

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Michała Madery
pt. *Predykcja defektów w kodzie źródłowym*
z zastosowaniem systemu wnioskującego
opracowana na zlecenie

Przewodniczącego Rady Dyscypliny Informatyki Technicznej
i Telekomunikacji Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza
prof. dr hab. inż. Jacka Kluski

1. Obszar problemowy

Intensywny rozwój dużych systemów informatycznych to przede wszystkim rozwój złożonego oprogramowania zawierającego wiele różnych skomplikowanych podsystemów i modułów. Wraz z rosnącą złożonością takich systemów pojawia się ich zwiększona podatność na występowanie błędów co stanowi duże wyzwanie przed projektantami opracowania i wdrożenia efektywnych metod i algorytmów do wykrywania defektów w kodzie źródłowym. Opiniowana rozprawa jest stosunkowo udaną próbą opracowania systemu decyzyjnego opartego na regułach rozmytych i programowaniu ekspresji genów do wykrywania defektów w takich kodach programu. Sformułowana w rozdziale trzecim na stronie 33 teza rozprawy wraz z podaniem celów szczegółowych rozprawy są dobrze opracowane z punktu widzenia budowanego klasyfikatora do kontroli poprawności kodu źródłowego.

Na podstawie bardzo dobrze opracowanego przeglądu literaturowego z wykorzystaniem metodologii systematycznego przeglądu literatury z okresu 2010-2021 zaproponowano opracowanie oryginalnego rozmytego systemu wnioskującego do predykcji błędów w kodzie źródłowym. Ograniczając się do badania defektów pochodzących z fazy programowania oraz fazy projektu architektonicznego w badaniach korzystano z 60 znanych metryk kodu źródłowego. Zaproponowany system decyzyjny oparty został na klasycznym modelu systemu regułowego typu Takagi-Sugeno-Kanga (TSK) oraz na analitycznej teorii modelowania rozmytego. Ważnym elementem tego systemu jest moduł wydobywania meta reguł z danych,

W P Ł Y N Ę Ł O



którego działanie oparte jest na zastosowaniu opracowanego algorytmu programowania ekspresji genów GPR. Przeprowadzono obszerne badania eksperymentalne z wykorzystaniem największych repozytoriów danych badawczych w inżynierii oprogramowania ilustrujące efektywność zastosowania algorytmu GPR w predykcji defektów w kodzie źródłowym. W badaniach wykorzystano różne miary jakości 19 klasyfikatorów, w tym klasyfikatora GPR a przed wszystkim sformułowano i udowodniono twierdzenie o kosztach klasyfikacji pozwalające wybrać odpowiednie metryki do oceny klasyfikatorów.

2. Koncepcja oraz realizacja rozprawy

Rozprawa o ogólnej objętości 138 stron opracowana jest w języku polskim z jednostronicowym streszczeniem w języku angielskim. Składa się z czterech rozdziałów oraz z wprowadzenia, wydzielonej części zawierającej tezę, cele i zakres pracy jak również podsumowania. Ponadto biografia zawiera 132 pozycje literaturowe będące podstawą opracowania bardzo dobrego stanu wiedzy w zakresie tematyki rozprawy. Szczegółowy przegląd literatury w zakresie systemów predykcji defektów w kodzie źródłowym został opracowany w rozdziale drugim w oparciu o wytyczne systematycznego przeglądu literatury w inżynierii oprogramowania.

Rozdział czwarty jest rozszerzonym wprowadzeniem do rozprawy gdzie omówiono podejścia do zagadnienia predykcji defektów w oprogramowaniu z punktu widzenia jakości oprogramowania. Przedstawiono też metody i algorytmy stosowane w rozprawie do ekstrakcji cech kodu źródłowego z punktu widzenia budowanych klasyfikatorów. Przedstawiono opisy 15 wybranych przykładowych znanych metryk kodu źródłowego a pełną listę 60 użytych metryk zamieszczono w dodatku B.

