

Gliwice, 20 maja 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 Informatyki
działającej
w Polsko-Japońskiej Akademii Technik Komputerowych

Tytuł rozprawy: Neural Simulation Pipeline for Liquid State Machines

Autor rozprawy: mgr Karol Chlasta

1. Charakterystyka zagadnienia naukowego i charakter rozprawy

Przedstawiona przez Pana Karola Chlastę rozprawa doktorska jest poświęcona problematyce symulacji mózgowych komórek nerwowych oraz modelowania i eksploracji sieci neuronów biologicznych. Główne cele i założenia rozprawy koncentrują się wokół budowy efektywnego potoku symulacji neuronowej (NSP, Neural Simulation Pipeline) dla maszyny stanów płynowych (LSM, Liquid State Machine) i określenia skuteczności tego potoku dla zadania rozpoznawania wzorców. W swoich pracach Autor wykorzystał kolczaste neurony pulsacyjne Hodgina-Huxleya i zasymulował w środowisku symulacyjnym GENESIS dwa systemy wizyjne oparte na różnej liczbie kolumn LSM. Utworzony potok symulacji neuronowej NSP został zbadany w różnych środowiskach uruchomieniowych dostarczających zróżnicowanej mocy obliczeniowej. Zarówno cele pracy, jak i motywacja prowadzonych badań w tym obszarze zostały sformułowane w sposób jasny i wyczerpujący. Charakter rozprawy określiłbym jako **badawczo-eksperymentalny**, ponieważ Autor zaproponował własne struktury kolumn maszyny stanów płynowych, wspomniany autorski potok symulacyjny oraz opracował serię eksperymentów, które pomogły mu zweryfikować postawioną hipotezę badawczą. Następnie dla potwierdzenia słuszności przyjętych rozwiązań Autor przeprowadził szereg badań eksperymentalnych dla utworzonych modeli maszyny stanów płynowych dla zadanych wzorców znaków alfanumerycznych.

2. Umiejscowienie problemu rozpatrywanego w rozprawie w kontekście światowej literatury

Analiza światowej literatury i bieżącego stanu wiedzy w omawianym obszarze zostały przeprowadzone w sposób wystarczający i świadczą o dostatecznej wiedzy Autora w tej dziedzinie. Pokazują one ponadto, że problem podjęty w przedłożonej rozprawie jest istotny i wart dalszych badań. Szczególną uwagę zwraca Autor na problem konieczności budowy większych i bardziej realistycznych modeli mózgowych uwzględniających aktywność biofizyczną mózgu przy ograniczonej możliwości obserwacji połączeń neuronowych z wykorzystaniem techniki encefalografii EEG i przy wysokim zapotrzebowaniu na zasoby obliczeniowe symulacyjnych modeli mózgowych. Przeprowadzony przez Autora przegląd wiedzy w zakresie pokrewnych rozwiązań przedstawiony w rozdziałach 1-3 pozwoliły mu w sposób jasny i przekonujący sformułować wnioski, w tym m.in. określić problemy tworzenia modeli mózgowych i realizacji symulacji mózgowych przy dużej liczbie połączeń synaptycznych pomiędzy neuronami na różnych platformach komputerowych.

3. Poprawność rozwiązania i przyjętych założeń

Na początku realizacji rozprawy Pan Karol Chlasta zdefiniowała cele rozprawy, do których realizacji konsekwentnie dążył w swoich pracach badawczych. Dotyczyły one w ogólnym ujęciu budowy biologicznie inspirowanego systemu wizyjnego, przypominającego system wizyjny ssaków. W swoich pracach Autor sięgnął do rozwiązań opartych na maszynie stanów płynowych LSM z neuronami impulsowymi Hodgina-Huxleya, gdzie w warstwie odczytującej *readout* kolumny LSM przetestował 12 algorytmów uczenia maszynowego dla realizacji procesu klasyfikacji impulsów potencjału czynnościowego. Na podstawie lektury wyników eksperymentów przedstawionych w rozdziale 4 rozprawy można stwierdzić, iż postawione w rozprawie cele udało się osiągnąć, a omawiane zagadnienia zostały rozwiązane w sposób właściwy. Autor osiągnął to poprzez: 1) zbudowanie systemów wizyjnych w oparciu o różne struktury kolumnowe LSM o zmiennym rozmiarze, 2) opracowanie odpowiedniego potoku analitycznego dla obu struktur LSM, 3) badania eksperymentalne weryfikujące przydatność opracowanych rozwiązań z użyciem różnych algorytmów klasyfikacji w warstwie *readout* oraz na różnych platformach sprzętowych. Wyniki przeprowadzonych przez Autora rozprawy badań potwierdziły, iż założenia co do możliwości rozpoznawania zadanych wzorców z wykorzystaniem zaproponowanego potoku symulacyjnego przyjęte podczas realizacji pracy były słuszne i uzasadnione. W rozprawie przedstawiono szczegółowe porównanie wyników osiągniętych dla różnych modeli LSM, zmiennej liczby neuronów, dla potoku symulacyjnego uruchamianego na małym klastrze symulacyjnym zbudowanym z komputerów jedno płytkowych SBC, na klastrze Hasso Plattner Institute (HPI) oraz w chmurze obliczeniowej Amazon Web Services (AWS) w środowisku skonteneryzowanym i nie.

