

Bydgoszcz, 26.05.2022 r.

dr hab. inż. Tomasz Andrysiak
Profesor uczelni
Wydział Telekomunikacji, Informatyki i Elektrotechniki
Politechnika Bydgoska
e-mail: andrys@utp.edu.pl
tel: +48 602 605 500

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

dla Rady Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja
Politechniki Wrocławskiej

Niniejsza recenzja została przygotowana w wyniku powołania na recenzenta rozprawy doktorskiej pt. „Metody selekcji klasyfikatorów wykorzystujących funkcje dyskryminacyjne klasyfikatorów bazowych” przez Radę Dyscypliny Naukowej - Informatyka Techniczna i Telekomunikacja na posiedzeniu w dniu 21 marca 2022 roku.

Tytuł rozprawy: Metody selekcji klasyfikatorów wykorzystujące funkcje dyskryminacyjne klasyfikatorów bazowych.

Autor rozprawy: mgr inż. Paulina Heda.

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Robert Burduk, prof. PW

Podstawa opracowania recenzji:

- otrzymany egzemplarz rozprawy doktorskiej,
- pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny „Informatyka Techniczna i Telekomunikacja” Politechniki Wrocławskiej prof. dr hab. inż. Michała Woźniaka z dnia 21.03.2022 roku zawiadamiające o wyznaczeniu na recenzenta w postępowaniu o nadanie stopnia doktora.

Zawartość treściowa rozprawy oraz analiza zagadnienia naukowego

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy zagadnień związanych z dynamiczną selekcją klasyfikatorów w oparciu o wartości funkcji wsparcia przydzielane obiektom przez poszczególne klasyfikatory bazowe. Głównym celem pracy było uzyskanie jak najlepszej jakości klasyfikacji oraz porównanie uzyskiwanych rezultatów z metodami bazowymi oraz zespołami, których decyzja nie była poprzedzona etapem selekcji.

WPLYNĘŁO

30-05-2022

RDN-IT/154/2022

Praca składa się z pięciu rozdziałów, bibliografii oraz streszczenia jak również wykazu używanych skrótów i symboli. W rozdziale pierwszym przedstawiono wprowadzenie do tematyki rozprawy zawierające rozważania na temat problematyki rozpoznawania obiektów jak również podstawowe informacje dotyczące klasyfikatorów bazowych. Opisano w nim także zagadnienie dekompozycji problemu wieloklasowego na problemy binarne. Rozdział drugi zawiera omówienie obszarów, które stanowią podstawę recenzowanej rozprawy i są niezbędne do prawidłowego wyjaśnienia proponowanych pomysłów. W pierwszej kolejności zostały przedstawione podstawy budowy zespołu klasyfikatorów, w tym opisano możliwe etapy procesu klasyfikacji, sposoby generowania klasyfikatorów bazowych jak również zagadnienia związane z selekcją klasyfikatorów i agregacją podejmowanych przez nich decyzji. Omówiono również wybrane algorytmy tj. Bagging, Boosting, Lasy losowe, Stracking czy Biblioteki modeli oraz zagadnienia związane z problematyka szablonów decyzyjnych. W trzecim rozdziale zaprezentowano przegląd literaturowy dotyczący wybranych algorytmów dynamicznej selekcji w kontekście zespołu klasyfikatorów bazowych. Omówiono istotne różnice pomiędzy opisywanymi rozwiązaniami dotyczące określania miary kompetencji klasyfikatora bazowego jak również agregacji decyzji komitetu klasyfikatorów w kontekście etykiety klasy testowanego obiektu. Rozdział czwarty skupia się na autorskich algorytmach dynamicznej selekcji klasyfikatorów. Zaprezentowano tam cztery podejścia wraz z wynikami ewaluacji eksperymentalnej, które można podzielić na dwie grupy. Pierwszą stanowią trzy algorytmy bazujące na metodzie szablonów decyzyjnych. W algorytmach tych tworzone są schematy decyzyjne, których wartości są wykorzystywane w etapie selekcji klasyfikatorów. Drugą grupę stanowią algorytm wygaszający wartości funkcji wsparcia znajdujące się w pobliżu granicy decyzyjnej. Rozdział piąty prezentuje wyniki badań eksperymentalnych zrealizowane na rzeczywistym zbiorze danych, który dotyczy klasyfikacji narzędzi frezarskich. Zbiór został wykorzystany do przeprowadzenia badań eksperymentalnych z wykorzystaniem dwóch spośród czterech zaproponowanych autorskich algorytmów. Ostatni rozdział zawiera wnioski oraz podsumowanie jak również kierunki dalszych prac rozwojowych.

