów o przebiegu sinusoidalnym o losowej wartości realizacji amplitudy tego przebiegu, czy przypadku zmiennej czułości obiektu w funkcji temperatury.

Ocena tematyki oraz celu rozprawy

Celem niniejszej pracy doktorskiej jest opracowanie modelu błędów, umożliwiającego opis właściwości metrologicznych torów pomiarowych złożonych zarówno z części przetwarzania analogowego jak i cyfrowego.

Praca dotyczy interdyscyplinarnej tematyki mieszczącej się w obszarze informatyki, elektroniki, automatyki a przede wszystkim metrologii. Ściśle dotyczy więc dyscypliny naukowej *„automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne"*. Aktualność i ważność podjętej tematyki wynika z ciągłego rozwoju systemów pomiarowych. Rozwój tych systemów stymulowany jest nowymi potrzebami i rosnącymi wymaganiami. Przedstawiony problem naukowy jest aktualny i ważny, szczególnie w obecnym okresie poszukiwania nowoczesnych systemów diagnostyki. Temat podjęty przez Doktoranta ma także potencjał aplikacyjny. Przedstawione wyniki badań modelowych i eksperymentalnych dowodzą, że postawione w pracy zadania zostały osiągnięte w założonym zakresie, a postawiona teza udowodniona.

Z punktu widzenia celu i postawionej tezy, przedstawiona do recenzji rozprawa została zrealizowana poprawnie. ***Recenzent nie zauważył poważnych mankamentów obniżających jej jakość.*** Układ pracy jest właściwy. Doktorant, niezależnie od wypunktowania wniosków w rozdziałach podsumowujących, słusznie uwypukla własne dokonania.

Pytania szczegółowe, komentarze i uwagi edytorskie

W tym zakresie recenzent czuje pewien niedosyt dotyczący opisania przez Doktoranta możliwości aplikacji praktycznych (utylitarnych) opracowanych algorytmów. Wydaje się celowym, aby Doktorant podczas publicznej obrony szerzej przedstawił tą problematykę, wskazując konkretne przykłady z tym związane.

W trakcie studiowania rozprawy doktorskiej nasunął się jedynie jeden drobny komentarz do ewentualnego wykorzystania w przyszłych pracach Doktoranta. Otóż na str. 50, jako uzupełnienie przykładowych aplikacji algorytmów transformacji falkowej, można by wspomnieć także o wykorzystaniu falek w dziedzinie badań nieniszczących, tzw. NDT-NDE (ang. Non Destructive Testing - Non Destructive Evaluation) wykorzystującej tzw. aktywną termografię dynamiczną. Jest to obecnie bardzo dynamicznie rozwijający się obszar badawczy dotyczący aplikacji praktycznych pomiarów termowizyjnych. W tym przypadku odmianą termografii impulsowej PT (ang. Phase Thermography) jest tzw. termografia impulsowa fazowa PPT (ang. Pulse Phase Thermography). W rezultacie stosowania termografii PPT, dla danej częstotliwości, otrzymuje się serię tak zwanych amplitudogramów (jak w termografii PT) oraz fazogramów (obrazów fazowych). Termografia PPT wykorzystująca przekształcenie Fouriera wykazuje pewne zalety w porównaniu z termografią PT. Przykładowo, na jakość uzyskiwanych tą metodą obrazów fazowych mniejszy wpływ ma nierównomierność nagrzewania badanej powierzchni. Z drugiej strony, jest to w zasadzie metoda jakościowa a próby uzyskania z fazogramów informacji ilościowej, takiej jak np. głębokość defektu, nie dają jeszcze zadowalających rezultatów. Jest to związane z właściwością przekształcenia Fouriera, które tłumi całą informację czasową, z której można określić głębokość badanej struktury.

Przekształcenie falkowe WT (ang. Wavelet Transform) zastosowane w PPT zachowuje informację czasową i dlatego umożliwia określenie głębokości defektu pod powierzchnią. Dla tego celu konieczne jest jednak odpowiednie dobranie falki pierwotnej. W tym zakresie, spośród rożnych falek wykazano, że najlepszą będzie falka Morleta, gdyż wybór równania falki-matki zależy od charakteru przetwarzanego sygnału oraz pożądanych właściwości falk

Bliższe informacje na temat zastosowania falek w pomiarach termowizyjnych można znaleźć przykładowo w pracach:
Maldague X.P.: „Theory and practice of infrared technology for nondestructive testing" John Wiley & Sons Interscience, New York 2001, 500 str., ISBN 0-471-18190-0.

lub

Minkina W.: „Pomiary termowizyjne – przyrządy i metody" Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2004, 243 str., ISBN 83-7193-237-5.

Wydaje się, że ta informacja pozwoli Doktorantowi znaleźć kolejny obszar prac badawczych nad utylitarnym wykorzystaniem rezultatów pracy doktorskiej.

W czasie lektury pracy zauważyłem kilka błędów literowych, o których tutaj nie będę pisał.

Ocena rozprawy doktorskiej

Opiniowana rozprawa doktorska mgr inż. Łukasza Dróżdża ma charakter analityczno-eksperymentalny. Dotyczy trudnego i ważnego aspektu związanego z oryginalnym wykorzystaniem falek w projektowaniu systemów pomiarowych. Doktorant udowodnił sformułowaną przez siebie tezę co powoduje, że Jego praca stanowi dojrzały, osobisty dorobek.

