

Dr hab. inż. Roman Stanisław Deniziak, prof. PŚk
Katedra Systemów Informatycznych
Politechnika Świętokrzyska
ul. 1000-lecia Państwa Polskiego 7
25-314 Kielce

Kielce, 12.09.2023

Rada Naukowa Dyscypliny
INFORMATYKA TECHNICZNA
I TELEKOMUNIKACJA
Sekretariat
Data wpływu.....15.09.23r.....
Numer.....

Recenzja rozprawy doktorskiej dla Rady Naukowej Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Warszawskiej

Tytuł rozprawy: Big data w systemach rozpoznania wojskowego

Autor rozprawy: mgr inż. Kamila Matela

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Andrzej Stachurski

1. Cel, zakres, charakter i teza rozprawy

Rozprawa dotyczy problematyki klasyfikacji obrazów. Punktem wyjścia jest metoda wielokryterialnego aktywnego uczenia maszynowego MCADL, opracowana przez chińskich naukowców w 2019 roku. Autorka skupiła się na metodach opartych na aktywnym uczeniu maszynowym, co ukierunkowuje tematykę pracy na problemy, w których trudno jest wybrać reprezentatywny zbiór treningowy na etapie uczenia nadzorowanego. Celem pracy było uzyskanie większej dokładności niż w metodzie MCADL poprzez opracowanie skuteczniejszej metody doboru próbek uczących. Autorka zaproponowała metodę punktów odniesienia, znaną z optymalizacji wielokryterialnej w teorii wspomaganego decyzyjnego. Zostało to sformułowane w postaci następującej tezy pracy:

Zastosowanie metody punktów odniesienia w algorytmie „Multi-criteria active deep learning for image classification (MCADL)”, zwiększa dokładność analizy obrazu i wykazuje wyższość nad wykorzystywaną w tymże algorytmie metodą ważenia kryteriów.

Tak sformułowana teza jasno określa cel pracy, chociaż użycie pojęcia „dokładność analizy obrazu” wydaje się zbytnim uogólnieniem celu opracowywanej metody, bardziej precyzyjne byłoby użycie zwrotu „klasyfikacji obrazów”, co bezpośrednio odnosi się do celu tej metody oraz pojęcia dokładności.

Cel pracy został określony jako 7 celów szczegółowych, opisujących poszczególne etapy metodyki badawczej. Na podstawie analizy słabych stron metody MCADL zakładano opracowanie bardziej skutecznych metod wyboru próbek uczących, a następnie weryfikację dokładności opracowanej metody dla 2 standardowych zbiorów obrazów. Wykazanie tezy odbyło się poprzez porównanie uzyskanych wyników z wynikami uzyskanymi za pomocą oryginalnej metody.

Praca ma charakter projektowo-doświadczalny. Autorka zaproponowała metody inicjalizacji uczenia, metody analiz koszt-efekt oraz metody doboru próbek uczących wraz ze strategią wyboru punktów odniesienia. Następnie, zaimplementowano opracowane metody i wykonano szereg eksperymentów oceniających skuteczność zaproponowanych metod dla przykładowych zestawów danych.

2. Analiza źródeł

Bibliografia obejmuje 109 pozycji w tym 2 publikacje naukowe własnego autorstwa. Jednak 25 pozycji dotyczy stron lub dokumentacji internetowych, które nie posiadają tytułu ani autora i trudno je uznać za pozycje bibliograficzne. Można zauważyć, że tematyka wykorzystanej literatury jest zbyt szeroka i wiele pozycji wykracza poza tematykę pracy lub jest przestarzała. Biorąc pod uwagę problematykę pracy, bibliografia powinna być skupiona na tematyce klasyfikacji obrazów, w szczególności z wykorzystaniem aktywnego uczenia maszynowego. Brakuje również bibliografii z zakresu metod analizy obrazów dedykowanych dla zastosowań wojskowych. Przykładowo publikacja przeglądowa dotycząca aktywnego uczenia maszynowego z 2009 roku (pozycja 45) nie prezentuje najbardziej aktualnego stanu wiedzy. Bardziej adekwatne byłyby takie pozycje jak:

- Yang, M., Nazir, S., Xu, Q., & Ali, S. (2020). Deep learning algorithms and multicriteria decision-making used in big data: a systematic literature review. *Complexity*, 2020,
- Liu, P., Wang, L., Ranjan, R., He, G., & Zhao, L. (2022). A survey on active deep learning: from model driven to data driven. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 54(10s), 1-34,
- Bengar, J. Z., van de Weijer, J., Fuentes, L. L., & Raducanu, B. (2022). Class-balanced active learning for image classification. In *Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision* (pp. 1536-1545).

które nie zostały uwzględnione w bibliografii.

