

Gliwice, 25.04.2022

prof. dr hab. inż. Katarzyna Stapor
Politechnika Śląska
Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki
Katedra Informatyki Stosowanej

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Pauliny Hedy

Metody selekcji zespołu klasyfikatorów wykorzystujących funkcje dyskryminacyjne klasyfikatorów bazowych

1. Obszar problemowy i teza rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska dotyczy metod zespołowych w uczeniu maszynowym. Zbudowanie klasyfikatora monolitycznego pokrywającego całą zmienność właściwą większości problemów w rozpoznawaniu wzorców jest do pewnego stopnia problematyczne. Łączenie klasyfikatorów jest obecnie uznanym obszarem badawczym znanym w literaturze pod różnymi nazwami, takimi jak systemy wieloklasyfikatorowe (ang. multiple classifier systems, MCS), mieszanina ekspertów (ang. mixture of experts), uczenie się oparte na komitetach (ang. committee-based learning), lub metody zespołowe (ang. ensemble methods). Jednym z najbardziej obiecujących podejść do budowy MCS jest dobór dynamiczny, w którym klasyfikatory bazowe są wybierane „w locie”, zgodnie z każdą nową próbką do sklasyfikowania na podstawie tylko najbardziej kompetentnych klasyfikatorów. Coraz więcej prac donosi o lepszej wydajności takich dynamicznych technik w stosunku do tradycyjnych podejść.

W selekcji dynamicznej kluczem jest to, jak wybrać najbardziej kompetentne klasyfikatory dla dowolnego zadanego obiektu testowego. Recenzowana rozprawa doktorska

WPLYNĘŁO

29-04-2022

RDN-III / 107/2022

proponuje kilka autorskich rozwiązań w tym problemie. Konkretnie, celem pracy doktorskiej było wykazanie następującej, postawionej przez Doktorantkę tezy badawczej:

„Opracowanie metody selekcji klasyfikatorów wykorzystujących funkcje dyskryminacyjne klasyfikatorów bazowych pozwalają na osiągnięcie lepszych wyników klasyfikacji w porównaniu do metody bez selekcji, korzystającej z tego samego mechanizmu fuzji klasyfikatorów bazowych ”

Tematykę rozprawy uważam za oryginalną, ważną oraz aktualną dla współczesnych prac z zakresu metod zespołowych w uczeniu maszynowym. Podjęta przez Doktorantkę tematyka jest oryginalna i istotna z naukowego punktu widzenia, a opracowane w ramach rozprawy metody i algorytmy z pewnością będą mieć duże znaczenie dla praktyki.

2. Zawartość rozprawy

Rozprawa składa się ze Wstępu, pięciu rozdziałów i Podsumowania. Zawiera 239 pozycji literaturowych. We Wstępie wprowadzającym w tematykę rozprawy przedstawiona została teza pracy wraz z umotywowaniem podjętej tematyki.

Rozdział 1 wprowadza w tematykę rozpoznawania obiektów. Ponadto zawarte zostały tutaj podstawowe informacje dotyczące klasyfikatorów bazowych, które zostały wykorzystane w badaniach eksperymentalnych oraz zaprezentowano miary jakości, które zostały wykorzystane w eksperymentach. W Rozdziale 2 omówiono problematykę dotyczącą budowy zespołu klasyfikatorów i zaprezentowano wybrane algorytmy wieloklasyfikatorowe. Rozdział 3 zawiera przegląd algorytmów dynamicznej selekcji klasyfikatora/zespołu opisanych w literaturze przedmiotu. Rozdział 4 poświęcony został autorskim algorytmom dynamicznej selekcji klasyfikatorów. Zaprezentowano cztery autorskie algorytmy, które podzielić można na dwie grupy. Pierwszą grupę stanowią trzy algorytmy bazujące na metodzie szablonów decyzyjnych. W Rozdziale 4.1 zaprezentowano algorytm, w którym wartości schematu decyzyjnego są wyznaczone z użyciem wartości średniej lub wartości średniej oraz odchylenia standardowego. Drugi algorytm, zaprezentowany w Rozdziale 4.2, jest rozszerzeniem pierwszej z metod o dodatkowe kryterium – parametr α . Ostatni z algorytmów bazujących na metodzie szablonów decyzyjnych został zaprezentowany w Rozdziale 4.3. Wyznaczone są w nim dwa schematy decyzyjne, które służą do modyfikacji

wartości funkcji wsparcia. Drugą grupę stanowi algorytm zaprezentowany w Rozdziale 4.4 wygaszający wartości funkcji wsparcia znajdujące się w pobliżu granicy decyzyjnej. W Rozdziale 4 zaprezentowano opis autorskich metod wraz z ich pseudokodem oraz wyniki eksperymentalne z opisem wykorzystanego protokołu eksperymentalnego. Ostatni Rozdział 5 zawiera wyniki badań eksperymentalnych wykonane na rzeczywistym zbiorze danych, który dotyczy klasyfikacji narzędzi frezarskich. Praca zakończona jest podsumowaniem, w którym omówiono między innymi kierunki dalszych prac badawczych.

3. Uzyskane wyniki

Realizacja postawionej na początku pracy tezy badawczej doprowadziła do czterech oryginalnych algorytmów dynamicznej selekcji klasyfikatorów.

