

Warszawa, 2 sierpnia 2019

dr hab. Barbara Siemiątkowska, prof. PW
Wydział Mechatroniki Politechniki Warszawskiej
Instytut Automatyki i Robotyki



Recenzja doktorskiej:

mgr inż. Karola Majki

pt. "Automatyczny dobór parametrów głębokich sieci neuronowych w aplikacjach dla robotów mobilnych "

przygotowanej pod kierownictwem dr hab. inż. Janusza Będkowskiego

Podstawa opracowania recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Karola Majka, pt. "Automatyczny dobór parametrów głębokich sieci neuronowych w aplikacjach dla robotów mobilnych". Promotorem rozprawy jest Pan dr hab. inż. Janusz Będkowski. Podstawą formalną recenzji jest pismo z dnia 02.07. 2019 r. Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej, w sprawie powierzenia mi oceny rozprawy doktorskiej mgr inż. Karola Majka w oparciu o decyzję Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej. Recenzja ma na celu ustalenie, czy rozprawa spełnia wymogi określone w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (tj. Dz. U. z 2017 r., poz. 1789). Po zapoznaniu się z treścią rozprawy mgr inż. Karola Majka i mając na uwadze ustawowe wymogi stwierdzam, że przedstawiona praca Majka spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim. Szczegółowe uzasadnienie mojej oceny zamieszczam poniżej.

Uwagi ogólne

W ostatnich latach obserwujemy gwałtowny rozwój zastosowań robotyki mobilnej w życiu codziennym. Współpraca urządzeń mobilnych z ludźmi jest wyzwaniem naukowym: konieczne jest budowanie systemów nawigacyjnych w których na podstawie informacji sensorycznych (kamer i/lub dalmierzy laserowych) budowana jest semantyczna reprezentacja środowiska. Informacja taka musi być uwzględniana w modułach określenia położenia pojazdu, planowania trasy, czy komunikowaniu się z ludźmi.

Jednym z narzędzi, które mogą być wykorzystywane w realizacji zdefiniowanego powyżej zadania są sieci głębokie (DNN). W literaturze opisywane są sukcesy zastosowania DNN w analizie obrazów medycznych, nie wszystkie architektury DNN mogą być używane w robotyce mobilnej. Podstawowe problemy to: długi czas uczenia i analizy oraz konieczność zgromadzenia dużej ilości danych treningowych.

Celem prac badawczych opisanych w przedstawionej do recenzji rozprawy jest optymalizacja procesu uczenia DNN wykorzystywanych w robotyce.

W związku z powyższym, temat rozprawy Pana mgr inż. Karola Majki uważam za aktualny, a jego wybór za uzasadniony.

Tezy, cel i metoda badawcza pracy

We wstępie przedstawiono krótkie wprowadzenie oraz podstawową tezę pracy:

Automatyczny dobór parametrów Głębokiej Sieci Neuronowej zmniejsza wymagania dotyczące wiedzy eksperta dotyczące wyboru wartości parametrów sieci neuronowej zastosowanej przez robota mobilnego wykonującego zadania w nieznanym otoczeniu.

Główna teza została podzielona na następujące tezy pomocnicze:

- Automatyczny dobór parametrów głębokiej sieci neuronowej umożliwia określenie parametrów sieci dla wybranych zbiorów danych.
- Zaproponowana metoda umożliwia budowę całościowego systemu trenowania sieci
- Opracowana strategia umożliwia efektywne trenowanie sieci.
- Zaproponowana metoda optymalizacji umożliwia określenie parametrów sieci.
- Opracowana metoda w której zastosowano Głębokie Sieci Neuronowe poprawia proces budowy mapy.

- Opracowana metoda jest skalowalna.

Rozdział pierwszy zawiera główne tezy rozprawy oraz uzasadnienie tematu pracy.

Rozdział drugi zawiera przegląd wielu dziedzin związanych z nawigacją pojazdów autonomicznych opisano:

1. metody uczenia,
2. analizy obrazu,
3. budowy mapy,
4. pojazdy autonomiczne i zastosowanie DNN w pojazdach autonomicznych.