Przeгляд literatury z zakresu big data został przedstawiony w rozdziale 1. Przeгляд ten ma raczej charakter podręcznikowy, przedstawiający najbardziej znane rozwiązania z zakresu big data, brakuje tu przedstawienia najnowszych rozwiązań, szczególnie z zakresu klasyfikacji obrazów.

Również rozdział 2 zawiera przegląd literatury, przy czym tutaj dotyczy to zagadnień aktywnego uczenia maszynowego i sieci neuronowych. Rozdział ten zawiera też opis metody MCADL.

Przeгляд rozwiązań z zakresu optymalizacji jest przedstawiony w p. 1 rozdziału 3. Również tutaj, podobnie jak w rozdziale 1, tematyka jest przedstawiona zbyt szeroko i wykracza poza główną tematykę pracy. Nie ma potrzeby przedstawienia przeglądu różnych metod optymalizacji jedno- i wielo-kryterialnej, skoro praca jest ograniczona do konkretnej metody podanej w tezie.

Autorka przedstawiła również krytyczną ocenę niektórych przedstawianych rozwiązań, np. różnych strategii aktywnego uczenia. Biorąc pod uwagę cel pracy, pomimo pewnych braków, przedstawiony przegląd literatury można uznać za wystarczający w kontekście

przedstawienia zagadnień, które są wykorzystywane w opracowywanej metodzie. Natomiast nie przedstawia w sposób kompletny aktualnego stanu wiedzy w zakresie klasyfikacji obrazów.

3. Metodyka badań

Przyjęta metodyka badań zakładała eksperymentalną ocenę metody MCADL, następnie modyfikację tej metody poprzez:

- różne metody inicjalizacji,
- nowej metody wyboru zbioru próbek do etykietowania opartej na punktach odniesienia.

Skuteczność tak opracowanej metody została oceniona na drodze eksperymentalnej dla 2 standardowych zbiorów danych MNIST i CIFAR-10. Te same zbiory były wykorzystywane przez autorów metody MCADL. Jako kryterium oceny skuteczności zastosowano metrykę dokładności stosowaną w ocenie metod uczenia maszynowego. Takie podejście należy uznać za poprawne i właściwe z punktu widzenia celu pracy.

Autorka formułując tezę założyła, że zastosowanie punktów odniesienia na etapie wyboru zbioru próbek do etykietowania pozwoli na zwiększenie skuteczności klasyfikacji obrazów w porównaniu ze stosowaną metodą ważenia kryteriów, przy tych samych kryteriach oceny próbek. Takie założenie nie jest oczywiste ale na podstawie doświadczeń uzyskanych w zastosowaniu tej metody do optymalizacji procesów decyzyjnych można było postawić taką tezę, że metoda punktów odniesienia będzie również skuteczna w zakresie wyboru zbiorów danych dla aktywnego uczenia maszynowego.

Autorka uzyskała zamierzony cel pracy. Dowodem tezy są uzyskane wyniki wykonanych eksperymentów. Dla 2 standardowych zbiorów danych uzyskano wyniki znacząco lepsze niż wyniki otrzymane za pomocą metody MCADL. Wykonane zostało również wiele eksperymentów dodatkowych pokazujących szczegóły działania opracowanej metody. W szczególności wartościowe są wyniki pokazujące wybór próbek za pomocą poszczególnych kryteriów, a także wpływ różnych metod inicjalizacji na jakość uzyskanych wyników.

4. Oryginalność uzyskanych wyników

Najważniejsze oryginalne osiągnięcia autorki przedstawione w pracy to:

1. Opracowanie metody stosującej punkty odniesienia do wyboru zbiorów treningowych dla potrzeb klasyfikacji obrazów metodą aktywnego uczenia maszynowego.
2. Opracowanie i wykonanie badań z zakresu różnych metod inicjalizacji metody klasyfikacji obrazów.
3. Wbudowanie w algorytm uczenia maszynowego metody margin sampling.
4. Wykonanie eksperymentów dla standardowych zbiorów obrazów, pokazujących słabość metody MCADL i jednocześnie skuteczność zaproponowanej metody.

Ważnym rezultatem pracy jest również implementacja opracowanych metod w postaci oryginalnych narzędzi umożliwiających uczenie i tworzenie klasyfikatora obrazów poprzez aktywne uczenie maszynowe.