Kolejne dwa rozdziały piąty i szósty zawierają główne wyniki teoretyczne i eksperymentalne uzyskane przez autora. I tak rozdział piąty poświęcony jest zagadnieniom modelowania danych za pomocą metareguł oraz budowy klasyfikatora GPR z wykorzystaniem programowania genetycznego. Omówiono algebraiczną reprezentację metareguł dla pewnej klasy modeli Takagi-Sugeno, które pełnią rolę klasyfikatorów. Uwzględniono również fakt, że rozmyty system regułowy może przetwarzać zarówno zmienne ciągłe jak i binarne, czyli etykiety. Bardzo ważną częścią badań jest problem wydobywania metareguł z danych z zastosowaniem programowania ekspresji genów. Zaproponowany algorytm GPR posiada istotną zaletę umożliwiającą regulację stopnia złożoności poszukiwanego modelu regułowego. Daje to możliwość wyboru odpowiedniego modelu z punktu widzenia optymalizacji przyjętych miar

jakości klasyfikacji oraz generowania stosunkowo prostego modelu w postaci reguł lingwistycznych.

Z kolei obszerny rozdział szósty (48 stron) w całości dotyczy możliwości zastosowania zaproponowanego algorytmu GPR do predykcji defektów w kodzie źródłowym. Wszystkie badania eksperymentalne zostały przeprowadzone z wykorzystaniem 57 zbiorów z największego repozytoriów danych badawczych PROMISE w inżynierii oprogramowania. W badaniach porównawczych zastosowano 19 algorytmów klasyfikacyjnych w tym zaproponowany algorytm GPR. Omówiono przyjęte miary jakości klasyfikacji, ale również sformułowano i udowodniono twierdzenie o kosztach względnych przy projektowaniu klasyfikatora. Rezultaty przeprowadzonych eksperymentów zebrane w tabelach i przedstawione na wykresach dobrze ilustrują własności zaproponowanego algorytmu GPR. Zalety działania algorytmu wykazano również z zastosowaniem testów Scotta-Knotta oraz Wilcoxona. Ponadto omówiono problemy interpretowalności modeli predykcyjnych z zastosowaniem rozmytego systemu regułowego oraz czytelności reguł predykcyjnych. Na trzech wybranych przykładach pokazano, że modele GPR w postaci metareguł są proste i wysoce interpretowalne w porównaniu z przykładami wygenerowanymi przez algorytmy DTB i J48.

Na podstawie skrótowego omówienia treści rozprawy stwierdzam, że mgr Michał Madera w bardzo dobrym stopniu wykazał się umiejętnościami formułowania problemów naukowych inspirowanych wymaganiami i zastosowaniami praktycznymi, które rozwiązał wykorzystując właściwe metody badawcze dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja. Wykonane obszerne badania eksperymentalne pogłębione badania teoretycznymi z wykorzystaniem dostępnych w Internecie zbiorów danych z zakresu inżynierii oprogramowania potwierdzają przydatność i wysoką efektywność zaproponowanego rozmytego systemu wnioskującego do predykcji defektów w kodzie źródłowym oprogramowania w systemach informatycznych. Rozprawa posiada charakter praktyczno-teoretyczny a do opisu systemu i analizy jego charakterystyk zastosowano właściwy formalizm matematyczny (rachunek prawdopodobieństwa, rachunek macierzowo-wektorowy czy logikę rozmytą). Ponadto wykazał się bardzo dobrą wiedzą między innymi z takich metod badawczych jak analiza systemów informatycznych, statystyka, programowanie genetyczne czy eksperymentalne badanie systemów informatycznych.

3. Oryginalne osiągnięcia

Uzasadniając tezę badawczą i realizując sformułowane cele rozprawy jak również odpowiadając na cztery postawione pytania badawcze mgr. Michał Madera uzyskał kilka ciekawych i oryginalnych wyników naukowych potwierdzonych przede wszystkim na drodze eksperymentalnych badań komputerowych ale również częściowo badań teoretycznych. Pokazał możliwości opracowania stosunkowo efektywnego rozmytego systemu wnioskującego do predykcji defektów w oprogramowaniu źródłowym.

Do ważnych osiągnięć naukowych mgr. inż. Michała Madery między innymi zaliczam następujące:

1. Opracowanie rozmytego systemu regułowego (klasyfikatora) z wykorzystaniem mechanizmu programowania ekspresji genów do detekcji błędów w kodzie źródłowym. Klasyfikator spełnia między innymi wymagania w zakresie czytelności reguł, zapewnia możliwość sterowania złożonością reguł oraz posiada potencjał do zastosowania w praktyce inżynierskiej.
2. W zakresie badań teoretycznych sformułowano i udowodniono twierdzenie o kosztach klasyfikacji defektów w procesie wytwarzania oprogramowania dla systemów informatycznych.
3. Implementacja rozmytego systemu regułowego wykrywania defektów w kodzie źródłowym oraz przeprowadzenie obszernych testów na 57 zbiorach danych dedykowanych do badań w inżynierii oprogramowania. W ramach przeprowadzonych testów wykonano:
 - a) analizę rozkładu empirycznego wyników klasyfikacji,
 - b) test Wilcoxon dla par obserwacji,
 - c) analizy z użyciem rozkładu empirycznego wyników klasyfikacji,
 - d) porównania złożoności i czytelności reguł.

