

prof. dr hab. inż. Andrzej Obuchowicz

Zielona Góra, 8 października 2023

Uniwersytet Zielonogórski

Instytut Sterowania i Systemów Informatycznych

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Łukasza Neumanna

*Training instabilities in neural network-based sequential data
modeling*

opracowana na zlecenie

Rady Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja

Politechniki Warszawskiej

1. Problem badawczy i jego znaczenie

Szybki zanik gradientu w propagowanym wstecz sygnale błędu w procesie uczenia sieci ma szczególnie negatywny wpływ na proces uczenia zarówno sieci głębokich, jak i rekurencyjnych. W tym drugim przypadku prowadzi do destabilizacji procesu uczenia i wpływa na krótkotrwałość wpływu sygnałów wcześniejszych na aktualny stan sieci, czego pragniemy uniknąć modelując dane sekwencyjne. Kierunki rozwiązania tego problemu są w zasadzie dwa: modyfikacja struktury sieci, albo oparcie procesu uczenia o metody optymalizacji wyższego rzędu, lub metody metaheurystyczne. Dotychczas modyfikacje architektury sieci wiązały się ze wzrostem liczby ich parametrów swobodnych, a zatem silnie wzrastał wymiar przestrzeni, w której realizuje się proces uczenia/optymalizacji. Poszukiwanie kolejnych rozwiązań powyższego problemu, wokół którego skoncentrowała się uwaga doktoranta w prezentowanym dorobku naukowym, nadal jest istotnym zagadnieniem badawczym wartym podjęcia.

2. Oryginalne osiągnięcia doktoranta

Zasadnicze osiągnięcia doktoranta dotyczą dwóch bardzo interesujących propozycji rozwiązania wyżej wspomnianego problemu.

Pierwszą stanowi propozycja nowej architektury sieci neuronowej w postaci minimalnej rekurencyjnej sieci neuronowej z mechanizmem bramkującym oraz arbitralnym, nieliniowym przekształceniem stanu. Spośród znanych z literatury architektur sieci neuronowych odpornych na problem zanikania/eksplozji gradientu, proponowana przez doktoranta architektura wyróżnia się znacznie mniejszą liczbą parametrów sterujących, a zatem proces uczenia/optimalizacji sieci przebiega w przestrzeni o niższej wymiarowości. Porównawcze badania eksperymentalne na wybranych zagadnieniach benchmarkowych wskazują na konkurencyjność proponowanego modelu sieci w stosunku do najbardziej popularnych modeli, a niejednokrotnie okazuje się być modelem bardziej efektywnym.

Drugą propozycją doktoranta jest zastosowanie algorytmu ewolucji różnicowej z adaptacją współczynnika skalującego inspirowanego metodą CMA-ES, w skrócie DES, opracowanego przez panów prof. Arabasa i mgr Jagodzińskiego, do uczenia głębokiej sieci neuronowej. Samo zastosowanie technik ewolucyjnych do uczenia sieci neuronowej ma już ponad trzydziestoletnią tradycję. W przypadku sieci głębokich, efektywnym w sensie uniknięcia problemu zanikania/eksplozji gradientu, przydatne są metaheurystyczne techniki drugiego rzędu, tzn. wykorzystujące informacje płynącą z estymaty macierzy kowariancji. Do tych metod należy jeden z najbardziej popularnych w ostatnim czasie algorytmów: CMA-ES. Podstawowym problemem zastosowania CMA-ES w procesie uczenia sieci głębokiej jest niezwykle wysoki, często nieakceptowalny, koszt obliczeniowy, ponieważ w każdej generacji poszukiwania ewolucyjnego konieczne jest wyznaczenie i przekształcanie macierzy kowariancji dla mutacji Gaussowskiej. Algorytm DES, stawiający swoistego rodzaju fuzję metod CMA-ES i algorytmu ewolucji różnicowej, pozwala na uniknięcie kosztownych operacji macierzowych. Doktorant zaadaptował z sukcesem algorytm DES do uczenia sieci neuronowych zarówno konwolucyjnych, jak i rekurencyjnych. Wykazał, że proponowany proces uczenia sieci jest efektywny szczególnie w zadaniach z poważnymi problemami propagacji gradientu.

Osiągnięciem godnym szczególnego wyróżnienia jest propozycja, zawarta w artykule

opublikowanym w Scientific Reports, w pełni automatycznego systemu do rozpoznawania reakcji alergicznych skóry. Doktorant, jako członek pięciosobowego zespołu, odpowiadał za najistotniejsze elementy związane z budową środowiska rozpoznawania i klasyfikacji obrazów wizyjnych i termowizyjnych. W ramach projektowania tego środowiska musiał uwzględnić ewentualne problemy niestabilności procesu uczenia. Problemom tym zapobiegł poprzez narzucenie z góry nieelastycznego sposobu przetwarzania stanu oraz zaadaptowanej do rozwiązywanego problemu konwolucyjnej sieci neuronowej. Nie mniej, w mojej opinii, to utworzenie pełnego automatycznego narzędzia, wymagającego rozwiązania wielu istotnych problemów związanych z poszczególnymi etapami procesu rozpoznawania obrazów, a nie związanych z głównym tematem rozprawy, stanowi osiągnięcie doktoranta zasługujące na szczególne podkreślenie i wyróżnienie. Każde z wyżej wymienionych opracowań związane było z koniecznością przeprowadzenia, niemal na każdym etapie konstrukcji, szerokiego zakresu eksperymentalnych badań porównawczych związanych w doborze najkorzystniejszych rozwiązań szczegółowych spośród co najmniej kilku alternatywnych możliwych realizacji.

