

prof. dr hab. inż. Volodymyr Mosorov  
Politechnika Łódzka  
Wydział Elektrotechniki, Elektroniki,  
Informatyki i Automatyki  
Instytut Informatyki Stosowanej, I-24  
Stefanowskiego 18/22  
90-537 Łódź  
e-mail: volodymyr.mosorov@p.lodz.pl

Łódź, dn. 14.08.2024 r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Rafała Chorzępy pt.: Estymacja warunkowej wartości średniej elektrycznych sygnałów skorelowanych w wybranych zastosowaniach pomiarowych**

Niniejszą recenzję opracowano na wniosek Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Rzeszowskiej Uchwała nr 1/07/RDAEEiTK/2024.

Promotorem jest prof. dr hab. inż. Adam Kowalczyk

**1. TEMAT, ZAKRES I CEL ROZPRAWY**

Recenzowana praca doktorska dotyczy opracowania teoretycznych i praktycznych zasad obliczania oraz zastosowania warunkowej wartości średniej jako alternatywy dla metod korelacyjnych w badaniach oceny powiązania statystycznego w celu identyfikacji sygnałów i obiektów. W porównaniu z zastosowaniem funkcji autokorelacji/korelacji wzajemnej, charakterystyka warunkowa wartość średnia jest mniej złożona w opisie matematycznym i w łatwiejsza w zastosowaniach praktycznych. Do pomiarowych zastosowań warunkowej wartości średniej należy przykładowo pomiar wartości prędkości przepływu w rurociągach. Recenzowana praca skupia się nad badaniami sygnałów typu szumy dolnopasmowe o skorelowaniu wykładniczym i oscylacyjno-wykładniczym.

Celami badawczymi pracy są: uproszczenie modeli matematycznych w przetwarzaniu sygnałów, dążenie do zwiększenia dokładności, mniejszych lub porównywalnych kosztów i czasu analizy krótszego lub porównywalnego jak dla metod korelacyjnych.

Warto podkreślić że tematyka rozprawy mieści się w zakresie dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, a praktyczny jej aspekt potwierdzono zastosowaniem jej wyników w ramach programu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego pt. „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” numer umowy: 36/RID.RE.19.001 m.in. w temacie „Wykonanie badań pomiarowych procedur warunkowego uśredniania sygnałów”.

Uważam, że poruszone w rozprawie zagadnienia są aktualnie i nadal potrzebują opracowania odpowiednich metodyk/metod i algorytmów w różnych dziedzinach praktycznych. Trzeba zaznaczyć, że tego typu rozwiązania są często bardzo złożone i obejmują cały zestaw osobnych modułów algorytmicznych. Chciałbym podkreślić, że opracowanie skutecznych metod oceny powiązania statystycznego w celu identyfikacji sygnałów i obiektów jest problemem naukowym,

stąd opracowane przez Doktoranta teoretyczne podstawy są ważnym wkładem w dyscyplinę Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne wymagały sporego nakładu pracy.

Tematyka rozprawy podjęta przez Doktoranta wymagała rozległej wiedzy, zarówno teoretycznej jak i praktycznej z kilku dyscyplin naukowych w tym: informatyki stosowanej, algorytmiki, metrologii, matematyki oraz zdolności i umiejętności stosowania dostępnych publicznie implementacji. W ten sposób Doktorant uniknął konieczności wykonania zbędnych prac powtarzających istniejące rozwiązania.

Rozprawa liczy 138 stron tekstu zasadniczego, podzielonego na 7 rozdziałów, 6-cio stronicowy załącznik oraz bibliografię zawierającą 109 pozycji, w tym prace naukowe Doktoranta.