Przedstawiony przegląd literatury jest szeroki, autor pracy wykazał dużą wiedzę z dziedziny zastosowania metod sztucznej inteligencji w robotyce. Cytowane prace są aktualne i są bezpośrednio powiązane z tematyką rozprawy.

W rozdziale 3 przedstawiono podstawową metodę zaproponowaną w pracy. Autor przedstawił przykładowe sieci stosowane w zagadnieniu rozpoznawania obiektów i wykazał, że w większości sieci głębokich oprócz wag, które są wyznaczane w procesie uczenia posiada parametry, które są ustawiane przez eksperta. W tabeli 3.1 podano przykładowe parametry sieci MobileNet. Autor zaprezentował podstawowe metody obliczania błędu sieci.

W rozdziale 4 opisano zagadnienie SLAM (jednoczesnego tworzenia mapy i lokalizacji). Autor zaznaczył, że aby efektywnie rozwiązywać zagadnienie SLAM należy stosować obliczenia równoległe (wykorzystując np. technologię CUDA) do rozwiązywania zadania rejestracji chmur punktów z jednoczesnym rozpoznawaniem obiektów wykorzystując głębokie sieci neuronowe. Autor przedstawił pseudokod przykładowego algorytm rejestracji chmur punktów.

W kolejnych podrozdziałach autor przedstawia wyniki eksperymentów dla trzech przykładowych scen: miasto po wybuchu, obszar na zewnątrz budynków oraz wewnątrz budynku, w którym przemieszczają się ludzie.

Autor słusznie zauważył, że jeśli w procesie rejestracji chmur punktów będą usuwane elementy ruchome np. rośliny lub ludzie to wpłynie to pozytywnie na jakość otrzymanej mapy.

W rozdz. 5 autor przedstawił wyniki eksperymentów w zagadnieniach związanych z systemami bezpieczeństwa. Zaprezentowano rezultaty wykrywania obiektów potencjalnego zainteresowania i znaków drogowych. Testy były przeprowadzone w rzeczywistym środowisku oraz wykorzystując publiczne bazy danych. Autor opracował i zastosował dużą metodę do

sztucznego rozszerzenia bazy dostępnych danych przez wykonywanie operacji geometrycznych na obrazach.

W rozdziale 6 znajduje się podsumowanie wyników przeprowadzonych badań. Wymieniono oryginalne elementy pracy i możliwości dalszego rozwoju.

Układ rozprawy i ocena merytoryczna jej zawartości

Praca została napisana w języku angielskim, składa się z 6 rozdziałów, 4 dodatków i bibliografii. Zawiera także spis rysunków, tabel i skrótów używanych przez autora. Praca zawiera 93 ponumerowane strony. Na końcu pracy znajduje się bardzo szeroka, składająca się z 230 pozycji bibliografia. Autor cytuje zarówno najnowsze prace związane z głębokim uczeniem jak i prace klasyczne dotyczące nawigacji robotów mobilnych. Należy zaznaczyć, że 74 cytowane w pracy artykuły (33% wszystkich) zostały wydane w ciągu ostatnich 5 lat, co świadczy o aktualności prowadzonych badań i o tym, że autor posiada szeroką wiedzę dotyczącą zastosowań metod głębokiego uczenia w nawigacji robotów mobilnych. Praca jest napisana w sposób zrozumiały.

Za pozytywne i oryginalne należy uznać następujące elementy:

1. Próba automatycznego doboru parametrów sieci neuronowej.
2. Uwzględnienie informacji semantycznej w algorytmie ICP.
3. Implementacja algorytmów SLAM i sieci głębokich wykorzystując obliczenia równoległe.
4. Szeroki zakres przeprowadzonych eksperymentów, wykorzystując publiczne bazy danych i dane z urządzeń sensorycznych.
5. Próba rozszerzenia bazy danych.
6. Łączenie danych pozyskanych z kamery i dalmierza laserowego.

Mimo pozytywnej opinii mam jednak następujące uwagi krytyczne:

- Rozdział 2, który dotyczy przeglądu literatury i jest wprowadzeniem do zagadnień robotyki mobilnej jest nieco chaotyczny, brakuje ogólnego schematu systemu nawigacyjnego pojazdów autonomicznych i określenia jakie moduły wymagają stosowania systemów uczących się. Nie wyjaśniono dlaczego w sterowaniu autonomicznymi samochodami stosowane są metody głębokiego uczenia.

