

Gliwice, 20 listopada 2023

Dr hab. inż. Dariusz Mrozek, prof. PS
Katedra Informatyki Stosowanej
Politechnika Śląska w Gliwicach
ul. Akademicka 16
44-100 Gliwice

RECENZJA

rozprawy doktorskiej dla

Rady Naukowej Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja

działającej

w Politechnice Warszawskiej

Tytuł rozprawy: Training Instabilities in Neural Network-based Sequential Data Modeling

Autor rozprawy: mgr inż. Łukasz Neumann

1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy (teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez Autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?

Przedstawiona przez Pana Łukasza Neumanna rozprawa doktorska składa się z cyklu powiązanych tematycznie publikacji wraz z towarzyszącym im opracowaniem (autoreferatem), który stanowi przewodnik po zrealizowanych pracach badawczych i szereguje wiedzę w omawianym obszarze. W ogólnym ujęciu rozprawa jest poświęcona redukcji niestabilności w procesie uczenia sztucznych sieci neuronowych wykorzystywanych do analizy danych sekwencyjnych pozyskiwanych w różnych obszarach. Główne cele rozprawy koncentrują się wokół zagadnienia poprawy stabilności procesu uczenia sieci, poprzez zastosowanie technik optymalizacji drugiego rzędu i odpowiednio zaprojektowanych architektur sztucznych sieci neuronowych. Zarówno cele pracy, jak i motywacja prowadzonych badań w tym obszarze zostały sformułowane w sposób jasny i wyczerpujący. Charakter rozprawy określiłbym jako **eksperymentalny**, ponieważ Autor:

- zaproponował szereg usprawnień dla rozwiązań architektonicznych sztucznych sieci neuronowych oraz metaheurystykę dla procesu ich trenowania,
- dla potwierdzenia słuszności przyjętych rozwiązań przeprowadził badania eksperymentalne na zgromadzonych, a także publicznie dostępnych zbiorach danych, które pozwoliły zweryfikować, iż opracowane algorytmy i rozwiązania mogą być z powodzeniem stosowane w analizie danych sekwencyjnych i pozwalają na poprawę wydajności tych procesów analitycznych.

Lektura materiału pozwala mi stwierdzić, iż założone cele rozprawy udało się osiągnąć.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł (w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle) świadczą o dostatecznej wiedzy Autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Analiza światowej literatury i bieżącego stanu wiedzy w omawianym obszarze zostały przeprowadzone w sposób właściwy i świadczą o dostatecznej wiedzy Autora w tej dziedzinie. Analiza ta została przedstawiona w rozdziale 2 autoreferatu oraz w trzech przedstawionych publikacjach Autora, które tworzą cykl publikacyjny będący głównym osiągnięciem rozprawy. Zawartość rozdziału 2 autoreferatu, który obejmuje m.in. kategoryzację i przegląd metod uczenia sieci, a także omówienie architektur sztucznych sieci neuronowych dla modelowania danych sekwencyjnych potwierdza, iż Autor posiada szeroką wiedzę w zakresie pierwotnych i bieżących trendów odnośnie tworzenia tego typu rozwiązań, a także zna ich zalety i słabości. W rozprawie zacytowano łącznie 126 pozycji literaturowych, z których zdecydowana większość dotyczy wyżej wymienionych elementów stanu wiedzy. Rozdziały 2.1 – 2.3 oraz rysunek 1 stanowią bardzo dobry wstęp teoretyczny do całości rozprawy, a do pojęć w nich zdefiniowanych (włączając wstęp, rozdział 1) Autor nawiązuje w kolejnych podrozdziałach autoreferatu, jak również w treści poszczególnych artykułów głównego cyklu publikacyjnego. Szczególną uwagę zwraca Autor na problemy dużej liczby parametrów modeli wnioskowania opartych na sztucznych sieciach neuronowych oraz konieczności budowania i realizacji kosztownych czasowo i pamięciowo obliczeń związanych z operacjami macierzowymi (m.in. obliczenia macierzy Hessego drugich pochodnych cząstkowych). Przeprowadzony przez Autora przegląd wiedzy w tym zakresie pozwolił mu w sposób jasny i przekonujący sformułować wnioski, które zdeterminowały przyjęcie odpowiednich rozwiązań algorytmicznych i obliczeniowych.

