



Wrocław, 20.06.2025

Prof. Katarzyna Weron
Wydział Zarządzania
Politechnika Wrocławska

Recenzja Rozprawy Doktorskiej mgr. inż. Macieja Walczaka
“Wykorzystanie programowania równoległego do analizy nieliniowych układów dynamicznych z identyfikacją chaotycznych i periodycznych szeregów czasowych”

Z przyjemnością przeczytałam rozprawę mgr. inż. Macieja Walczaka, ponieważ sama w swoich badaniach zajmuję się nieliniowymi układami dynamicznymi, które pojawiają się naturalnie na poziomie makroskopowym w różnych układach złożonych, od układów fizycznych, przez biologiczne, aż po społeczne. Dlatego uważam, że temat podjęty w pracy jest bardzo wartościowy i ma duży potencjał do interdyscyplinarnych zastosowań.

Rozprawa doktorska poświęcona jest opracowaniu i analizie narzędzia umożliwiającego efektywne badanie nieliniowych układów dynamicznych przy wykorzystaniu przetwarzania równoległego. Głównym celem pracy jest zaprojektowanie narzędzia pozwalającego na skuteczną identyfikację chaosu w przestrzeniach parametrów badanych modeli. Kluczowym elementem tego narzędzia była implementacja metody testu 0-1 na chaos. W pracy zastosowano również dwie dobrze ugruntowane metody, wykładniki Lapunowa oraz metodę entropii próbki, które posłużyły jako benchmarki do porównania z testem 0-1 na chaos. Pomimo różnic koncepcyjnych i odmiennego charakteru informacji dostarczanych przez te metody, podjęto próbę ich jakościowego porównania, co jest zgodne z najlepszymi praktykami badawczymi. Takie odniesienie wyników do powszechnie stosowanych i sprawdzonych metod zwiększa wiarygodność i wartość przedstawionych badań.

Praca jest obszerna, liczy blisko 200 stron i składa się z ośmiu rozdziałów. Pierwszy i ostatni to, tradycyjnie, wstęp i podsumowanie. Wstęp, czyli rozdział pierwszy, oceniam dobrze. Autor nakreślił problem, uzasadnił wybór tematu i sformułował hipotezę badawczą (choć nieco zbyt ogólnie — do tego wrócę w części Uwagi i pytania). Przejrzyście przedstawił też strukturę pracy, wyręczając recenzenta ze skrótego opisu kolejnych rozdziałów rozprawy.



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Wrocław University
of Science and Technology
wyb. Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław
www.pwr.edu.pl

Faculty of Management (W08N)
building B-4, room 405
Łukasiewicza St. 5
www.wz.pwr.edu.pl

T: +48 71 320 35 04
+48 71 320 20 19

REGON: 000001614
NIP: 896-000-58-51

Bank Account
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



Trzeba też dodać, że same nazwy rozdziałów doskonale oddają ich zawartość. Dlatego w dalszej części nie będę opisywać zawartości rozprawy, a skupię się na uwagach i pytaniach do autora.

Uwagi i pytania:

1) Zacznę uwagi, nie będącej pytaniem. Doceniam wybór dwóch rzeczywistych układów dynamicznych do testowania metod: łuku elektrycznego, znajdującego szerokie zastosowanie w przemyśle i technologii, oraz oscylacji wapnia, odgrywających istotną rolę w sygnalizacji wewnątrzkomórkowej. Z dużą przyjemnością przeczytałam również część rozdziału trzeciego poświęconą tym układom. Oparcie się na rzeczywistych zjawiskach nadaje pracy wyraźnie interdyscyplinarny charakter i czyni ją interesującą z punktu widzenia wielu dyscyplin nauki.

2) W hipotezie badawczej przyjęto, że „Zastosowanie programowania równoległego przyczynia się do wyraźnej poprawy efektywności analizy nieliniowych układów dynamicznych z identyfikacją periodycznych i chaotycznych szeregów czasowych.” Proszę doprecyzować, jak w niniejszej pracy rozumiana jest „efektywność”. Czy chodzi wyłącznie o przyspieszenie obliczeń, czy także o inne aspekty. Jakże konkretnie?

3) We wstępie do rozprawy, na stronie 19 autor napisał: „ (...) gdy narzędzie to jest stosowane do systemów ciągłych, problematyczne staje się zjawisko nadpróbkowania i rezonansu.” Następnie w rozdziale 3 wyjaśnił zjawisko nadpróbkowania w przypadku testu 0-1 na chaos. Nigdzie jednak nie znalazłam wyjaśnienia zjawiska rezonansu w kontekście analizy dynamicznych układów nieliniowych. Czy jest to zjawisko? Czy odnosi się ono do samego modelu czy do metod analizy modelu?