3. Poprawność rozprawy

Przedstawioną do recenzji rozprawę doktorską stanowi zbiór powiązanych tematycznie trzech publikacji naukowych:

P1 Ł. Neumann, R. Nowak, J. Stępień, E. Chmielewska, P. Pankiewicz, R. Solan i K. Jahnz-Różyk: Thermographic based skin allergic reaction recognition by convolutional neural networks – *Scientific Reports* 12.1 (2022).

P2 Ł. Neumann, Ł. Lepak i P. Wawrzyński: Least redundant gated recurrent neural network, *IEEE Int. Joint Conf. on Neural Networks (IJCNN)* 2023.

P3 D. Jagodziński, Ł. Neumann i P. Zawistowski: Deep Neuroevolution: Training Neural Networks Using a Matrix-Free Evolution Strategy – *28th Int. Conf. on Neural Information Processing (ICONIP)* 2021.

Powyższy zbiór uzupełniony został autoreferatem, w którym przedstawiono motywacje i cele rozprawy, oraz, w świetle określonych celów, pokrótce omówiono wartość poszczególnych publikacji zbioru. Publikacja artykułu w renomowanym

czasopiśmie (IF bliski 5) i dwóch referatów na konferencjach o ustalonej znaczącej randze w środowisku badawczym, świadczą o wartości uzyskanych wyników przez doktoranta i współautorów, oraz o ich uznaniu w oczach światowych ekspertów—recenzentów tegoż czasopisma i obu konferencji.

Powyższa forma rozprawy doktorskiej jest dopuszczona przez obowiązujące prawo (ustawa Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce Dz.U. 2023 poz. 742, art. 187 ust. 3), nie mniej przygotowanie recenzji na tej podstawie stanowi poważne wyzwanie. Specyfiką publikacji konferencyjnych i w czasopiśmie naukowych jest fakt, że głównym ich celem jest prezentacja osiągniętego wyniku badawczego, konkretnego procesu jego osiągnięcia, oraz jego dyskusja. Całość objęta jest często silnym ograniczeniem objętościowym. Jakkolwiek zbiór publikacji jest powiązany tematycznie, to każda z nich jest odrębnym raportem badawczym o ściśle określonym głównym celu, często dość luźno powiązany, bądź nie powiązany z celem rozprawy. W związku z tym akcenty i skupienie autorów położone są na innych elementach publikacji niż te, których oczekiwałby recenzent rozprawy doktorskiej. Na przykład w artykule P1 autorzy skupiają się na problemie diagnozy odpowiedzi alergicznej i technikach jej wsparcia. Nie ma analizy wariantów technik możliwych do zastosowania na każdym etapie rozpoznawania obrazów i uzasadnienia tego wyboru. Jest jedynie podane konkretne rozwiązanie i to w stopniu wysokiej ogólności. Tego typu forma rozprawy doktorskiej ułatwia recenzentowi wskazanie oryginalnego rozwiązania naukowego i odniesienie się do jego wartości (patrz art. 187 ust. 2 ustawy), ale nie daje bezpośredniej możliwości oceny ogólnej wiedzy teoretycznej kandydata w dyscyplinie i umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej (patrz art. 187 ust. 1 ustawy) w szczególności, gdy publikacje zbioru są wieloautorskie. Ocena w tym obszarze jest oparta na wierze, że za wynikami badawczymi wysokiej jakości stoi ugruntowana i szeroka wiedza doktoranta, oraz umiejętne jej stosowanie w samodzielnej pracy badawczej. Tego typu rozterek recenzenta unikamy, jeżeli rozprawę stanowi „klasyczna” praca doktorska.

4. Wiedza kandydata

Podjęty przez doktoranta w rozprawie problem naukowy wymaga wiedzy i umiejętności z wielu obszarów badawczych, w szczególności z zakresu inteligencji ob-

liczeniowej, w tym, m. in., sztucznych sieci neuronowych, uczenia maszynowego i algorytmów metaheurystycznych, ponadto z zakresu technik przetwarzania i rozpoznawania obrazów. Zawartość treści wstępnych rozdziałów zawartych w przedstawionym zbiorze publikacji naukowych wskazuje na szeroką wiedzę autora rozprawy w powyższych obszarach i umiejętność z niej korzystania. Ponadto doktorant wykazał się poprawnością terminologiczną i znajomością literatury przedmiotu.

5. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę opinie zaprezentowane w poprzednich punktach i wymagania zdefiniowane przez artykuł 187 ust. 1 i 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2023 r., poz. 742 z późn. zm.)) **stwierdzam, że:** rozprawa doktorska pana mgr inż. Łukasza Neumanna zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, kandydat posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja oraz posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

W związku z powyższym **wnoszę** o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.