W rozprawie postawiono następującą hipotezę badawczą: *"Opracowane metody selekcji klasyfikatorów, wykorzystujące funkcje dyskryminacyjne klasyfikatorów bazowych pozwalają na osiągnięcie lepszych wyników klasyfikacji, w porównaniu do metody bez selekcji, korzystającej z tego samego mechanizmu fuzji klasyfikatorów bazowych"*. Przedmiotowa hipoteza została sformułowane poprawnie oraz adekwatnie (w sposób jasny i rzeczowy) do postawionego celu rozprawy. A także udowodniona w oparciu o otrzymane wyniki eksperymentów komputerowych.

Przydatność rozprawy dla gospodarki narodowej

Tematyka rozprawy mieści się w dyscyplinie naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja. Z punktu widzenia nauk technicznych przydatność rozprawy dotyczy przede wszystkim opracowania algorytmów w obszarze problemów klasyfikacji danych w szczególności dynamicznej selekcji klasyfikatorów. Należy zauważyć iż wszystkie opracowane metody klasyfikacji zostały poprawnie zweryfikowane na drodze przeprowadzonych eksperymentów komputerowych. Przyjęte przez Autorkę założenie rozprawy są uzasadnione i dotyczą z jednej strony aktualnych problemów badawczych, a z drugiej znajdują odzwierciedlenie w realnych potrzebach rozwiązywania problemów praktycznych. Należy stwierdzić, że tematyka recenzowanej rozprawy jest interesująca jak i w pełni uzasadniona.

Charakterystyka rozwiązania postawionego zagadnienia

Autorka rozwiązała zagadnienie zdefiniowane w hipotezie badawczej rozprawy. W tym celu sformułowała własne autorskie koncepcje dotyczące opracowania metod selekcji klasyfikatorów, wykorzystujące funkcje dyskryminacyjne klasyfikatorów bazowych, pozwalające na osiągnięcie lepszych wyników klasyfikacji. Zastosowana metodologia badawcza sprowadza się do następującej sekwencji działań: zdefiniowania problemu badawczego, propozycji rozwiązania postawionego problemu, zdefiniowania środowiska

eksperymentowania z wykorzystaniem adekwatnych do postawionego problemu metod i technik oraz analizy otrzymanych wyników z wykorzystaniem odpowiednich wskaźników jakości. Tego typu postępowanie jest typowym podejściem stosowanym przez społeczność naukową w analizie zagadnień związanych z uczeniem maszynowym, tak więc zaprezentowane w dysertacji podejście jest odpowiednie oraz przemysłowe jak również właściwe w kontekście tematyki rozprawy.

Charakter rozprawy

Recenzowana praca ma charakter koncepcyjno-eksperymentalny. Autorka zaproponowała szereg rozwiązań koncentrujących się na efektywnym rozwiązaniu poruszanego w literaturze problemu dynamicznej selekcji klasyfikatorów. Uzyskane wyniki potwierdzają postawioną na wstępie pracy hipotezę badawczą. Dysertacja zawiera niezbędne elementy eksperymentu komputerowego, które pozwalają na ocenę jakości opracowanych metod klasyfikacji, a poruszana tematyka jest aktualna co do stanu wiedzy dotyczącego wykorzystania metod uczenia maszynowego w zagadnieniach klasyfikacji danych.

Oryginalność rozprawy

Wkład autorki w rozwój metod i technik związanych z uczeniem maszynowym w kontekście dynamicznej selekcji zespołu klasyfikatorów polega na:

- opracowaniu cztery autorskie algorytmy dynamicznej selekcji klasyfikatorów, gdzie trzy z nich, do wyboru podzespołu klasyfikatorów, wykorzystywały schematy decyzyjne, a czwarty dokonywał selekcji poprzez wykluczenie klasyfikatorów, które przydzielały wartości funkcji wsparcia znajdujące się w pobliżu granicy decyzyjnej,
- przeprowadzeniu liczne eksperymentów badawczych w których wykorzystano zbiory danych: benchmarkowych, syntetycznych oraz rzeczywistych w celu weryfikacji zaproponowanych algorytmów klasyfikacji zarówno dla problemu binarnego jak i wieloklasowego jak również poddano walidacji homogeniczne oraz heterogeniczne zespoły klasyfikatorów,
- zweryfikowaniu czterech rodzaje klasyfikatorów bazowych – SVM, drzewa decyzyjne, sieci neuronowe oraz kNN otrzymując wyniki porównywane z klasyfikatorami bazowymi oraz zespołami klasyfikatorów, w których nie występuje proces selekcji,
- potwierdzeniu eksperymentalnym poprawności dobru odpowiednich metod fuzji klasyfikatorów tj. sumacyjnej, iloczynowej, medianowej, głosowania większościowego oraz głosowania ważonego jak również miar oceny zaproponowanych algorytmów w kontekście doboru odpowiednich hiperparametrów.