4) Autor koncentruje się przede wszystkim na efektywności czasowej analizy układów dynamicznych. Jednak z mojego doświadczenia wynika, że w praktyce pracy z nieliniowymi układami dynamicznymi, zwłaszcza w pobliżu punktów bifurkacji, bardzo istotnym problemem staje się stabilność numeryczna uzyskiwanych rozwiązań, a nie tylko szybkość obliczeń. Czy jest to jedynie moja indywidualna perspektywa, czy autor również dostrzega wagę tego zagadnienia? Innymi słowy, czy temat stabilności został celowo pominięty jako mniej istotny, czy może testowane w rozprawie metody oferują również potencjał w zakresie poprawy stabilności obliczeń?

5) Autor w rozprawie koncentruje się na identyfikacji dynamiki chaotycznej poprzez analizę przestrzeni parametrów z wykorzystaniem m.in. testu 0-1 na chaos. Z mojego punktu widzenia, szczególnie interesujące są jednak nie tyle



same obszary chaosu, co punkty bifurkacji, które w fizyce statystycznej odpowiadają punktom przemian fazowych (nadkrytyczna bifurkacja widełkowa odpowiada ciągłym, a podkrytyczna nieciągłym przemianom fazowym). Czy zastosowane w pracy metody umożliwiają również detekcję punktów bifurkacyjnych?

6) Autor posługuje się w rozprawie kilkoma językami programowania, zarówno wyższego, jak i niższego poziomu: C oraz C++, Pythonem i Matlabem. Aplikacja została napisana w językach C oraz C++, a do zrównoleglenia użyto narzędzi Intel MPI Library i OpenMP. Do wizualizacji wyników wykorzystano Pythona, głównie biblioteki *plotly* i *matplotlib*. Natomiast w analizie układów dynamicznych użyto środowiska Matlab, w tym funkcji takich jak `rand()` do generowania liczb pseudolosowych, `ode45()` do całkowania równań różniczkowych czy `fft()` do szybkiej transformacji Fouriera. Przy okazji: skrót FFT nie został nigdzie w pracy wyjaśniony, co nie jest dobrą praktyką. Zastosowanie trzech różnych języków pokazuje z jednej strony szeroki zakres kompetencji Autora, ale z drugiej strony budzi pytanie o potrzebę aż takiej różnorodności. Szczególnie zastanawiające jest, dlaczego do przygotowania wizualizacji nie użyto Matlaba, skoro i tak był obecny w całej analizie. Pytam o to także dlatego, że jakość grafik w rozprawie niestety nie jest najlepsza.

7) Szczególnie interesująca moim zdaniem jest obserwacja, że w teście 0-1 na chaos periodyczne szeregi czasowe bywają błędnie identyfikowane jako chaotyczne, oraz fakt, że udało się to wyeliminować dzięki odpowiedniemu doborowi wartości parametru T . Ta kwestia ma duże znaczenie w analizie rzeczywistych układów, dla których model matematyczny nie jest znany. Stąd moje pytanie: czy możliwe jest ustalenie apriori właściwej wartości T , mimo braku dokładnej wiedzy o systemie?

Konkluzja

Przeprowadzone w rozprawie badania stanowią istotny wkład w rozwój zastosowań przetwarzania równoległego do analizy nieliniowych układów dynamicznych, mieszcząc się w zakresie tematycznym dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja. Podkreślić należy także szeroki potencjał interdyscyplinarny wyników, ponieważ nieliniowe układy dynamiczne pojawiają się nie tylko w naukach technicznych, ścisłych czy przyrodniczych, ale nawet w naukach społecznych, gdzie stanowią coraz ważniejsze narzędzie opisu złożonych procesów kolektywnych.



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Wrocław University
of Science and Technology
wyb. Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław
www.pwr.edu.pl

Faculty of Management (W08N)
building B-4, room 405
Łukasiewicza St. 5
www.wz.pwr.edu.pl

T: +48 71 320 35 04
+48 71 320 20 19

REGON: 000001614
NIP: 896-000-58-51

Bank Account
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



Wrocław University of Science and Technology

Faculty of Management

Podsumowując, stwierdzam, że przedłożona rozprawa spełnia wszystkie wymogi ustawowe stawiane pracom doktorskim i może być uznana za doktorat w ramach dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja. W związku z tym wnoszę o dopuszczenie jej autora do publicznej obrony.



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Wrocław University
of Science and Technology
wyb. Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław
www.pwr.edu.pl

Faculty of Management (W08N)
building B-4, room 405
Łukasiewicza St. 5
www.wz.pwr.edu.pl

T: +48 71 320 35 04
+48 71 320 20 19

REGON: 000001614
NIP: 896-000-58-51

Bank Account
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434