Za osiągnięcia własne Autora uznaję:

1. Stworzenie autorskiej metody badawczej oraz wykonanie szerokiej analizy symulacyjnej oraz eksperymentalnej w celu weryfikacji tezy pracy.
2. Zaproponowanie podejścia do analizy właściwości metrologicznych algorytmów transformacji falkowej oraz wskazanie roli tych algorytmów w procesie propagacji sygnałów błędów ich wielkości wejściowych. ***Ta problematyka nie była dotychczas opisywana w literaturze.***
3. Przeprowadzenie bardzo szczegółowych badań teoretycznych dotyczących analizy właściwości metrologicznych algorytmów transformacji falkowej.
4. Wykazanie, że opracowana w pracy metoda szacowania wypadkowej wartości niepewności rozszerzonej, wykorzystująca metodę redukcyjnej arytmetyki interwałowej, wraz z zaproponowaną przez Doktoranta modyfikacją, zapewnia wyniki zbieżne z wynikami uzyskiwanymi znaną metodą Monte-Carlo. Opracowana przed Doktoranta metoda oferuje ponadto stosunkowo niewielką złożoność obliczeniową, również w przypadku zmiany wartości parametrów modelu błędów.
5. Dopracowanie algorytmu transformacji falkowej w postaci macierzowej - umożliwia to wykonanie analizy właściwości metrologicznych tego algorytmu w sposób zbieżny z opisywaną w pracy metodą analizy cyfrowej części toru pomiarowego. W tym zakresie Doktorant wskazał związek pomiędzy transmitancją, związaną z wielkościami wyjściowymi, a postacią macierzową algorytmu oraz przedstawił jednolity algorytm identyfikacji współczynników macierzy transformacji metodą analityczną. Innymi słowy, osiągnięciem Doktoranta jest aplikacja modelu macierzowej postaci algorytmu dla algorytmu WT oraz wskazanie zależności pomiędzy stosowanym algorytmem, a jego postacią macierzową.
6. Przedstawienie jednolitego, spójnego modelu błędów, umożliwiającego ilościowy opis parametrów sygnałów błędów obecnych w torze pomiarowym. Taki model obejmuje etapy przetwarzania analogowego, cyfrowego oraz wskazuje wzajemne relacje pomiędzy omawianymi fragmentami.
7. Umiejętność posługiwania się nowoczesnymi technikami komputerowymi, narzędziami programistycznymi oraz logicznym formułowaniem złożonych zależności matematycznych.

Przeprowadzona pozytywna, eksperymentalna weryfikacja metody daje podstawy do wykorzystania proponowanej metody przez zespoły badawcze zajmujące się konstrukcją systemów pomiarowych. Należy zaznaczyć, że Doktorant w prawidłowy sposób opisał warunki prac doświadczalnych, co jest bardzo ważną, pozytywną cechą dokumentowania badań ekspe-

rymentalnych. Na podkreślenie zasługuje staranność wykonania licznych rysunków i wykresów, ich właściwe rozmiary i czytelność opisów.

Wniosek końcowy

Z punktu widzenia celu i postawionej tezy, przedstawiona do recenzji rozprawa została zrealizowana poprawnie. Układ pracy jest właściwy. Doktorant słusznie uwypukla własne dokonania. ***Na podstawie wnikliwej analizy pracy mogę stwierdzić, że nie nasuwają się zasadnicze uwagi krytyczne o charakterze merytorycznym.***

Przedstawione wyżej niewielkie uwagi mają na celu inspirację i zachęcenie Doktoranta do kontynuowania prac w tej dziedzinie. Samą pracę doktorską oceniam jako bardzo dobrą.

Recenzowana rozprawa mgr inż. Łukasza Dróżdża pod tytułem *„Analiza metrologiczna algorytmów dyskretnej transformacji falkowej"*, stanowi dobry, samodzielny wkład doktoranta w nauki techniczne, w szczególności w zagadnienia dotyczące wykorzystania algorytmów dyskretnej transformacji falkowej w projektowaniu komputerowych systemów pomiarowych. Uzyskane rezultaty mają istotne znaczenie poznawcze i mogą być wykorzystane w dalszych pracach badawczych w tym zakresie.

Podane w rozprawie rozważania i wyniki, mimo wykazanych uwag i zastrzeżeń, pozwalają na stwierdzenie, że Doktorant dysponuje ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie naukowej *„automatyka, elektronika i elektrotechnika i technologie kosmiczne"*, podjął się rozwiązania oryginalnego zadania i rozwiązał je, stosując poprawne metody badawcze oraz wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Stwierdzam więc, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Łukasza Dróżdża nie wymaga uzupełnień ani poprawek i spełnia warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w artykule 187 ustęp 1 i ustęp 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku *Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce* (Dz. U. z 2023 r. poz. 742, z późniejszymi zmianami).

Jednocześnie, ze względu na duży dorobek Doktoranta, stworzenie oryginalnych modeli matematycznych, przeprowadzenie bardzo szczegółowych, oryginalnych badań w zakresie tematyki pracy, wnoszę o jej wyróżnienie.

(Waldemar Minkina)

****wyłączenie jawności w zakresie danych osobowych oraz ochrony prywatności osoby fizycznej na podst. art. 5 ust. 2 ustawy z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (tj. Dz. U. z 2016 r., poz. 1764)***