

Prof dr hab. inż. Andrzej Handkiewicz

Poznań, 2.12.2025

Osiedle Wichrowe Wzgórze 12/22

61-675 Poznań

e-mail: Andrzej.Handkiewicz@gmail.com

OCENA

rozprawy doktorskiej

mgra inż. Salama Hassona

pod tytułem

*Zastosowanie uczenia maszynowego do analizy nieliniowych
systemów dynamicznych z klasyfikacją chaotycznych
i periodycznych szeregów czasowych*

1 Wstęp

Mgr inż. Salama Hassona uzyskał w roku 2017 stopień inżyniera na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej. W 2018 na tym samym wydziale uzyskał dyplom magistra na kierunku Informatyka, specjalność Sieci komputerowe i systemy baz danych. Studia doktoranckie na Politechnice Opolskiej w latach 2019-2024, udało mu się pogodzić ze studiami matematycznymi na Uniwersytecie Wrocławskim. Praca magisterska z matematyki dotyczyła modelowania łuku elektrycznego była więc ściśle związana z tematyką doktoratu. Doktorant jest asystentem w Katedrze Informatyki Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej. Należy również zauważyć, że w środowisku naukowym prof. Marszałka, głównego promotora pracy, pan Hassona ma dobre warunki do pracy naukowej ukierunkowanej na zagadnienia uczenia maszynowego. Jednym ze znaczących wyników, które w tym otoczeniu osiągnięto jest metoda Marszałka i Sadeckiego znajdowania trajektorii systemu dynamicznego.

1/4 A. Jan

2 Ocena rozprawy doktorskiej

2.1 Waga problemu

Chaos jest zjawiskiem pojawiającym się w wielu systemach dynamicznych. Dotyczy on nie tylko układów technicznych, np. mechanicznych i elektrycznych, ale również społecznych czy też związanych ze środowiskiem naturalnym. Chaos występuje w takich dziedzinach jak epidemiologia, klimatologia, ekologia, reakcje chemiczne, rytm serca, bezpieczeństwo w komunikacji, modelowanie ruchu, itp. Ze względu na swoją złożoność jest on trudny do modelowania i opisu. Rozwój sprzętu cyfrowego, głównie superszybkich procesorów i ogromnych pamięci, umożliwia rozpoznawanie cech zjawisk chaotycznych na gruncie tzw. sztucznej inteligencji (AI), w szczególności uczenia maszynowego. Doktorant podjął więc badania nad znaczącym problemem, zarówno ze względu na zastosowania jak i użyte narzędzia badawcze.

2.2 Rozwiązanie problemu

Realizacja tej pracy została przedstawiona w pięciu rozdziałach, nie licząc rozdziałów: wstępnego, wprowadzającego do układów dynamicznych, do metod numerycznych i rozdziału podsumowującego. Jako zjawisko chaotyczne będące podstawą do badania efektywności poszczególnych algorytmów został przyjęty łuk elektryczny, którego nieliniowy, dynamiczny model matematyczny jest opisany w odrębnym rozdziale.

Dla uzyskania zamierzonego celu Doktorant, zbadał i porównał w kolejnych rozdziałach wszystkie rodzaje metod uczenia maszynowego:

- Metody nadzorowane bazujące między innymi na sieciach neuronowych. Dla wybranego algorytmu Doktorant przyjmuje zestaw trajektorii łuku elektrycznego z przypisanymi etykietami i w procesie uczenia znane są prawidłowe wyniki dla tego zestawu.
- Metody nienadzorowane. Doktorant podjął się opracowania algorytmów, które w zbiorze trajektorii dokonują ich grupowania na podstawie rozpoznanych podobieństw.
- Metody uczenia półnadzorowanego. Także to podejście, które jest kombinacją metod nadzorowanych i nienadzorowanych zostało przez mgra Hassana w rozprawie podjęte, który w tym zakresie zaprezentował również swoją autorską metodę.

Praca obejmuje więc całe spektrum uczenia maszynowego, będącego poddziedziną sztucznej inteligencji. Algorytmy związane z tymi metodami zostały zaprogramowane w języku Python. Uzyskane wyniki są ilustrowane przejrzystymi rysunkami trajektorii i tabelami prezentującymi wydajność i ocenę metod. Praca jest napisana zwięźle i jasno.