Trzy spośród zaproponowanych algorytmów bazują na metodzie szablonów decyzyjnych. W pierwszym kroku tych algorytmów dokonuje się uczenia klasyfikatorów bazowych i schematu decyzyjnego (tj. progowych wartości funkcji wsparcia dla każdego klasyfikatora oraz dla każdej z klas). W następnej fazie selekcji klasyfikatorów możliwe jest wykluczenie pewnych wartości funkcji wsparcia. W przeciwieństwie do algorytmu szablonów decyzyjnych, który tworzy osobny DT dla każdej z etykiet klas, schematy decyzyjne wykorzystywane w zaproponowanych autorskich metodach, są tworzone wspólnie dla wszystkich etykiet klas. W zależności od algorytmu, schematy decyzyjne są wyznaczane z wykorzystaniem miar położenia tendencji centralnej oraz miar zmienności. Do wyznaczenia poszczególnych miar wykorzystywane są tylko te wartości funkcji wsparcia, na podstawie których klasyfikator bazowy dokonał poprawnej klasyfikacji obiektu.

W drugiej z autorskich metod wprowadzone zostało dodatkowe kryterium selekcji, umożliwiające usunięcie z zespołu tzw. niepewnych klasyfikatorów (przedział niepewnych wartości funkcji wsparcia uzależniony jest od wartości jednego parametru).

W trzecim z kolei algorytmie wyznaczane są dwa zestawy wartości progowych dla każdego klasyfikatora i każdej z etykiet klas uzależnione od wartości dwóch parametrów. Umożliwia to podział wartości funkcji wsparcia na trzy grupy, które są następnie modyfikowane z wykorzystaniem dodatkowych parametrów celem odpowiedniego przypisania wag tym wartościom.

Wartości parametrów zostały starannie dobrane za pomocą metody przeszukiwania siatki wartości.

Ostatnia z autorskich metod zakłada wykorzystanie homogenicznego zespołu klasyfikatorów bazowych (SVM). Przedział wartości funkcji wsparcia, jakie zostaną wykluczone jest zdefiniowany przez parametry algorytmu (wygaszane są wartości funkcji wsparcia znajdujące się w pobliżu granicy decyzyjnej).

Dla każdej z zaproponowanych metod przeprowadzono liczne badania eksperymentalne na zbiorach danych pochodzących z repozytorium UCI oraz projektu KEEL, zbiorach syntetycznych, oraz jednym zbiorze danych rzeczywistych.

Do ewaluacji uzyskanych rezultatów wykorzystano następujące miary jakości – dokładność klasyfikacji oraz miarę F1 (z makrouśrednianiem w przypadku wielu klas). Polepszanie wyników jest mierzone jako większa liczba klasyfikatorów bazowych w stosunku do których opracowane nowe metody są lepsze niż metoda bez selekcji. W celu porównania autorskich algorytmów z klasyfikatorami bazowymi oraz zespołami bez etapu selekcji klasyfikatorów, wyznaczono rangi testu Friedmana a następnie przeprowadzono test post-hoc Nemenyi. Eksperymenty wykonano w środowisku SAS Enterprise Miner.

Na podkreślenie zasługuje starannie przeprowadzona analiza wrażliwości parametrów algorytmów oraz analiza statystyczna.

Przeprowadzenie licznych badań eksperymentalnych **potwierdziło postawioną w pracy hipotezę badawczą**

4. Uwagi o charakterze dyskusyjnym, polemicznym, szczegółowe

Podczas czytania pracy nasuwają się pewne uwagi, nie wpływające jednakże na ogólnie wysoką ocenę pracy.

W zaproponowanych metodach wykorzystano metodę resubstytucji – ten sam zbiór obiektów został wykorzystany do uczenia klasyfikatorów bazowych jak i uczenia schematu decyzyjnego co zwiększa obciążenie oszacowanych estymatorów.

W oszacowanych miarach jakości klasyfikacji za pomocą 10-krotnej walidacji krzyżowej nie podano odchyłeń standardowych.

Jako zadanie na najbliższą przyszłość – przydałoby się porównanie autorskich metod z innymi metodami selekcji dynamicznej.

5. Ocena końcowa rozprawy

Reasumując stwierdzam, że postawiona w rozprawie **teza pracy doktorskiej** o możliwości opracowania metod selekcji klasyfikatorów wykorzystujących funkcje dyskryminacyjne klasyfikatorów bazowych, które pozwalają na osiągnięcie lepszych wyników klasyfikacji w porównaniu do metody bez selekcji **została należycie uprawdopodobniona**. Praca napisana jest przejrzysto i stanowi przemyślaną całość, a zawarte w niej rezultaty są **oryginalne**, zostały przedstawione na wysokim poziomie i z pewnością znajdą praktyczne wykorzystanie.

Mgr inż. Paulina Heda wykazała się również odpowiednią wiedzą z zakresu uczenia maszynowego, w szczególności tego, dotyczącego systemów wieloklasyfikatorowych, a także dobrym opanowaniem i posługiwaniem się warsztatem badawczym.

Uważam, że recenzowana **praca doktorska mgr inż. Pauliny Hedy w pełni spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim przez odpowiednią Ustawę i wnioskuję o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.**

