



WYDZIAŁ INFORMATYKI

ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, tel. +48 61 665 3420, fax +48 61 665 3421
e-mail: office_dcf@put.poznan.pl, www.put.poznan.pl

Poznań, 29 września 2018 r.

dr hab. inż. Mikołaj Morzy, prof. nadzw.

Mikolaj.Morzy@put.poznan.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej dla Wydziału Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji Akademii Górniczo-Hutniczej

Tytuł rozprawy: **Random Projection in Deep Neural Networks**

Autor rozprawy: **Piotr Iwo Wójcik**

Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy (teza pracy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma praca (teoretyczny, doświadczalny, inny)?

Recenzowana rozprawa doktorska szeroko opisuje możliwości zastosowania techniki rzutu przypadkowego w uczeniu głębokich sieci neuronowych, ze szczególnym naciskiem położonym na problemy uczenia, w których dane wejściowe są rzadkie (ang. *sparse*) i charakteryzują się bardzo dużą wymiarowością. Autor skupia się przede wszystkim na dwóch elementach procesu uczenia: na redukcji wymiarowości przestrzeni wejściowej oraz na inicjalizacji wag sieci neuronowej. W pracy przedstawiono obszernie różne techniki rzutu przypadkowego, omówiono zalety i wady poszczególnych podejść, dokonano analizy złożoności obliczeniowej oraz przeprowadzono zakrojony na szeroką skalę eksperyment obliczeniowy na danych syntetycznych i empirycznych. Poruszony w rozprawie problem badawczy jest niezwykle aktualny, doskonale wpisuje się w światowy nurt badań nad uczeniem maszynowym i sieciami neuronowymi, a przede wszystkim, jest to problem oryginalny i ważny. Mimo ogromnego zainteresowania międzynarodowego środowiska naukowego problemami uczenia głębokich sieci neuronowych i wysokiego stopnia wyeksploatowania tematu, Autorowi udało się znaleźć pewną lukę w obecnym stanie wiedzy i ją wypełnić. I bynajmniej nie są to badania, które (jak złośliwie ocenił pewien projekt badawczy jeden z kolegów) "[...] wypełniają tę lukę w naszej wiedzy, która lepiej, aby pozostawała niewypełniona." Recenzowana praca ma charakter oryginalny, poziom merytoryczny zamieszczonych w niej badań jest bardzo wysoki, poziom edytorski pracy jest wzorowy, a potencjalny wpływ na dyscyplinę jest istotny. W mojej opinii problem badawczy postawiony w rozprawie oraz proponowane rozwiązanie problemu spełniają wymagania zwyczajowo stawiane rozprawom doktorskim.

Rozprawa jest napisana w języku angielskim i liczy, wraz z bibliografią, 116 stron. Bibliografia liczy 202 pozycje, w tym 5 prac, których autorem lub współautorem jest Piotr Wójcik. W pracy zawarto, zgodnie z wymaganiami, krótkie streszczenie w języku polskim. Poza regularnymi rozdziałami praca zawiera spis użytych symboli matematycznych, spis tablic i rycin, oraz dodatek zawierający opis użytych



WYDZIAŁ INFORMATYKI

ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, tel. +48 61 665 3420, fax +48 61 665 3421