W odniesieniu do aktualnego stanu wiedzy rozwiązania zaproponowane przez Autorkę, bazujące na wyborze próbek uczących metodą punktów odniesienia, są innowacyjne i stanowią samodzielny i oryginalny dorobek Autorki.

5. Organizacja i redakcja rozprawy

Rozprawa składa się z 6 rozdziałów, bibliografii oraz spisów tabel i rysunków. Pierwszym rozdziałem jest wstęp, stanowiący wprowadzenie do tematyki pracy i obejmuje motywację do podjęcia tematyki badań oraz sformułowanie celu i tezy pracy. W rozdziale 1 Autorka przedstawiła przegląd rozwiązań z zakresu big data, widzenia komputerowego i klasyfikacji obrazów. Rozdział 2 zawiera opis zastosowania metody aktywnego uczenia w klasyfikacji obrazów. W rozdziale 3 opisano metody optymalizacji wielokryterialnej w tym metody zaproponowane przez Autorkę. Rozdział 4 przedstawia opis wykonanych badań oraz omówienie tematyki rozpoznania wojskowego. Ostatni rozdział zawiera podsumowanie pracy oraz wnioski. Ogólnie organizacja pracy jest poprawna i stanowi logiczny układ treści, jednak zastrzeżenia budzi umieszczenie wprowadzenia do tematyki rozpoznania wojskowego w rozdziale 4. Biorąc pod uwagę temat pracy wydaje się, że ta tematyka powinna być przedstawiona na początku pracy, opisując aktualne problemy i stanowiąc punkt wyjścia do podjęcia tematyki pracy.

Autorka opisała większość omawianych zagadnień w sposób zwięzły i zrozumiały. Chociaż niektóre pojęcia i definicje nie są zbyt precyzyjne. Przykładowo opisy do wielu równań przedstawionych w p. 1 rozdziału 2 zawierają wielokrotnie powtórzone definicje symboli, różne oznaczenia dla tych samych pojęć (np. $argmax$), brak wyjaśnień (np. str. 37 - zamiast $argmin$ opisano $argmax$, w równaniu (8) nie wyjaśniono znaczenia symbolu C) lub błędne opisy np. str 39 etykieta y nie występuje (tylko y_i), y_i to i -ta etykieta a nie zbiór wszystkich możliwych etykiet. Bardziej czytelne byłoby wprowadzenie wykazu oznaczeń lub podanie w rozdziale jednego wspólnego opisu dla wszystkich równań. Również notacja przyjęta w równaniach wymaga komentarza i wyjaśnień, bo w wielu przypadkach jest niejednoznaczna.

Praca jest starannie zredagowana, tekst pracy jest przejrzysty, chociaż niektóre rysunki nie są zbyt czytelne. Praca zawiera też nieliczne błędy redakcyjne i nieścisłości takie jak:

- str.26: w macierzy na rys. 6 w pierwszej kolumnie i drugim wierszu zamiast „fałszywie negatywna” oraz „FN” powinno być „fałszywie pozytywna” i „FP”;
- do niektórych rysunków i tabel brakuje odwołania w tekście (np. Rys. 1, czy do rys. 18-21);
- nie jest opisane czym się różnią eksperymenty, których wyniki przedstawiono na rys. 13-16, oraz czym się różni metoda losowa RL od metody RD;
- str. 63: równanie (22) nie ma opisu (co to jest m , Q ?);
- str. 64: brakuje opisu użytych symboli ($g(x)$, $f(x)$, m , p);
- str. 66: „Strzałki pokazują ...” nie jest jasne o jakie strzałki chodzi;
- str. 71: „prowadzono” powinno być „doprowadzono”;
- str. 75: wzór (28) jest powtórzeniem wzoru (22);

- str. 81/82: opisy do rysunków 29 i 30 są zamienione;
- str. 84: „zbirach” powinno być „zbiorach”;
- str. 93: opis osi X na rysunkach 44-47 jest nieodpowiedni, użyto liczb rzeczywistych zamiast całkowitych;
- pozycja 56 w bibliografii jest powtórzeniem pozycji 2.

Odwołania do literatury czasem odnoszą się nie do źródeł ale do stron internetowych lub poprzez cytowanie pośrednie. Również dla wielu źródeł nie podano danych bibliograficznych a jedynie adres internetowy publikacji online. Nie jest to zgodne z ogólnie stosowanymi zasadami tworzenia wykazu bibliografii w publikacjach naukowych.