4. Oryginalność rozprawy i wartość rezultatów na tle literatury światowej

Przedstawiona rozprawa stanowi dobre rozwinięcie bieżącego stanu światowej wiedzy w zakresie możliwości prowadzenia symulacji neuronowych i budowy komputerowych modeli odwzorowujących

struktury mózgowe. W tym obszarze są to badania nowatorskie. Obecny stan wiedzy pokazuje, że tematyka ta jest istotna i ciągle się rozwija. Pan Karol Chlasta zaproponował własny potok symulacyjny i opracował ciekawe eksperymenty, a także przeprowadził proces szerokiej oceny ich wyników. **Podjęcie tych problemów oraz opracowanie dla nich odpowiednich podejść analitycznych, uważam za istotne osiągnięcie Autora i zaliczam do oryginalnych wyników przedstawionych w rozprawie.** Wyniki przeprowadzonych prac badawczych zostały opublikowane w kilku artykułach w liczących się w dziedzinie informatyki (neuroinformatyki) i inżynierii biomedycznej czasopismach, m.in. *Frontiers in Neuroinformatics* (IF=3.739, 140 pkt. MEiN), *Frontiers in Psychology* (IF=4.232, 70 pkt. MEiN). Dorobek ten uzupełnia kilka artykułów opublikowanych w materiałach poważnych i prestiżowych międzynarodowych konferencji naukowych, m.in. *The Pacific Asia Conference on Information Systems* (140 pkt. MEiN), *ACM Designing Interactive Systems* (70 pkt. MEiN), *FedCSIS* (70 pkt. MEiN). Świadczy to w mojej opinii o istotności podjętego problemu oraz wyraźnym wkładzie Pana Karola Chlasty w rozwój tego obszaru informatyki.

5. Poprawność rozprawy i prezentacja wyników badań

Realizując pracę Pan Karol Chlasta wykazał dobre opanowanie umiejętności przedstawiania uzyskanych przez siebie wyników. Najsilniejszą częścią pracy jest w mojej opinii część eksperymentalna (rozdział 4). Idee działania modeli LSM, potoku symulacyjnego NSP i opisy eksperymentów (rozdziały 3-5) zostały zaprezentowane w sposób jasny, a lista skrótów na początku rozprawy pozwala szybko przypomnieć sobie znaczenie niektórych z nich i zrozumieć sedno treści. Poza tym pierwsze rozdziały (1 i 2) pozwalają czytelnikowi dobrze odnaleźć się w tematyce rozprawy, a w kolejnych przedstawiono własne rozwiązania i wyniki przeprowadzonych prac badawczych (rozdziały 3-6). Oceny skuteczności rozwiązania dokonano z wykorzystaniem powszechnie stosowanych miar skuteczności. Wyniki oceny skuteczności opracowanych rozwiązań zostały przeanalizowane i skomentowane w rozdziale 4 i 5 przedłożonej rozprawy pokazując w jaki sposób udowadniają one słuszność postawionej hipotezy badawczej. Od strony redakcyjnej rozprawa jest napisana w dość dobrym stylu i czyta się ją z łatwością.

