

dr hab. inż. Ireneusz Wróbel, prof. UBB

Bielsko-Biała, 08.12.2024

Katedra Podstaw Budowy Maszyn

Wydział Budowy Maszyn i Informatyki

Uniwersytet Bielsko-Bialski

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Gnacy-Gajdzik

pod tytułem

Opracowanie metodyki tworzenia zautomatyzowanych testów systemów wbudowanych w pojazdach samochodowych, umożliwiającej weryfikację poprawności wyników z wykorzystaniem algorytmów rozszerzonej inteligencji
promotor pracy: dr hab. inż. Piotr Przyszałka, prof. PŚ

Recenzję opracowano na podstawie zlecenia Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Mechanicznej Politechniki Śląskiej dr hab. inż. Prof. PŚ Alicji Piaseckiej-Belkhat z dnia 23-10-2024

1. Wprowadzenie, formalna prezentacja rozprawy

Rozprawa doktorska została napisana na 147 stronach maszynopisu formatu A4, składa się z sześciu rozdziałów, bibliografii, spisu rysunków, wykazu skrótów i oznaczeń. Tematyka pracy jest związana z weryfikacją zaprojektowanych systemów wbudowanych, mając na uwadze spełnienie wymagań, szczególnie dotyczących bezpieczeństwa funkcjonalnego tych systemów. Anomalie pojawiające się w środowiskach testowych stanowią jeden z głównych problemów na drodze do automatyzacji procesu testowania, ponieważ mogą zakłócać wyniki i prowadzić do tzw. migotania rezultatów. To z kolei zwiększa koszty i wydłuża czas trwania testów, gdyż wymaga przeprowadzenia dogłębnej analizy każdego uzyskanego rezultatu negatywnego.

Biuro Dziekana


wpłynęło dnia 20.12.2024
RDTMe 12831 51/2024
nr zał.

Rozdział pierwszy to wprowadzenie do zagadnienia, w którym zawarto genezę rozprawy doktorskiej ze szczególnym uwzględnieniem zastosowania sztucznej inteligencji w testowaniu układów wbudowanych w przemyśle samochodowym. Zdefiniowano problem badawczy, cel rozprawy doktorskiej oraz jej zakres.

Rozdział drugi poświęcony jest rozwojowi systemów wbudowanych w sektorze motoryzacyjnym. Na początku zaprezentowano szeroki przegląd rodzajów napędów stosowanych w pojazdach samochodowych oraz ich wpływ na komponenty mechatroniczne wykorzystywane w procesie produkcji. W dalszej części omówiono wybrane normy i standardy istotne dla projektowania i testowania systemów wbudowanych w motoryzacji. W rozdziale omówiono również podejście inżynierii opartej na modelach, obejmujące etapy od projektowania po testowanie. Uwzględniono także model pojazdu, którego implementację zastosowano w środowisku testowym oraz w eksperymentach badawczych. W końcowej części rozdziału przedstawiono kluczowe kwestie związane z testowaniem jako narzędziem weryfikacji i walidacji bezpieczeństwa funkcjonalnego mechatronicznych systemów samochodowych ze szczególnym naciskiem na środowiska testowe, metodykę testowania oraz automatyzację procesów testowych.

Rozdział trzeci koncentruje się na zagadnieniu rozszerzonej inteligencji. W części wprowadzającej omówiono podstawowe pojęcia związane ze sztuczną inteligencją oraz wyjaśniono koncepcję rozszerzonej inteligencji. Przedstawiono wyniki analizy literatury dotyczącej obszarów zastosowań rozszerzonej inteligencji, ze szczególnym uwzględnieniem dziedzin powiązanych z tematem rozprawy, takich jak diagnostyka i testowanie systemów wbudowanych.