Przedstawione w rozprawie oryginalne wyniki naukowe potwierdzone badaniami eksperymentalnymi w znacznym stopniu zostały opublikowane przez doktoranta w dwóch pracach naukowych. Jest on współautorem artykułu w czasopiśmie z bazy JCR *Information Science* (2021, IF:8.233, 200 pkt. MEiN) oraz referatu na konferencji *Federated Conference on Computer Science and Information Systems* (2017). Ponadto w repozytorium *github* umieścił zbiory danych oraz przegląd literatury.

Uwzględniając wymienione oryginalne wyniki badań naukowych oraz ich częściowe opublikowanie uważam, że mgr inż. Michał Madera zrealizował cele badawcze w stopniu bardzo dobrym.

4. Uwagi i komentarze

Ogólnie całą rozprawę oceniam dobrze zarówno pod względem merytorycznym jak i redakcyjnym. Pewne uwagi zamieszczone niżej po części mają charakter dyskusyjny i dotyczą zarówno zagadnień merytorycznych jak i redakcyjnych.

1. W procesie klasyfikacji dowolnych obiektów istotnym problemem jest ekstrakcja cech badanego obiektu, w tym przypadku oprogramowania. W przyjętych badaniach użyto 60 znanych metryk kodu źródłowego. Z punktu widzenia jakości pracy klasyfikatora i zmniejszenia obciążenia obliczeniowego brakuje oceny redukcji pewnej liczby metryk, czyli oceny istotnych i mniej istotnych metryk. Takie badania są ważne szczególnie w przypadku wystąpienia tak dużej liczby metryk.
2. W pracy odczuwalny jest brak uzasadnienia/dyskusji wyboru programowania genetycznego do rozwiązywania zadania optymalizacyjnego. Brakuje wyjaśnienia i pełniejszego sformułowania badanego problemu optymalizacji. Ponadto powstaje pytanie czy problem ten można rozwiązać też innymi metodami/technikami optymalizacji?
3. Opracowany algorytm GPR został opracowany na podstawie programowania genetycznego i powstaje pytanie jakie funkcje dopasowania można przyjąć i ich wpływ na jakość procesu detekcji defektów w kodzie źródłowym?
4. W Tabeli 5.3 (str. 59) podane są parametry algorytmu GEP. Pytanie czy w badaniach eksperymentalnych badano ich wpływ na jakość pracy algorytmu GPR?
5. Uwagi redakcyjne
 - a) niejednoznaczne są odwołania np.
 - str. 14 jest: *Zgodne z Diagramem 2.2*, ale na str. 15 jest *Rysunek 2.2*?
 - str. 20 jest: *Na Wykresie 2.4*, ale na str. 21 jest *Rysunek 2.4*?
 - str. 102 jest: *...na histogramie 6.11*, ale na str. 104 jest *Rysunek 6.11*?
 - b) str. 26: błąd redakcyjny w zdaniu (10 linia od dołu): *W tej fazie każdy atrybuty zostają..*
 - c) str. 63: Jest jedna Tabela 6.1 i wydzielenie jej części na str. 64 jako Tabela 6.2 jest nieuzasadnione.

5. Podsumowanie

Mając na uwadze wszystkie aspekty rozprawy doktorskiej mgr. inż. Michała Madery, a w szczególności odnotowane oryginalne osiągnięcia naukowe, jak również pewne uwagi o charakterze dyskusyjnym, które nie mają znaczącego wpływa przy ocenie całościowej rozprawy:

- a) **stwierdzam**, że rozprawa doktorska spełnia wszystkie wymagania ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (t.j. Dz. U. z 2017 r., poz. 1789 z późn. zm.) oraz rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 roku w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora w dziedzinie *inżynierjno-technicznej* i dyscyplinie *informatyka techniczna i telekomunikacja*;
- b) **wnoszę** o przyjęcie rozprawy przez Radę Dyscypliny Naukowej *Informatyka techniczna i Telekomunikacja* Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza.