Ponadto do oryginalnych osiągnięć rozprawy można zaliczyć zaprojektowanie, implementację oraz ewaluację strategii budowania prezentowanych modeli klasyfikacji. W tym kontekście przetestowano zbiory danych pochodzące z repozytorium UCI oraz projektu KEEL jak również zbiory syntetyczne. Do oceny uzyskanych rezultatów wykorzystano miary oceny jakościowej algorytmów tj. dokładność klasyfikacji oraz miarę F1. Dla zadania wieloklasowego i miary F1 zastosowano mikro oraz makro-uśrednianie. W celu porównania zaproponowanych algorytmów z klasyfikatorami bazowymi oraz zespołami bez etapu selekcji klasyfikatorów, wyznaczono rangi testu Friedmana a następnie przeprowadzono test post-hoc Nemenyi. Oryginalnym osiągnięciem recenzowanej rozprawy jest również wykazanie skuteczności opracowanych rozwiązań poprzez realizacje ewaluacji eksperymentalnej na zbiór danych rzeczywistych przygotowany przez technologa w prawdziwej firmie produkcyjnej. Otrzymane wyniki wskazują iż zaprezentowane modele klasyfikacyjne umożliwiają poprawny dobór narzędzi skrawających do operacji frezowania.

Ocena dorobku publikacyjnego doktorantki

W recenzowanej rozprawie doktorskiej wykazano dorobek publikacyjny doktorantki składający się z 7 publikacji w tym: 4 pozycji, których doktorantka rozprawy jest pierwszym Autorem oraz 3 pozycji w których jest drugim Autorem. Przedmiotowe publikacje zostały zawarte w znanych czasopismach międzynarodowych tj. Journal of Medical Informatics and Technologies, czy też Journal of Theoretical and Applied Computer Science jak również w materiałach z konferencji międzynarodowych tj. Intelligent Data Engineering and Automated Learning oraz Image Processing and Communications - Advances in Intelligent Systems and Computing. Należy również zauważyć, że wszystkie publikacje Autorki koncentrują się na problematyce uczenia maszynowego, w szczególności szeroko rozumianych zagadnieniach dynamicznej selekcji klasyfikatorów.

Dyskusyjne strony rozprawy

Pomimo osiągnięcia postawionych celów rozprawy, udowodnienia sformułowanej hipotezy oraz poprawnej ewaluacji eksperymentalnej, w recenzowanej rozprawie można zauważyć pewne aspekty dyskusyjne, wymagające wyjaśnienia i doprecyzowania, jak również mniej znaczące usterki natury edycyjnej.

Uwagi mające charakter dyskusyjny można sformułować następująco:

- W przypadku algorytmu przedstawionego w rozdziale 4.4 badania eksperymentalne wykonano dla homogenicznego zbioru klasyfikatorów bazowych (SVM). W związku z tym nasuwa się następujące pytanie. Czy fakt ten wynika ze specyfiki zaproponowanego algorytmu? Jeśli tak, to czy można zmodyfikować zaproponowany algorytm w rozdziale 4.4 w taki sposób aby mógł być wersją dostosowaną do heterogenicznych klasyfikatorów bazowych?
- Przedstawione badania eksperymentalne wykonano dla różnych konfiguracji. Dla przykładu zrealizowane testy tj. test 1 oraz test 2 z rozdziału 4.3.2 zawiera różną liczbę klasyfikatorów bazowych. Sprawia to wrażenie pewnej niekonsekwencji w planowaniu eksperymentów badawczych. W związku z tym nasuwa się pytanie co jest tego przyczyną?
- W wyniku przeprowadzonej analizy treści rozprawy można zauważyć, że w badaniach eksperymentalnych zaproponowane metody selekcji nie są porównywalne z innymi metodami selekcji omówionymi w rozdziale 3.