e-mail: office_dcf@put.poznan.pl, www.put.poznan.pl

w eksperymentach zbiorów danych. Na samą pracę składa się 6 rozdziałów. W rozdziale 1 Autor wprowadza główną tezę i definiuje oryginalny wkład naukowy rozprawy. Rozdział 2 jest poświęcony głębokim sieciom neuronowym. Autor opisuje najpopularniejsze architektury sieci neuronowych i wskazuje na główne problemy związane z uczeniem tych sieci. Jednocześnie Autor definiuje problem uczenia na danych rzadkich o ogromnej wymiarowości i wskazuje, dlaczego istniejące podejścia są niewystarczające. Rozdział 3 to szczegółowe i kompletne przedstawienie techniki rzutu przypadkowego. W rozdziale 4 Autor wprowadza koncepcję redukcji wymiarowości danych przez użycie rzutu przypadkowego i dokonuje eksperymentalnej ewaluacji użyteczności tej techniki. Podstawowa technika zostaje wzbogacona o możliwość douczania wag zawartych w macierzy rzutu. Rozdział 5 przedstawia koncepcję użycia rzutu przypadkowego do inicjalizacji wag sieci neuronowej, podobnie jak w rozdziale 4, i tutaj podstawowe koncepcje są ilustrowane obszernymi eksperymentami przeprowadzonymi na sieciach spłotowych, auto-encoderach i sieciach pretrenowanych. Rozprawę zamyka rozdział 6 zawierający podsumowanie uzyskanych wyników i wnioski.

Recenzowana rozprawa ma charakter eksperymentalny. Co prawda Autor wskazuje na solidne podstawy teoretyczne, które pozwalają wierzyć w skuteczność metody (rozdział 3.1 i rozważania na temat lematu Johnsona-Lindenstraussa), ale główny nacisk w rozprawie położony jest na doświadczalną weryfikację metody. Problem badawczy został sformułowany w sposób jasny i jednoznaczny, a cała konstrukcja rozprawy jest podporządkowana udowodnieniu tezy.

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?

Aktualny stan wiedzy został zaprezentowany w rozdziałach 2 i 3. Autor opisał najpopularniejsze rodzaje głębokich sieci neuronowych oraz obszernie przedstawił istniejące metody rzutu przypadkowego. W rozdziale 2 Autor zamieścił też interesującą dyskusję na temat najważniejszych wyzwań jakie stawia proces uczenia sieci neuronowych, ze szczególnym naciskiem położonym na uczenie na danych rzadkich i wielowymiarowych. Umieszczenie tej dyskusji na początku rozprawy jest bardzo pożytecznym zabiegiem, ponieważ bardzo ułatwia śledzenie myśli Autora i stanowi naturalny punkt odniesienia dla rozdziałów prezentujących wyniki eksperymentów.

Nie mam najmniejszych wątpliwości, że Autor doskonale zna się na omawianej tematyce. Precyzja i trafność opinii i ocen poszczególnych metod i architektur dowodzi, że tematyka uczenia maszynowego głębokich sieci neuronowych jest Autorowi bliska. Aktualny stan wiedzy jest przedstawiony w sposób wyczerpujący, a przy tym zwięzły i konkretny. Autor odnosi się do aktualnego stanu wiedzy, przedstawia jego krytyczną analizę, identyfikuje luki. Po zapoznaniu się z rozdziałem 2 czytelnik rozumie, dlaczego w przypadku rzadkich i wysoce wymiarowych danych proponowane w rozprawie podejście bazujące na rzucie przypadkowym ma duże szanse na powodzenie. Cała praca jest zgrabnie spięta tezą przedstawioną w rozdziale 1, gdzie kolejne rozdziały stanowią konsekwentną próbę (dodajmy, udaną) potwierdzenia tej tezy.



WYDZIAŁ INFORMATYKI

ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, tel. +48 61 665 3420, fax +48 61 665 3421

e-mail: office_dcf@put.poznan.pl, www.put.poznan.pl

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?