Pomimo ww. drobnych uwag rozprawę należy uznać za poprawnie zredagowaną i uważam, że Autorka potrafi w sposób poprawny i przekonujący przedstawić uzyskane wyniki.

6. Uwagi krytyczne, wady i słabe strony rozprawy

Oprócz wcześniej przedstawionych uwag dotyczących redakcji rozprawy oraz bibliografii pracy wydaje się, że niektóre zagadnienia powinny być dokładniej przedyskutowane lub szerzej opisane. Dotyczy to następujących problemów:

1. Temat pracy sugeruje problematykę specyficzną dla zastosowań analityki big data w rozpoznaniu wojskowym. Tymczasem tematyka pracy z jednej strony dotyczy problemów klasyfikacji obrazów, a z drugiej problemów ogólnych nie ukierunkowanych na zastosowania wojskowe. Zatem powstaje pytanie czy w zastosowaniach wojskowych istnieją specyficzne problemy z zakresu tematyki pracy, które wymagałyby podjęcia badań naukowych? Dlaczego praca nie została ukierunkowana na zastosowania wojskowe np. rozpoznawanie obiektów wojskowych?
2. Uzyskane wyniki odnoszone były jedynie do metody MCADL. Aby ocenić rzeczywistą przydatność opracowanej metody należałoby porównać tę metodę do aktualnie najlepszych metod klasyfikacji obrazów. Jakie są wady i zalety zaproponowanej metody w odniesieniu do najlepszych metod klasyfikacji obrazów?
3. W pracy pominięto zagadnienia związane ze złożonością obliczeniową metod. Jest to niezwykle istotne szczególnie w kontekście wykorzystania w systemach czasu rzeczywistego i kwestii uczenia maszynowego. Zatem warto by wyniki uzupełnić o informacje dotyczącą czasu uczenia systemu, wydajności opracowanej metody.
4. W pracy skupiono się jedynie na metryce dokładności, w eksperymentach pokazano wzrost wartości tej metryki w kolejnych rundach. Aby ocenić jakość opracowanej metody interesujące byłoby pokazanie również wartości innych metryk i porównanie ich z wynikami uzyskanymi innymi metodami.
5. Praca zawiera jedynie statystyczną ocenę skuteczności opracowanej metody, jest to wystarczające do wykazania słuszności tezy pracy. Jednak brakuje krytycznej oceny działania metody, analizy przypadków dla których metod jest mniej skuteczna, pokazania słabych stron metody, które wymagają ulepszenia. Przydatne byłoby też

pokazanie przykładów, dla których metoda nie jest skuteczna np. błędnie sklasyfikowane obrazy.

Wyżej wymienione uwagi nie podważają poprawności metodologii badawczej i wartości uzyskanych wyników badań. Ale omówienie tych zagadnień pozwoliłoby na lepszą ocenę opracowanej metody, wskazałoby na możliwości praktycznego znaczenia opracowanych rozwiązań, podkreśliłoby zalety rozwiązania w porównaniu z istniejącymi metodami.

7. Znaczenie uzyskanych wyników

Praktycznym efektem pracy jest opracowany algorytm oraz oprogramowanie do klasyfikacji obrazów, które mogą być wykorzystane w zastosowaniach, gdzie trudno jest znaleźć reprezentatywny zbiór treningowy. Takim zastosowaniem mogą być systemy rozpoznania wojskowego. Opracowany algorytm jest skuteczniejszy niż prezentowane w literaturze metody bazujące na aktywnym uczeniu maszynowym.

Opracowane rozwiązanie może stanowić również punkt wyjścia do dalszych badań z zakresu klasyfikacji obrazów. Na bazie zaproponowanych rozwiązań mogą być opracowywane kolejne rozwiązania zwiększające dokładność klasyfikacji obrazów.

8. Ocena końcowa rozprawy

Podsumowując, uważam że rozprawa doktorska przedstawia oryginalne rozwiązanie zaprezentowanego w niej zagadnienia naukowego i projektowego. Autorka podjęła w niej problem, który ma istotne znaczenie w dziedzinie informatyki. Trafnie określiła założenia dotyczące jego analizy i uzyskane wyniki potwierdziła wykonanymi eksperymentami. Wykazała się dobrą znajomością ogólnej wiedzy teoretycznej i praktycznej z zakresu tematyki pracy, a także umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Stwierdzam, że recenzowana praca spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim i niniejszym wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