Recenzowana rozprawa napisana jest poprawnie pod względem językowym, stylistycznym oraz redakcyjnym. Niemniej jednak w pracy można znaleźć błędy redakcyjne, m. in. takie jak:

- brak odniesień w tekście do niektórych rysunków,
- str. 17 brak kropki na końcu zapisu wzoru 1.3,
- str. 17 brak przecinka na końcu zapisu wzoru 1.4,
- str. 24 zbędny przecinek na końcu sformułowania „Wyniki danego klasyfikatora...”,
- str. 30 zbędna kropka w tytule rys. 2.3,
- str. 85 brak kropki na końcu zapisu wzoru 4.17,
- str. 30 zbędna kropka w tytule rys. 5.2,
- str. 96 błąd edycyjny związany z tekstem u dołu strony,
- brak konsekwencji w stosowaniu akapitów np. na początku rozdziałów.
- str. 101-118 brak jednolitego standardu zapisu pozycji literaturowych oraz nieliczne błędy interpunkcyjne.

Należy podkreślić, że przytoczone powyżej błędy redakcyjne nie pomniejszają wartości naukowej oraz oryginalności rozprawy.

Ocena wiedzy Autorki oraz znajomości współczesnej literatury z zakresu dyscypliny

Rozdziały nr 1, 2 i 3 opisują kolejno: wyzwania badawcze w kontekście uczenia maszynowego, w szczególności sformułowano tam zadanie klasyfikacji, przedstawiono koncepcję zespołu klasyfikatorów, a także zarysowano problem dynamicznej selekcji klasyfikatorów. Przedstawione w wymienionych rozdziałach treści wskazują, że Autorka rozprawy posiada odpowiednią wiedzę teoretyczną, która dotyczy omawianej w pracy problematyki i mieści się w aktualnym nurcie badań związanych z uczeniem maszynowym, w szczególności z zagadnieniami klasyfikacji. Treści tych rozdziałów odnoszą się do aktualnego stanu wiedzy i odpowiednio wprowadzają czytelnika do poszczególnych zagadnień, które w dysertacji stanowią oryginalny wkład Autorki. Spis literatury liczy 239 pozycji. Cytowane prace dobrane są prawidłowo i odnoszą się do omawianych w pracy problemów oraz świadczą o dobrej umiejętności korzystania z istniejącej literatury przez doktorantkę.

Ocena umiejętności poprawnego i przekonującego przedstawienia wyników

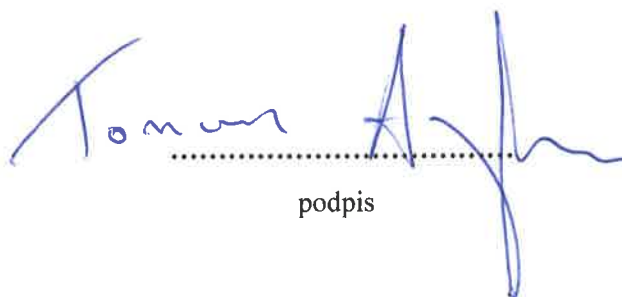
Autorka wykazała umiejętności poprawnego i przekonującego przedstawienia wyników działania opracowanych autorskich algorytmów oraz ich eksperymentalnej weryfikacji z wykorzystaniem referencyjnych zbiorów danych a także zbiory danych rzeczywistych. Styl jak i forma prezentacji przedmiotowej rozprawy jest czytelna, poprawna i zrozumiała a wyniki badań eksperymentalnych zostały odpowiednio skomentowane w treści rozprawy. Należy stwierdzić iż Autorka rozprawy posiada wystarczające umiejętności związane z prezentowaniem oraz analizą wyników prac badawczych.

Podsumowanie

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Pauliny Heda pt. „*Metody selekcji klasyfikatorów wykorzystujące funkcje dyskryminacyjne klasyfikatorów bazowych*”, której promotorem jest dr hab. inż. Robert Burduk, prof. PW, spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez *Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym (Dz. U. 2003, Nr 65, poz. 595 za zm.)*.

Recenzowana rozprawa doktorska stanowi samodzielne, rozwiązanie problemu badawczego mieszczącego się w zakresie dyscypliny naukowej *informatyka techniczna i telekomunikacja* w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych i potwierdza odpowiednie umiejętności rozwiązywania problemów naukowych zgodnych z jej zakresem przez Autorkę rozprawy.

Wnioskuje o przyjęcie recenzowanej rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.



podpis