



dr hab. inż. Maciej Trojnacki, prof. nadzw. PIAP
Sieć Badawcza ŁUKASIEWICZ – Przemysłowy
Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP
Al. Jerozolimskie 202, 02-486 Warszawa
tel.: 22 8740 448, e-mail: mtrojnacki@piap.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgra inż. Karola Majka

zatytułowanej:

*Automatic selection of deep neural network parameters in mobile robotics
(Automatyczny dobór parametrów głębokich sieci neuronowych w aplikacjach
do robotów mobilnych)*

1. Problem badawczy i jego znaczenie

W rozprawie doktorskiej Pana mgra inż. Karola Majka rozważany jest problem automatycznego doboru parametrów tzw. głębokich sieci neuronowych. Problem ten jest analizowany w kontekście takich podstawowych zastosowań robotów mobilnych i automatycznie kierowanych samochodów, jak: mapowanie i rozpoznawanie otoczenia, jednoczesna lokalizacja i mapowanie (SLAM), automatyczne kierowanie. Istotą metody zaprezentowanej przez Autora rozprawy jest optymalizacja hiperparametrów, co pozwala na zautomatyzowanie doboru wartości parametrów głębokich sieci neuronowych. Z założenia przedmiotowa automatyzacja ma usprawnić proces uczenia oraz obniżyć zapotrzebowanie na moc obliczeniową w sytuacji, gdy dostęp do wiedzy eksperckiej jest ograniczony.

W ramach rozprawy Autor zdefiniował ogólną tezę oraz sześć tez szczegółowych, które doprecyzowują przyjętą metodę rozwiązania postawionego problemu. W szczególności informują m.in., iż: automatyczna selekcja parametrów głębokich sieci neuronowych odbywa się z użyciem metody optymalizacji bazującej na roju cząstek (ang. Particle Swarm Optimization), metodyka badań geodezyjnych z zastosowaniem tego typu sieci usprawnia proces tworzenia map oraz że metodyka ta jest skalowalna, umożliwiając budowę kompleksowych systemów dla problemów wielkoskalowych, np. związanych z automatyzacją kierowania samochodami.

Autor rozprawy analizuje różne metryki do oceny działania głębokich sieci neuronowych dla robota mobilnego wyposażonego przede wszystkim w kamerę i laserowy system pomiarowy. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż Autor na etapie optymalizacji procesu uczenia uwzględnia małą liczbę danych zbioru trenującego, co dobrze wpisuje się w specyfikę zastosowania w aplikacjach autonomicznych pojazdów. Ponadto, Autor zweryfikował metodę automatycznego zwiększenia zbioru danych.

Rozważany w ramach rozprawy doktorskiej problem optymalizacji hiperparametrów w celu automatyzacji doboru parametrów głębokich sieci neuronowych w robotyce mobilnej ma zdecydowanie charakter naukowy. W ramach pracy Autor szczegółowo opisał bieżący stan wiedzy w kontekście automatyzacji uczenia maszynowego, przetwarzania obrazu, budowy map otoczenia i automatycznie kierowanych samochodów. Opracował własną metodykę automatycznego doboru parametrów głębokich sieci neuronowych i metody optymalizacji. Przedstawił przykłady kompleksowego rozwiązania przy pomocy proponowanej metodyki takich zagadnień związanych z pojazdami autonomicznym, jak: wykrywanie obiektów, w tym znaków drogowych, jednoczesna lokalizacja i budowanie mapy (SLAM), badania geodezyjne, lokalizacja wizyjna. Opracowane rozwiązania Autor wyczerpująco opisał stosując poprawne formalizmy matematyczne, zweryfikował

TM

ich działanie w licznych eksperymentach oraz sformułował szczegółowe wnioski o charakterze naukowym wynikające z przeprowadzonych badań.

Przedmiotowa rozprawa doktorska ma także niewątpliwie znaczenie praktyczne, o czym świadczy szeroki wachlarz rozwiązywanych zagadnień związanych z pojazdami autonomicznymi oraz uzyskane wyniki, z których część jest związana z realizacją projektów badawczych, a część z udziałem Autora w zawodach robotycznych o zasięgu międzynarodowym. Opracowana przez Autora metodyka automatyzacji doboru parametrów głębokich sieci neuronowych ze względu na jej skalowalność może znaleźć szerokie praktyczne zastosowanie w robotach mobilnych i automatycznie kierowanych samochodach jako pomoc dla projektantów takich systemów.