3. Czy Autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Na początku realizacji rozprawy Pan Łukasz Neumann zdefiniował kilka zadań, do których realizacji konsekwentnie dążył w swoich pracach badawczych. Dotyczyły one redukcji niestabilności w procesie uczenia sztucznych sieci neuronowych podczas analizy danych sekwencyjnych. W swoich pracach Autor sięgnął do rozwiązań bazujących na odpowiednio zaprojektowanych architekturach rekurencyjnych sieci neuronowych (RNN) oraz optymalizatorach drugiego rzędu, jako alternatywie dla używanych często metod gradientowej optymalizacji statycznej. Na podstawie lektury przedłożonych prac można stwierdzić, iż postawione w rozprawie zagadnienia zostały rozwiązane w sposób właściwy. Autor osiągnął to poprzez: 1) identyfikację słabości istniejących metod optymalizacji pierwszego i drugiego rzędu oraz architektur sztucznych sieci neuronowych w kontekście ich złożoności i wydajności obliczeniowej, a także niestabilności procesu trenowania, 2) opracowanie własnych usprawnień i algorytmów, 3) badania eksperymentalne weryfikujące przydatność opracowanych metod z użyciem udostępnionych lub publicznie dostępnych zbiorów danych. Wyniki przeprowadzonych przez Autora rozprawy badań potwierdziły, iż założenia przyjęte podczas opracowania autorskich metod były słuszne i uzasadnione. W artykułach stanowiących główne osiągnięcie rozprawy przedstawiono porównanie osiągniętych

wyników z wynikami istniejących i popularnych narzędzi powszechnie używanych przez specjalistów prowadzących podobne analizy danych.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek Autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Przedstawiona rozprawa stanowi bardzo dobre uzupełnienie bieżącego stanu wiedzy światowej w zakresie prowadzenia wydajnych analiz opartych na metodach sztucznej inteligencji. Pan Łukasz Neumann zaproponował nowatorskie rozwiązania w zakresie architektury i trenowania sztucznych sieci neuronowych, oparte na różnych podejściach, a także przeprowadził proces ich wnikliwej oceny. Na rozprawę, oprócz autoreferatu, składają się trzy publikacje – jedna w renomowanym czasopiśmie *Scientific Reports* (IF=4.996, wydawnictwa *Nature*), a także dwa artykuły opublikowane w materiałach uznanych konferencji naukowych. Wszystkie prace są ze sobą ściśle powiązane, a Pan Łukasz jest pierwszym autorem lub jego udział jest nie mniejszy niż pierwszego autora. Charakterystyka zawartości przedłożonych prac P1-P3 przedstawia się następująco:

[P1] W pracy tej przedstawiono zautomatyzowaną metodę klasyfikacji reakcji alergicznych na podstawie analizy skorelowanych obrazów przedramienia pacjenta w widmie widzialnym i termowizyjnym. W pracach badawczych procesy segmentacji i klasyfikacji były prowadzone z wykorzystaniem odpowiednio dobranych architektur sztucznych sieci neuronowych. Przedstawiono również dwa podejścia do procesu dopasowania/korelowania regionów zainteresowań. Przeprowadzone eksperymenty wykazały bardzo dobrą skuteczność opracowanego podejścia dla zebranych danych pochodzących od pacjentów Wojskowego Instytutu Medycznego w Warszawie. W pracy tej Pan Łukasz Neumann był odpowiedzialny za opracowanie i implementację metody segmentacji, klasyfikacji i dopasowania obrazów oraz prowadził badania skuteczności rozwiązania.