W rozdziale pierwszym Autor uzasadnił aktualność naukowo-badawczą tematu podjętego w ramach pracy doktorskiej. W drugim rozdziale opisano modele układów dynamicznych i sygnałów losowych przetwarzanych w układach. Trzeci rozdział zawiera opis modeli warunkowej wartości średniej pojedynczych i opóźnionych sygnałów w dziedzinie czasu i wartości. Rozdział czwarty dotyczy modelowania komputerowego oraz elektronicznego sygnałów. Opisano w nim wybrane procedury komputerowego modelowania za pomocą pakietu LabVIEW. Rozdział piąty przedstawia badania autora pracy dotyczące zastosowania warunkowego uśredniania odpowiednio w zadaniach identyfikacji sygnałów i systemów. Autor wykonał porównanie zbiorów charakterystyk uśredniania warunkowego i funkcji autokorelacji. Wykonano badanie względnej niepewności standardowej oceny unormowanej funkcji autokorelacji z wykorzystaniem warunkowej wartości średniej. Przeprowadzono również badanie zredukowanego względnego błędu standardowego oceny funkcji korelacji. W ostatniej części rozdziału przedstawiono zastosowanie uśredniania warunkowego do wyznaczania wartości opóźnienia czasowego sygnału.

Rozdział szósty dotyczy identyfikacji obiektu za pomocą odpowiedzi impulsowej  $k(\tau)$ . Wyznaczone za pomocą charakterystyki uśredniania warunkowego wartości parametrów układu oscylacyjnego II-go rzędu porównano z wartościami wyznaczonymi z charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej tego układu. Przeprowadzono również analizę wartości niepewności odpowiedzi impulsowej układu I-go rzędu i układu oscylacyjnego II-go rzędu. Do badań wykorzystywano programy LabVIEW i MS Excel, oraz opcję uśredniania warunkowego oscyloskopu RIGOL.

Rozdział siódmy jest podsumowaniem całej rozprawy doktorskiej, w tym wykonanych przez autora badań teoretycznych i eksperymentalnych. Podsumowanie obejmuje konkluzję dotyczącą: zalet i wad WWS wynikających z badań, zrealizowania celu pracy, wkładu wniesionego przez autora w badania związane z identyfikacją sygnałów i obiektów z zastosowaniem warunkowego uśredniania sygnałów.

Rozdział 7 podsumowuje rozprawę. Autor wymienił w nim najważniejsze osiągnięcia swojej pracy oraz podał przykłady zastosowania opracowanych rozwiązań w praktyce oraz odniesienie się do ewentualnych kontynuacji badań i nowych kierunków.

Uważam, że **tematyka pracy jest aktualna, i dostatecznie ważna ze względu na jej praktyczne zastosowanie**. Ogólna wiedza Autora rozprawy stoi na wysokim poziomie.

Ważniejsze uwagi szczegółowe formułuję w dalszej części mojej opinii.

## 2. OGÓLNA OCENA ROZPRAWY

Rozprawa doktorska mgr inż. Rafała Chorzępy jest napisana na odpowiednim poziomie merytorycznym. Cele jakie postawił przed sobą Doktorant uważam za osiągnięte.

**Uważam, że układ pracy jest prawidłowy i nie wymaga żadnych zmian ani uzupełnień.**

W rozprawie Autor formułuje zagadnienie naukowe, którym jest opracowanie algorytmów do oceny statystycznego powiązania sygnałów elektrycznych w wybranych zastosowaniach pomiarowych. Umożliwia ona analizę stopnia powiązania statystycznego sygnałów losowych o zadanych rozkładach prawdopodobieństwa oraz opracowania nowych algorytmów obliczenia warunkowej wartości średniej.

Opracowane zagadnienia teoretyczne stanowią istotny wkład Doktoranta w potencjalny rozwój zautomatyzowanych metod analizy statystycznej sygnałów losowych. Autor samodzielnie rozwiązał postawione przed sobą zadania, wykazał się posiadaniem szczegółowej wiedzy, odpowiadającej obszarowi prowadzonych badań naukowych w **dyscyplinie naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.**

### 3. UWAGI I PYTANIA NATURY OGÓLNEJ

Praca ma klasyczną strukturę, tzn. składa się z części przeglądowej, części teoretycznej oraz części praktycznej. Poszczególne rozdziały są ze sobą powiązane i tworzą logiczną całość. Przedstawiony w pracy materiał graficzny jest dobrze opracowany. Styl rysunków i tablic jest ujednolicony. Za cenne uważam fakt, że Doktorant wyliczył poszczególne osiągnięcia w Podsumowaniu sporządzonym po każdym rozdziale, co ułatwiło ocenę pracy jako całości.