6. Słabe strony rozprawy i jej główne wady

Przedstawiona rozprawa jest ciekawa i dotyczy istotnych problemów symulacji neuronowych. Zawiera ona najważniejsze konkluzje wyływające z przeprowadzonych prac badawczych, a część eksperymentalna pokazuje, iż opracowane rozwiązanie istotnie może służyć zamierzonym celom. Nie jest ona jednak pozbawiona pewnych uchybień, które postaram się krótko wymienić:

- a) Wkradło się trochę nieścisłości w tekście, niektóre fragmenty pracy są napisane w pierwszej a inne w trzeciej osobie liczby pojedynczej lub mnogiej.
- b) Tabele 4.3 – 4.5 powinny zostać opatrzone lepszą interpretacją tekstową w którymś z paragrafów rozdziału 4.

Mniej istotne uwagi:

- c) Wkradło się też trochę drobnych błędów językowych i literówek, choć nie wpływają one znacząco na odbiór treści.
- d) Rysunki schematyczne np. 5.5 – 5.7 są zbyt małe i przez to tracą na czytelności.
- e) Część treści rozdziału 5 związanych z konfiguracją środowisk obliczeniowych i skryptów powłoki można byłoby z powodzeniem przenieść do załączników bez utraty wartości przesłania przekazanego w tym rozdziale.

W trakcie lektury pracy nasunęły mi się następujące pytania:

- a) Czy liczba impulsów potencjału czynnościowego (spikes) w Tabelach 4.3 – 4.5 nie powinna być zbliżona dla tej samej konfiguracji neuronów (Neurons) dla każdego środowiska wykonawczego?
- b) Czy koszt obliczeń na platformie AWS (Tabela 4.5) jest podany dla całej symulacji czy dla 1 sekundy?
- c) Jak mierzono zużycie pamięci (memory) w symulacjach, których wyniki przedstawiono w Tabeli 4.2?
- d) Czy realizacja obliczeń na platformie Spark wymagała synchronizacji obliczeń? Jak podzielone/partycjonowane zostały dane (wg. jakiego klucza)?

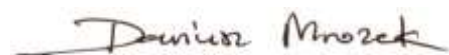
Uwagi o charakterze stylistycznym i językowym nie mają charakteru znacząco krytycznego i nie umniejszają znaczeniu osiągnięć Autora rozprawy. Mam natomiast nadzieję, że moje pytania staną się przyczynkiem do szerszej dyskusji, która może się wywiązać podczas obrony niniejszej rozprawy.

7. Przydatność rozprawy dla nauk informatycznych

Uważam, że przedłożona rozprawa doktorska Pana Karola Chlasty wpisuje się w bieżące problemy neuroinformatyki, informatyki i inżynierii biomedycznej. Badania aktywności kory mózgowej podczas realizacji procesów wizyjnych i rozpoznawania obiektów przy pomocy modeli i metod symulacyjnych noszą znamiona badań nowatorskich i pozwoliły Autorowi udowodnić przydatność tego podejścia do omawianego problemu. W ten sposób zaproponowane rozwiązania rozszerzają spektrum istniejących prac dotyczących zastosowania maszyny stanów płynowych LSM oraz metod sztucznej inteligencji o kolejny obszar aplikacyjny. Potwierdzają to publikacje, których Pan Karol Chlasta jest autorem, opublikowane przez znane wydawnictwa, takie jak *Elsevier*, *ACM* czy *Frontiers*.

Reasumując, dobre wyniki osiągnięte przez Pana Karola Chlastę w trakcie realizowanych przez niego badań pozwalają potwierdzić główne założenia przedstawione we wstępie rozprawy. Wyniki badań pokazują, że zaproponowane przez Autora techniki oraz potoki symulacyjne, a przede wszystkim ich dobra integracja ze środowiskami obliczeniowymi umożliwiającymi rozpraszanie obliczeń i automatyzację wdrożenia, mogą przyczynić się do opracowania bardziej skutecznych metod realizacji symulacji neuronowych. Wartość powstałych opracowań została dostrzeżona przez środowisko naukowe, co potwierdzają opublikowane prace. Uważam zatem, że **przedstawiona rozprawa spełnia z nadmiarem wymagania** stawiane

rozprawom doktorskim określone w obowiązujących przepisach. Wnoszę o dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony i **wyróżnienie rozprawy**.

A handwritten signature in black ink, reading "Dariusz Mrozek". The signature is written in a cursive style with a horizontal line underneath.

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