2. Wkład autora

Przyjęte w rozprawie doktorskiej podejście do rozwiązania problemu automatyzacji doboru parametrów głębokich sieci neuronowych jest oryginalne. Autor pracy w celu rozwiązania tego problemu wykorzystuje opracowaną przez siebie metodę optymalizacji hiper-parametrów, która stanowi dobre uzupełnienie dziedziny głębokich sieci neuronowych pozwalając na automatyzację procesu uczenia w zastosowaniu do pojazdów autonomicznych poruszających się w nieznanym otoczeniu. Wiąże się to z koniecznością szybkiego uczenia głębokich sieci neuronowych przy ograniczonych zasobach obliczeniowych.

Oryginalność rozwiązania postawionego problemu oraz wkład Autora w dyscyplinę Automatyka i Robotyka obejmuje m.in. następujące elementy:

- autorska metodyka automatyzacji doboru parametrów głębokich sieci neuronowych bazująca na optymalizacji hiper-parametrów, stanowiąca istotę pracy,
- nowa metoda ewaluacji algorytmów SLAM z wykorzystaniem pomiarów geodezyjnych wysokiej dokładności i jej weryfikacja w rzeczywistym środowisku,
- nowa metodyka badań geodezyjnych z wykorzystaniem mobilnego mapowania i głębokich sieci neuronowych w celu automatyzacji wykrywania obiektów,
- nowy algorytm przetwarzania obrazu na potrzeby lokalizacji pojazdu.

Na podkreślenie zasługuje również kompleksowość opisu bieżącego stanu wiedzy w zakresie automatyzacji uczenia maszynowego, przetwarzania obrazu, budowy map otoczenia i samochodów autonomicznych. Ponadto, Autor opracował algorytm SLAM wykorzystujący procesory graficzne (GPU) do obliczeń równoległych.

Można natomiast czuć niedosyt jeśli chodzi o zakres użytych w pracy formalizmów matematycznych, definicji, twierdzeń i dowodów, przyjęte założenia badawcze dla analizowanych problemów oraz kompleksowość opisu ich rozwiązania. Kwestie te są dość istotne m.in. z punktu widzenia możliwości powtórzenia zaprezentowanych badań przez innych badaczy oraz są wartościowe dla mniej doświadczonych badaczy.

Autor rozprawy doktorskiej stosuje niewątpliwie praktyczne podejście do analizowanych problemów, czego przejawem jest duża liczba rozwiązanych praktycznych zagadnień z dziedziny pojazdów autonomicznych. Autor rozprawy brał także udział jako członek zespołu w licznych międzynarodowych praktycznych zawodach robotycznych, podczas których niejednokrotnie uzyskał wysokie miejsce oraz otrzymał liczne nagrody.

Poza samą rozprawą doktorską Pan mgr inż. Karol Majek ma także istotny wkład w dyscyplinę Automatyka i Robotyka w postaci rozdziału w książce, 5 współautorskich publikacji w czasopiśmie punktowanych, w tym z listy A Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego i 20 publikacji konferencyjnych, w większości o zasięgu międzynarodowym, które zostały opublikowane w latach 2012-2017. W rozprawie doktorskiej Autor zaprezentował wybrane wyniki realizacji projektów

badawczych krajowych i międzynarodowych oraz z zawodów robotycznych, w których brał aktywny udział. Pan mgr inż. Karol Majek był także laureatem stypendiów naukowych, w tym Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego za osiągnięcia naukowe w latach 2013-2014. Brał także czynny udział w licznych działaniach popularyzujących naukę, w szczególności był organizatorem regularnych spotkań społeczności zainteresowanej samochodami autonomicznymi – Warsaw Self-Driving Cars oraz był mentorem w kursie Udacity Self-Driving Car Nanodegree w latach 2017-2018.