Z ogólnych uwag merytorycznych, chciałbym podnieść kwestię celu i zakresu pracy. Autor rozprawy podał, cytując, iż „Celem pracy jest poszukiwanie nowych algorytmów w ocenach statystycznego powiązania sygnałów elektrycznych w wybranych zastosowaniach pomiarowych”. Czasownik „poszukiwanie” uważam za nieodpowiedni. Moim zdaniem lepszym terminem byłoby opracowanie nowych rozwiązań do analizy. Kontrowersyjnym jest użycie pojęcia *algorytm*. Opracowanie algorytmów jest zasadniczo tematyką prac naukowych w dyscyplinie Informatyka i Telekomunikacja. Dlatego uważam, że sens jaki Autor włożył w pojęcie *algorytm* jest inne niż w Informatyce. Wiadomo, że obecnie istnieją trzy podstawowe sposoby opisu algorytmów: słowny, graficzny (schemat blokowy, diagram) oraz przy pomocy pseudokodu. Moim zdaniem pojęcie algorytm ma inny sens w Automatyce niż w Informatyce, dlatego warto uważnie stosować to pojęcie w pracach naukowych. Warto w przyszłości rozważyć inne sposoby uniknięcia stosowania pojęć tego typu. Ponadto Autor poszukuje nowych algorytmów *które będą stosunkowo proste*. „Stosunkowo proste” jest pojęciem nie naukowym, w naukowym podejściu trzeba podać jakieś kryteria do oceny wyników. Bez podanie kryteriów język pracy naukowej staje się mało precyzyjny.

Niestety streszczenie w j. angielskim jest słabej jakości językowej nie licząc ewidentnych błędów językowych chociażby „This results....”. Trzeba unikać złej jakości językowej, tym bardziej, że są spore możliwości do korekty językowej.

Literatura jest cytowana w sposób klasyczny tzn. w nawiasach kwadratowych z podaniem numeru. Być może warto w przyszłych pracach zastosować literaturę zgodną z systemem Harvardzkim. Ten system pozwala „na bieżąco” poznać głównego autora i co ważne, rok wydania cytowanej publikacji.

Aby sprowokować dyskusję w trakcie obrony, mam kilka pytań do Doktoranta i jestem ciekaw Jego odpowiedzi:

1. W rozprawie Doktorant często podaje, że uśrednianie warunkowe jest „mniej złożone w opisie matematycznym” w stosunku do funkcji korelacji (na przykład str. 123). W nauce przejęto stosować ocenę ilościową niż ocenę jakościową. Dlatego proszę zastosować do oceny porównawczej złożoności obliczeniowej tzw.  $O()$  (notacja duże- $O$ ).
2. Większość charakterystyk pokazanych w rozprawie w postaci rysunków ma charakter „wygładzony”. Lecz w praktyce obliczone przykładowo funkcje korelacji mają charakter „poszarpany”. Przypuszczam że takie sytuacje mają miejsce w przypadku i charakterystyki warunkowej wartości średniej. Dlatego przykładowo zastosowanie podejścia do wyznaczania interwału korelacji za pomocą równania prostej może być trudne ze względu na „zaszumiony” wykres. Może okazać się, że istnieje kilka równań linii prostych, a to oznacza brak jednoznacznego wyboru parametrów  $b$  i  $a$  (patrz równania 5.19 i 5.20. Dlatego powstaje pytanie jak wybrać równanie linii prostej.
3. Często sygnały pomiarowe „zaszumione” harmonicznymi 50 Hz, 100 Hz itp. Jaki to ma wpływ na wyznaczanie powiązań statystycznych analizowanych sygnałów?