[P2] W pracy tej przedstawiono rekurencyjną architekturę sztucznej sieci neuronowej zwaną Deep Memory Update (DMU), w której aktualizacja poprzedniego stanu pamięci dokonywana jest poprzez głęboką transformację stanu opóźnionego i wejścia sieci. Zaproponowana architektura sieci jest w stanie nauczyć się przekształcać swój stan wewnętrzny za pomocą dowolnej funkcji nieliniowej. Zapewnia to, iż jej trenowanie jest stabilne i szybkie dzięki powiązaniu szybkości uczenia się z wielkością modułu. Badania eksperymentalne przeprowadzone z wykorzystaniem sześciu różnych tematycznie zbiorów danych potwierdziły, że zaproponowane rozwiązanie może konkurować z najnowocześniejszymi architekturami sieci, takimi jak Long Short Term Memory (LSTM), Gated Recurrent Units (GRU), a także Recurrent Highway Networks, a często je nawet przewyższa. Doktorant był współautorem opracowanej architektury oraz przeprowadził jej implementację i analizę.

[P3] W pracy tej przedstawiono ewolucyjną metodę uczenia głębokich sieci neuronowych, bazującą na optymalizacji wag sieci, nazwaną neuronową strategią ewolucji różnicowej (nDES), opartą na Strategii Ewolucji Różnicowej (DES) łączącej Ewolucję Różnicową (DE) ze Strategią Ewolucji Adaptacji Matrycy Kowariancji (CMA-ES). W zaproponowanym podejściu zastosowano inicjalizację populacji

opartą na współczynnikach Xaviera, przetwarzanie wsadowe i mutacje oparte na gradiencie. Badania przeprowadzone na zbiorze danych FashionMNIST dla zaproponowanej strategii nDES oraz literaturowego optymalizatora ADAM potwierdziły, iż zaproponowane rozwiązanie jest skuteczne i może zostać zastosowane w analizie problemów o dużej wymiarowości, a ponadto może zostać łatwo zrównoleglone w procesie obliczeniowym. Ponownie, Autora rozprawy przeprowadził implementację, analizę i testowanie przedstawionego rozwiązania.

Zaproponowanie odpowiednich architektur sztucznych sieci neuronowych umożliwiających m.in. zautomatyzowanie procesu klasyfikacji reakcji alergicznych na podstawie obrazów przedramienia pacjenta w widmie widzialnym i termowizyjnym, metod dopasowania wysegmentowanych regionów zainteresowań, a także alternatywnych metod optymalizacji konwolucyjnych i rekurencyjnych sieci neuronowych uważam za istotne osiągnięcie Autora i zaliczam do oryginalnych wyników przedstawionych w rozprawie. Wyniki przeprowadzonych prac badawczych zostały opublikowane w 3 artykułach bądź w liczących się w dziedzinie informatyki czasopismach (*Scientific Reports*, 140 pkt. MEiN), bądź w materiałach konferencyjnych (wszystkie za 140 pkt. MEiN). Dorobek ten uzupełnia 12 innych artykułów opublikowanych w materiałach konferencyjnych i 3 wystąpienia plakatowe. Na uwagę zasługuje udział w licznych projektach o charakterze naukowym oraz inne publikacje. Świadczy to w mojej opinii o istotności podjętego problemu oraz wyraźnym wkładzie Pana Łukasza Neumanna w rozwój tego obszaru informatyki.

5. Czy Autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawiania uzyskanych przez siebie wyników /zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy/?

Realizując pracę Pan Łukasz Neumann wykazał dobre opanowanie umiejętności przedstawiania uzyskanych przez siebie wyników. Same idee zostały zaprezentowane w sposób dość jasny, sformalizowany i poparty przykładami, i co niezwykle istotne, poprzedzone szeroką analizą rozwiązań dotychczas zaprezentowanych na światowym forum naukowym. Oceny skuteczności rozwiązania dokonano w oparciu o liczne i publicznie dostępne dane sekwencyjne (m.in. obrazy medyczne reakcji alergicznych skóry). Wyniki oceny skuteczności opracowanych rozwiązań danej klasy zostały przeanalizowane i skomentowane w przedstawionych artykułach P1-P3 przedłożonej rozprawy pokazując, że poszczególne rozwiązania i modyfikacje dotychczasowych metod umożliwiają poprawę jakości i wydajności osiąganych wyników w porównaniu z wybranymi i dostępnymi metodami. Od strony redakcyjnej zarówno autoreferat, jak i prace P1-P3 są w większości napisane w dobrym stylu i czyta się je z łatwością, chociaż znalazłem w samym autoreferacie również kilka zdań, w których należałoby poprawić stylistykę wypowiedzi.

6. Słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Przedstawione prace są bardzo ciekawe i dotyczą istotnych problemów budowania i działania algorytmów analizy wykorzystujących sztuczne sieci neuronowe. Uzupełnia je autoreferat w języku angielskim, który zawiera najważniejsze konkluzje wyływające z przeprowadzonych prac badawczych. Nie znalazłem w tych dokumentach istotnych uchybień. Uwaga dotycząca poprawy stylistyki zdań w autoreferacie nie ma

charakteru znacząco krytycznego i nie umniejsza znaczeniu osiągnięć Autora rozprawy. Mam natomiast kilka uwag i pytań, na które odpowiedź chętnie bym poznał:

Q1. Dlaczego w pracy nie zdecydowano się na postawienie konkretnej tezy badawczej? Byłby to element mile widziany.

Q2. Dlaczego w temacie rozprawy i jej tekście Autor mówi o modelowaniu danych sekwencyjnych, a nie np. o ich analizie?

Q3. Co dokładnie Autor ma na myśli mówiąc o „rzędzie wielkości” w zdaniu „Using an evolution strategy on problems with order of magnitude higher than previously reported ...” – wielkość danych, liczbę parametrów czy złożoność procesu obliczeniowego?

Q4. Co oznacza symbol n we wzorach w rozdziale 2.1 i 2.1.1 autoreferatu?

U1. W odniesieniu do pojęcia *sieci neuronowych* będącego kluczowym elementem przedłożonej rozprawy, Autor powinien używać określenia *Sztuczne sieci neuronowe*. Rozumiem, że użyto skrótu myślowego.

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Uważam, że przedłożona rozprawa doktorska Pana Łukasza Neumanna wpisuje się w bieżące problemy informatyki klasycznej i biomedycznej. Opracowanie rozwiązań dla stabilizowania procesu uczenia maszynowego pozwoliło Autorowi na osiągnięcie dobrych wyników jakościowych przy zachowaniu satysfakcjonującej efektywności i wydajności czasowej w stosunku do istniejących rozwiązań opublikowanych w światowej literaturze, co przekłada się bezpośrednio na tworzenie lepszych rozwiązań w tym obszarze. W ten sposób zaproponowane rozwiązania rozszerzają spektrum istniejących metod stosowanych w analizie danych z wykorzystaniem popularnych obecnie sztucznych sieci neuronowych. Potwierdzają to publikacje, których Pan Łukasz Neumann jest autorem, opublikowane przez wiodące wydawnictwa, takie jak *Nature*, *IEEE* oraz *Springer*.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

a/ nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy

b/ wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania

c/ spełniająca wymagania

d/ spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem

e/ wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie

Reasumując, bardzo dobre wyniki osiągnięte przez Pana Łukasza Neumanna w trakcie realizowanych przez niego badań pozwalają potwierdzić, iż główne cele rozprawy przedstawione w rozdziale 1.1 autoreferatu. Wyniki badań pokazują, że techniki oraz metody zaproponowane przez Pana Łukasza Neumana mogą

przyczynić się do znaczącej poprawy procesów analizy danych sekwencyjnych. Wartość tych metod została dostrzeżona przez środowisko naukowe, co potwierdzają opublikowane prace, wchodzące w skład przedstawionego cyklu głównego. Uważam zatem, że **przedstawiona praca spełnia wymagania** stawiane rozprawom doktorskim określone w obowiązujących przepisach. Wnoszę zatem o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.



Dr hab. inż. Dariusz Mrozek, prof. PS
Katedra Informatyki Stosowanej
Politechnika Śląska w Gliwicach