3. Merytoryczna ocena rozprawy

Rozprawa doktorska jest dość zwięzła, została ogólnie starannie zredagowana oraz jest wolna od istotnych błędów merytorycznych i językowych. Została opracowana na wysokim poziomie jeśli chodzi o zakres i kompleksowość rozwiązania analizowanych zagadnień. W szczególności, Autor stosuje poprawne formalizmy matematyczne, poprawnie ilustruje przyjęte do badań algorytmy, w większości przypadków w wyczerpujący sposób omawia analizowane zagadnienia, przedstawia szczegółowe wyniki uzyskane w wyniku badań, formułuje wynikające z nich szczegółowe wnioski, a także wskazuje na potencjalne kierunki dalszych badań. Autor podkreśla także potencjał aplikacyjny opracowanych rozwiązań i prezentuje ich praktyczne zastosowania np. w ratownictwie.

Jeśli chodzi o zauważone słabości, to można do nich zaliczyć niewielką liczbę użytych formalizmów matematycznych, brak formalnych definicji, twierdzeń i dowodów, a także szerszego przedstawienia przyjętych założeń badawczych. Z drugiej zaś strony Autor poprawnie i kompleksowo omawia stan wiedzy w zakresie tematyki rozprawy, a w opisie omawianych zagadnień stosuje podejście od ogółu do szczegółu, co ułatwia ich zrozumienie. Nie można mieć także zastrzeżeń co do zastosowanych przez Autora metod rozwiązywania poszczególnych zagadnień i jakości uzyskiwanych wyników, które należy ocenić wysoko.

W rozprawie doktorskiej brakuje natomiast szerszego odniesienia się do stosowanych lub możliwych do zastosowania metod umożliwiających automatyzację doboru parametrów głębokich sieci neuronowych, jak np. układy z logiką rozmyta, czy algorytmy genetyczne.

W tym kontekście proszę Autora rozprawy o odpowiedź na pytanie, czy byłoby możliwe zastosowanie innych metod sztucznej inteligencji do rozwiązania analizowanych w pracy zagadnień.

W pracy do automatyzacji doboru parametrów głębokich sieci neuronowych Autor skorzystał z własnej metody optymalizacji korzystając z roju cząstek. Jak wiadomo, w przypadku rozwiązywania nieliniowych problemów optymalizacji, zwłaszcza w przestrzeni wielowymiarowej pojawia się zjawisko minimów lokalnych.

W związku z tym chciałbym zapytać, czy Autor zaobserwował występowanie zjawiska minimów lokalnych, a jeśli tak, to jaki miało ono wpływ na uzyskane wyniki oraz na ile przyjęta metoda jest na nie odporna?

Interesująca może być także kwestia doboru parametrów decydujących o prędkości ruchu cząstki.

Chciałbym zapytać, w jaki sposób Autor dobrał te parametry oraz czy badał ich wpływ na dokładność wpływ na dokładność uzyskiwanych rozwiązań?

Autor stosuje w pracy stałą liczbę cząstek. Można się natomiast spodziewać, iż wraz ze wzrostem liczby iteracji algorytmu może następować koncentracja cząstek, co z kolei powinno być podstawą do ograniczenia ich liczby i przyspieszenia procesu doboru parametrów głębokich sieci neuronowych.

Dlatego proszę Autora o wypowiedź, czy zaobserwował On zjawisko koncentracji cząstek wraz ze wzrostem liczby iteracji algorytmu? Ponadto, czy ograniczenie ich liczby w przypadku zastosowanej implementacji sprzętowej mogłoby spowodować przyspieszenie doboru parametrów głębokich sieci neuronowych, a jeśli tak, to w jakim stopniu?

W zakresie prezentacji wyników badań brakuje ilustracji rozkładu cząstek w przestrzeni N-wymiarowej. Taka ilustracja dla różnej liczby iteracji umożliwiłaby m.in. lepsze zrozumienie działania opracowanej metody.

Rodzi się zatem pytanie, czy Autor nie mógłby w tym celu skorzystać z wykresów radarowych?

Jeśli chodzi o badania Autora rozprawy w zakresie jednoczesnej lokalizacji i budowy mapy oraz badań geodezyjnych, to brakuje szerszej dyskusji odnośnie wpływu systemu pomiarowego na uzyskiwane wyniki.