- W rozdziale 3 na rys. 3.1 wartości znajdujące się na osi OX nie zostały opisane, należy się domyśleć, że są to zakresy wymienionych parametrów.
- Podpisy pod rysunkami 3.2a i 3.2b się zlewają.
- Autor zaproponował, aby optymalne wartości parametrów sieci obliczać za pomocą algorytmu cząsteczkowego. Algorytm opisany jest wzorem 3.9. Według mnie we wzorze zamiast v_i powinno być V_i . Wzór nie jest poprawny z matematycznego punktu widzenia, zamiast znaku $=$ powinno być $:=$, lub aktualne wartości v_i i x_i powinny być oznaczane innym symbolem niż wartość w poprzednim kroku.
- Z równania 3.10 wynika, że autor rozprawy rozwiązuje zadanie optymalizacji z ograniczeniami. Jak te ograniczenia są uwzględniane w metodzie roju cząsteczek?
- Rysunek 3.4 oraz tabela 3.3 powinny być szerzej opisane w tekście. W pracy brakuje definicji “mean average precision” i głębszej analizy otrzymanych wyników.
- Rys. 3.4, znajdujący się w rozdziale 3 jest opisany w rozdziale 5.
- W rozdz. 4 na rysunku 4.1 przedstawiono wyniki przykładowych eksperymentów. Na czerwono zaznaczono płaskie obszary. W pracy brakuje informacji o tym w jaki sposób wyznaczono etykiety. Jeśli zostały wyznaczone przy pomocy sieci neuronowych to wydaje mi się to przesadą, istnieje wiele wydajnych obliczeniowo algorytmów, które umożliwiają wykrywanie obszarów płaskich.
- Autor twierdzi, że semantyczny algorytm ICP poprawia wyniki budowy mapy nieznanego otoczenia. Nie opisano jednak tego algorytmu w pracy.
- Rys. 4.8 wymaga szerszego opisu. Wzór 4.2 nie jest poprawny. Zwykle element $[3,3]$ macierzy ma wartość 1, a nie zero.
- Część opisów znajdujących się w bibliografii jest niekompletna. Np. poz. 137, 148. W kilku miejscach skróty, które powinny być pisane dużą literą np. 3D są pisane małą literą.
- Nie rozumiem dlaczego wyniki eksperymentów są opisywane w dodatku, a nie w rozdziałach w których są opisywane. Odwołania do rysunków w tekście są w innej kolejności niż występują w pracy.

Podstawową wadą rozprawy jest opis teoretyczny i brak szerszej analizy otrzymanych wyników. Chciałabym, aby Autor wyjaśnił następujące zagadnienia:

- Autor w przedstawionej rozprawie proponuje rozwiązanie zagadnienia optymalizacji z ograniczeniami – chce dobrać hiperparametry sieci, tak aby zmaksymalizować

współczynnik oceny wyników klasyfikacji. Jak uwzględniane są ograniczenia w algorytmie optymalizacji?

- Z wykresów przedstawionych w dodatkach A-D wyraźnie widać, że w przypadku, gdy hiperparametry są dobierane przez eksperta wynik działania sieci jest lepszy niż w przypadku zastosowania algorytmu optymalizacji. Z czego to wynika?
- Jaki jest zysk czasowy w przypadku stosowania optymalizacji hiperparametrów?
- W algorytmie cząsteczkowym również występują parametry, jak zostały one dobrane?

Wnioski końcowe

Uważam, że recenzowana dysertacja Pana mgr inż. Karola Majka spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim przez Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym z 14 marca 2003 roku sztuki (tj. Dz. U. z 2017 r., poz. 1789).. Praca zawiera opis oryginalnej metody rozwiązania aktualnych problemów z dziedziny robotyki mobilnej. Wyniki pracy nawiązują do aktualnych badań. Uwagi krytyczne sformułowane w treści recenzji nie wpływają istotnie na moją pozytywną ocenę oryginalności i poziomu merytorycznego rozprawy. Wnioskuje o dopuszczenie mgr inż. Karola Majki do publicznej obrony.