#### 4. UWAGI SZCZEGÓŁOWE

Czytając pracę natknąłem się na szereg potknięć redakcyjnych i nieścisłości merytorycznych, które w punktach wymieniam poniżej.

1. Do własnych ilustracji dodajemy tekst „źródło: opracowanie własne” jednoznacznie wskazujące na Autora.
2. Na str. 29. Równanie 2.5. Podano indeks  $n$ . Brakuje opisu tego indeksu. To samo dotyczy równania 2.7.
3. Równanie 3.13. Jak zrozumieć  $E(x/x)$ ? Może chodzi o  $E(X/x)$ ? To samo dotyczy 3.14.
4. Rys. 3.4. W opisie do rysunku jest sygnał  $x(t)$ . Na rysunku podano  $u(t)$ . Proszę o wyjaśnienie.
5. Równanie 3.16.  $x_m(t_0)$ . Brak opisu parametru  $t_0$ .
6. Tabela 4.1. Cyfrowe algorytmy i „Algorytm modelowania dyskretnego”. Moim zdaniem zastosowanie terminu algorytm jest nie poprawne. Proszę o komentarz.
7. Str. 56. „za pomocą algorytmów programowych”. Moim zdaniem jest to slang inżynierski nie naukowy.
8. Str. 69. Wartość ujemna pod pierwiastkiem. Proszę o komentarz.
9. Autor często wykorzystuje w rozprawie pojęcie „powiązanie statystyczne”. Proszę o podanie monografii krajowych lub zagranicznych (najlepiej anglojęzycznych) wykorzystujących takie pojęcie.
10. Tabela 5.5. Autor pokazał, że interwał korelacji spada wraz z zwiększeniem progu detekcji. Jak to ma praktyczne zastosowanie?
11. Str. 123. Autor pisze „Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest estymacja warunkowej wartości średniej...”. Moim zdaniem jest to nietrafne stwierdzenie, ponieważ sama estymacja jest zadaniem inżynierskim. Warto stosować pojęcie badanie, modelowanie itp.
12. Warto było pogrubić nazwisko Autora w publikacjach podanych w bibliografii. Ułatwiło by to ocenę dorobku naukowego Autora uwzględnionego w rozprawie.

Zamieszczone powyżej uwagi szczegółowe w większości mają charakter porządkowy i nie mają wpływu na wysoką ocenę merytoryczną pracy. Treść rozprawy odpowiada tematowi określonymu w tytule, następstwo rozdziałów jest właściwe.

## 5. PODSUMOWANIE

Opiniowana rozprawa, w moim przekonaniu, spełnia wymagania określone w ustawie o stopniach naukowych. Praca stanowi samodzielne rozwiązanie bardzo ciekawego, ale zarazem niezwykle trudnego zadania naukowego. Autor rozprawy wykazał się dobrą znajomością tematyki podjętej w rozprawie.

Podsumowując recenzję stwierdzam, że Pan mgr inż. Rafał Chorzępa w rozprawie doktorskiej „Estymacja warunkowej wartości średniej elektrycznych sygnałów skorelowanych w wybranych zastosowaniach pomiarowych” zrealizował cel rozprawy.

Zaprezentowane rezultaty dotyczące estymacji warunkowej średniej elektrycznych sygnałów skorelowanych stanowią oryginalne rozwiązanie postawionego problemu naukowego oraz wkład Autora w rozwój dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Pan Rafał Chorzępa wykazał się umiejętnością samodzielnej pracy badawczej, znajomością literatury światowej i wiedzą w zakresie analizy i grupowania danych. Rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Recenzowana praca spełnia wymagania ustawy o tytule i stopniach naukowych w dyscyplinie naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Wnoszę o jej przyjęcie i dopuszczenie do dalszych etapów postępowania doktorskiego.

Włodzimierz Mosor