W związku z tym proszę Autora o informację nt. wpływu parametrów i konfiguracji laserowych systemów pomiarowych na jakość uzyskiwanych wyników, tj. przede wszystkim dokładność i powtarzalność pozy robota oraz otrzymywanych map.

Na podkreślenie zasługuje fakt skalowalności zaproponowanej metody. Szkoda jednak, że Autor bardziej szczegółowo nie omówił tej ważnej kwestii.

Dlatego proszę Autora o szczegółowe omówienie, w czym przejawia się skalowalność opracowanej metody i jakie może ona znaleźć praktyczne zastosowania poza omawianymi w pracy.

4. Wiedza kandydata

Rozdziały 2-4 rozprawy doktorskiej omawiają istniejący stan wiedzy w zakresie automatyzacji uczenia maszynowego, przetwarzania obrazu, budowy map otoczenia oraz jednoczesnej lokalizacji i budowy map, automatyzacji ruchu pojazdów, architektury głębokich sieci neuronowych, procesu ich uczenia i ewaluacji, automatyzacji doboru parametrów sieci, a także optymalizacji bazującej na roju cząstek. Omówiony przez Autora przegląd stanu wiedzy jest zatem wielokontekstowy i kompleksowy oraz świadczy o bardzo dobrej znajomości poruszanych przez Kandydata zagadnień.

Większa część pracy stanowi oryginalny wkład Autora w dyscyplinę Automatyka i Robotyka oraz potwierdza, iż Kandydat posiada ogólną wiedzę w tej dyscyplinie. Świadczy o tym przede wszystkim rozdział 3. dot. metodyki automatyzacji doboru parametrów głębokiej sieci neuronowej, rozdział 4. dot. automatyzacji badań geodezyjnych oraz wyniki badań zamieszczone w rozdziale 5.

Na podkreślenie zasługuje kompleksowe podejście do rozwiązywanych przez Autora problemów, wysoki poziom badań oraz wysoka jakość uzyskanych wyników, co potwierdzają m.in. uzyskane nagrody na zawodach robotycznych. Wszystko to świadczy o wysokim poziomie rozprawy, a także o wiedzy i doświadczeniu kandydata w dyscyplinie Automatyka i Robotyka.

Bibliografia zawarta w pracy jest obszerna, gdyż obejmuje 230 pozycji oraz zawiera istotne i aktualne prace. Autor pracy często odwołuje się do literatury podczas omawiania różnych problemów, co świadczy o poprawnym podejściu do pracy naukowej, a także o szerokiej wiedzy kandydata oraz dobrej znajomości literatury.

5. Inne uwagi

Jak wcześniej wspomniano praca została ogólnie starannie zredagowana i jest poprawna pod względem językowym, jednak można mieć do niej kilka uwag redakcyjnych. Przykładowo, na rysunkach 3.2 i 4.1 zlewają się podpisy dla części a i b rysunku, zaś rysunek 3.3 jest zbyt mały, przez co występujące na nim opisy są nieczytelne.

Na początku rozprawy doktorskiej brakuje spisu ważniejszych oznaczeń, który ułatwiałby zapoznanie się z nią, ale jest natomiast spis użytych w pracy akronimów.

Co prawda jest oczywiste, że przedmiotem pracy są sztuczne sieci neuronowe, a nie sieci neuronowe występujące w przyrodzie, jednak Autor mógł o tym wspomnieć na początku pracy.

6. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę opinie zaprezentowane w poprzednich punktach i wymagania zdefiniowane w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789) moja ocena rozprawy pod względem trzech podstawowych kryteriów jest następująca:

- Rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego;
- Rozprawa potwierdza, że Kandydat posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie Automatyka i Robotyka;
- Kandydat posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Ponadto, biorąc pod uwagę wysoki poziom rozprawy, jej użyteczny charakter i bogaty dorobek kandydata w dyscyplinie Automatyka i Robotyka **rekomenduję wyróżnienie rozprawy doktorskiej.**

Maciej Trzaskowski
Podpis