2.3 Ocena wkładu oryginalnego

Następujące osiągnięcia:

- opracowanie oryginalnej metody przekwalifikowywania pod półnadzorem z filtrowaniem pewności,

2/4 A. Jhr

- algorytmizacja metod uczenia maszynowego i oprogramowanie w Pythonie,

są według mojej oceny najważniejszymi elementami oryginalnego wkładu Doktoranta i silnymi stronami rozprawy.

Diagram oryginalnej metody przekwalifikowywania pod nadzorem został przedstawiony na rysunku 83. Wstępne kroki metody są standardowe dla sposobów trenowania pod samonadzorem z filtrowaniem pewności. Wybierane są tylko etykiety przekraczające ustalony próg. Szkolenie kodera przeprowadzane jest pod półnadzorem z mieszanką pseudoetykiet i danych nieoznakowanych, dotyczy to w szczególności opisów metod, algorytmów i definicji, np. definicji sieci neuronowej na stronie 58.

2.4 Dorobek publikacyjny

Rozprawa doktorska jest wsparta wynikami publikowanymi w znaczących czasopiśmie, np.

- Mechanical Systems and Signal Processing,
- Applied Soft Computing,

a także na konferencjach, np. *Third International Nonlinear Dynamics Conference (NO-DYCON 2023)*.

2.5 Uwagi krytyczne i polemiczne

Do słabszych lub dyskusyjnych elementów pracy mógłbym zaliczyć:

- Analiza złożoności obliczeniowej opracowanych algorytmów jest trudnym zagadnieniem i można uznać, że wykraczałaby poza zakres rozprawy. Warto byłoby jednak ten problem zasygnalizować.
- Jakie są wymagania sprzętowe dla implementacji prezentowanych algorytmów i na jakim sprzęcie przeprowadzono symulacje poszczególnych modeli? Czy wszystkie algorytmy były testowane na wspomnianym w pracy procesorze ES-2640?
- Czy można porównać działanie algorytmów w zależności od wymagań sprzętowych, w szczególności pod kątem szybkości procesorów, wielkości pamięci i jej zajętości?
- Nieliniowe systemy dynamiczne charakteryzują się silną zależnością uzyskanej trajektorii od wyboru warunków początkowych, o czym Doktorant w pracy często napomyka. Tę trudność Autor rozprawy traktuje zbyt pobieżnie, poprzestając jedynie na wynikach zilustrowanych rysunkiem 7. Czy wybór warunków początkowych był dokonywany jedynie metodą prób i błędów, czy też jest możliwe bardziej usystematyzowane podejście?

W rozprawie można znaleźć drobne niedociągnięcia redakcyjne. Na przykład na stronie 41 we wzorze na charakterystykę napięciowo-prądową występuje wykładnik 'm', podczas gdy w trzeciej linii użyto 'n' ($n = -1/3$), zamiast Intel jest Inter, itp.

3/4 d. Hum

3 Podsumowanie oceny rozprawy

Rozprawa doktorska jest poświęcona aktualnemu zagadnieniu uczenia maszynowego mającego szerokie zastosowania nie tylko w systemach technicznych ale również społecznych, ekonomicznych, związanych z bezpieczeństwem itp. Uzyskane wyniki dotyczą uczenia maszynowego na zbiorze danych będących dwuwymiarowymi trajektoriami związanymi ze zjawiskiem łuku elektrycznego. Opracowane algorytmy zostały symulacyjnie zweryfikowane i porównane pod kątem ich efektywności. Przedstawione w recenzji uwagi krytyczne dotyczą drobnych błędów lub mają charakter polemiczny. Na szczególną uwagę zasługują nie tylko walory teoretyczne ale i praktyczne pracy. Specjalne uznanie wzbudza szeroki zakres metod uwzględnionych zarówno w maszynowym uczeniu nadzorowanym, nienadzorowanym jak i półnadzorowanym. Stwierdzam więc, że **rozprawa spełnia z nadmiarem wymagania określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz.U.2024.1571 t.j. z dnia 2024.10.24) Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce** dotyczące prac doktorskich i **wnoszę o dopuszczenie jej do obrony**.

Andrzej Handkiewicz

9/4 A.Jm