Samodzielny i oryginalny wkład Autora to przede wszystkim zbadanie możliwości użycia metody rzutu przypadkowego w uczeniu głębokich sieci neuronowych. Autor wnikliwie analizuje dostępne rodzaje rzutów przypadkowych i testuje ich użyteczność w redukcji wymiarowości i inicjalizacji wag. Szczególnie podoba mi się ograniczenie zakresu rozważań do domeny problemów, w których dane wejściowe są opisane ogromną liczbą wymiarów i charakteryzują się dużą rzadkością. Ta decyzja Autora jest ze wszelkich miar słuszna. Dzięki temu prezentowany wywód jest spójny, a szansa na uzyskanie istotnych wyników jest większa. Po dowiedzeniu (w mojej opinii) skuteczności proponowanej metody dla wybranej klasy problemów, w ramach dalszych prac można próbować adaptować metodę rzutu przypadkowego do innych rodzajów danych i klas sieci neuronowych. Do głównych oryginalnych osiągnięć Autora zaliczam:

- zbadanie możliwości wykorzystania techniki rzutu przypadkowego do uczenia głębokich sieci neuronowych,
- przekonujące wykazanie, że w praktyce metoda rzutu przypadkowego pozwala na zastosowanie głębokich sieci neuronowych do uczenia na rzadkich danych o bardzo wysokiej wymiarowości,
- przeanalizowanie możliwości dostrojenia parametrów rzutu przypadkowego przez uczenie,
- przeanalizowanie możliwości wykorzystania metody rzutu przypadkowego do inicjalizacji wag sieci neuronowej.

Zgodnie z moją wiedzą, przedstawione w rozprawie koncepcje i rozwiązania są w pełni oryginalne i nie były wcześniej rozważane w literaturze. Oryginalność i znaczenie zaprezentowanych w rozprawie wyników z nadmiarem wyczerpują wymagania stawiane rozprawom doktorskim.

Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?

Po raz drugi w mojej "karierze" recenzenta mam przyjemność spotkania się z tekstem tak wysokiej jakości. Tekst pracy jest wzorowy a poziom edytorski bezbłędny. Mimo dwukrotnej, bardzo starannej lektury tekstu, udało mi się znaleźć zaledwie jeden (sic!) błąd - na stronie 40-tej występuje słowo "employd". Struktura pracy jest starannie zaplanowana, każdy paragraf wynika z poprzedniego i logicznie się z nim łączy. Wszystkie symbole i oznaczenia matematyczne są wprowadzone odpowiednio wcześniej i wykorzystywane konsekwentnie. Co ważne, same oznaczenia są przemyślane i spójne. Pracę czyta się bardzo łatwo, Autor prowadzi czytelnika przez tekst w sposób naturalny. Na szczególną pochwałę zasługują zamieszczone w pracy ryciny i tabele, nie tylko są wizualnie atrakcyjne, ale posiadają też wysoką wartość informacyjną. Rzadko się zdarza, aby podpisy rycin i zamieszczone na nich legendy pozwalały zrozumieć informację przekazywaną przez rycinę bez odwołania się do tekstu - wymaga to starannego i przemyślanego zaprojektowania rycin i tabel. Osobiście uważam, że przedstawiona do recenzji praca mogłaby służyć za wzór doskonale przygotowanej rozprawy doktorskiej.



WYDZIAŁ INFORMATYKI

ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, tel. +48 61 665 3420, fax +48 61 665 3421

e-mail: office_dcf@put.poznan.pl, www.put.poznan.pl

Dodatkowo, chciałbym pochwalić Autora za wzbogacenie treści rozprawy o rozdziały zawierające dyskusję na temat kwestii implementacyjnych omawianych rozwiązań. Sama praca ma charakter wybitnie eksperymentalny, ale Autor chętnie dzieli się z czytelnikiem swoimi doświadczeniami nabytymi w trakcie prac implementacyjnych. Lektura tych rozdziałów niezbitnie dowodzi, że Autor, poza warształem naukowym, znakomicie opanował też warsztat inżynierski i biegle posługuje się współczesnymi narzędziami informatyki pozwalającymi nie tylko na szybkie prototypowanie i realizację eksperymentów, ale także promującymi reprodukowalność. Pomysł dzielenia się ze światem naukowym nie tylko algorytmami i wynikami eksperymentów, ale też kodem służącym do przeprowadzenia eksperymentów, jest zdecydowanie wart pochwały.

Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Praca doktorska Piotra Wójcika nie posiada wad. Uznałem, że próba wyszukania jakiegoś drobiazgu, do którego mógłbym się przychylić jako recenzent, tylko po to, żeby recenzja zawierała uwagi krytyczne, jest pozbawiona sensu. W mojej opinii to jest po prostu znakomita rozprawa doktorska, tak pod względem merytorycznym, jak i edytorskim. Sformułowane przeze mnie poniżej pytania nie stanowią uwag krytycznych, ale zaproszenie Autora do pewnej dyskusji i refleksji nad zaproponowanym rozwiązaniem.

1. Na stronie 59 Autor pisze: "*Surprisingly, introducing a nonlinearity after the RP layer decreased the network performance*". Prawdę powiedziawszy, zupełnie mnie to nie zdziwiło. Chciałbym się dowiedzieć, dlaczego Autor oczekiwał poprawy po wprowadzeniu warstwy ReLU/LeakyReLU po warstwie rzutu przypadkowego?
2. Nie rozumiem powodu, dla którego Autor próbował douczać warstwę rzutu przypadkowego korzystając z techniki fine-tuning. Czy przypadkiem nie jest to otwarcie drogi do przeuczenia modelu? W przypadku uczenia parametrów sieci, nawet przy wykorzystaniu techniki dropout, zmiana wag ma na celu ekstrakcję użytecznych cech i budowę nieliniowych kombinacji tych cech. Nie znajduję podobnego uzasadnienia w przypadku douczania wag w warstwie RP.
3. Proponowane w rozprawie rozwiązania przypominały mi o koncepcji uczenia ekstremalnego (ang. Extreme Learning Machine) proponowanej przez Guang-Bin Huanga, w której wszystkie wagi sieci neuronowej są inicjalizowane losowo, a uczeniu podlega tylko ostatnia warstwa. Taka architektura teoretycznie powinna ułatwiać generalizację i stanowić lepszą analogię dla ludzkiego umysłu, który wykonuje uczenie przy pomocy jednej, ustalonej architektury połączeń między neuronami. Chciałbym prosić Autora o wskazanie podobieństw i różnic między jego propozycją, a koncepcją ELM.



WYDZIAŁ INFORMATYKI

ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, tel. +48 61 665 3420, fax +48 61 665 3421

e-mail: office_dcf@put.poznan.pl, www.put.poznan.pl

Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska stanowi dojrzałe, oryginalne i ciekawe opracowanie. Autor podejmuje się rozwiązać trudny i aktualny problem badawczy, wychodząc z tej próby zdecydowanie zwycięsko. Rozprawa zawiera czytelne sformułowanie problemu oraz bardzo satysfakcjonującą propozycję jego rozwiązania, zarówno z teoretycznego, jak i praktycznego punktu widzenia. Rozprawa jest napisana w sposób wzorowy, nie sposób jest wytknąć żadnych błędów edytorskich. Jej lektura utwierdza mnie w przekonaniu, że Autor doskonale opanował warsztat naukowy, swobodnie porusza się w obszarze uczenia głębokich sieci neuronowych i jest zaznajomiony z aktualnym stanem wiedzy. Lista jego osiągnięć publikacyjnych zdecydowanie przewyższa oczekiwania tradycyjnie stawiane doktorantom, czego dowodem mogą być prace zamieszczone w "Neurocomputing" czy "IEEE Internet Computing".

W podsumowaniu recenzji z przekonaniem stwierdzam, że rozprawa doktorska Piotra Wójcika spełnia z nadmiarem wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązującą Ustawę "Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce" z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz.U. 2018 poz. 1668) i wnoszę o jej dopuszczenie do publicznej obrony. Ze względu na bardzo wysoki, w mojej ocenie, poziom merytoryczny recenzowanej rozprawy, rekomenduję Radzie Wydziału Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji AGH jej wyróżnienie.