Rozdział 4 przedstawia metodykę testowania systemów wbudowanych, uwzględniającą wykorzystanie rozszerzonej inteligencji do weryfikacji wyników testów. Omówiono w nim kluczowe elementy tej metodyki zgodne z normami obowiązującymi w sektorze motoryzacyjnym oraz szczegółowo opisano nowatorskie rozwiązania. W rozdziale zaprezentowano również koncepcję zaawansowanego stanowiska testowego, którego głównym elementem jest model pojazdu, pozwalający na realistyczne symulowanie warunków pracy systemów wbudowanych i dokładne sprawdzanie ich działania. Przedstawiono metody pozyskiwania i przetwarzania danych środowiskowych, które są wykorzystywane do trenowania algorytmów rozszerzonej inteligencji, uwzględniając proces selekcji zmiennych zależnych, analizę



ryzyka, opracowanie reguł oraz wstępną obróbkę danych. Opisano proces walidacji wyników testów z użyciem algorytmów rozszerzonej inteligencji. W kolejnych częściach rozdziału szczegółowo omówiono algorytmy wybrane do badań oraz wskaźniki oceny ich skuteczności zastosowane w tej pracy.

Rozdział 5 poświęcony został badaniom weryfikacyjnym. Przedstawiono w nim plan badań, a także szczegółową charakterystykę obiektu badań, obejmującą opis budowy i zasady działania wybranego systemu wbudowanego oraz zaprojektowanego i wdrożonego stanowiska badawczego. Omówiono metodykę realizowanych eksperymentów, opisując kolejne etapy oraz prezentując uzyskane wyniki i formułując na ich podstawie wnioski.

Szósty rozdział pracy doktorskiej stanowi podsumowanie przeprowadzonych badań i przedstawia najważniejsze wnioski. Zawarto w nim również propozycje dalszych analiz i badań, które pozwolą na pełne zastosowanie opracowanej metodologii w testowaniu różnorodnych systemów wbudowanych projektowanych przez firmę Dräxlmaier na potrzeby przemysłu motoryzacyjnego. Rozdział ten obejmuje także omówienie elementów pracy wykorzystywanych w projektach systemów wbudowanych realizowanych przez firmę Dräxlmaier oraz wskazanie kolejnych etapów wdrożenia opracowanych rozwiązań.

Ostatni rozdział stanowi przegląd literatury dotyczący tematyki pracy doktorskiej. Uważam, że przegląd ten w sposób wszechstronny i szczegółowy odzwierciedla aktualny stan wiedzy związany z obszarem badań poruszonym w rozprawie.

2. Ocena merytoryczna pracy

Praca doktorska Pani mgr inż. Anny Gnacy-Gajdzik dotyczy metod automatyzacji testów systemów wbudowanych w samochodach, umożliwiających skuteczną weryfikację wyników dzięki zastosowaniu algorytmów rozszerzonej inteligencji (ang. Augmented Intelligence). Tematyka ta jest bardzo istotna i aktualna, ponieważ nowoczesne systemy wbudowane stają się coraz bardziej złożone, a wymagania dotyczące ich niezawodności i bezpieczeństwa wciąż rosną – zwłaszcza w odniesieniu do elektrycznych i autonomicznych pojazdów, spełniających standard SAE J3016. W swojej pracy autorka proponuje podejście, które łączy modelowanie pojazdów z zaawansowanymi algorytmami sztucznej inteligencji do wykrywania anomalii,

zwracając szczególną uwagę na problem zmienności wyników testów (ang. flickering tests).

W opisie genezy pracy poprawnie zidentyfikowano problem badawczy, który dotyczył migotania rezultatów testów systemów wbudowanych, szczególnie w przemyśle motoryzacyjnym. Migotanie rezultatów testów, czyli niestabilność wyników uzyskiwanych w identycznych warunkach, prowadzi do zwiększonych kosztów, wydłużenia czasu testowania i obniżenia zaufania do wyników. W praktyce wymusza to wielokrotne powtarzanie testów, analizę logów oraz diagnozowanie przyczyn błędów, co znacząco opóźnia wprowadzanie nowych systemów wbudowanych na rynek. Jest to kluczowe wyzwanie technologiczne, które wpływa na proces testowania oprogramowania wbudowanego i wymaga skutecznego rozwiązania.

Cel badań został zdefiniowany jako opracowanie skutecznej metodyki tworzenia zautomatyzowanych testów systemów wbudowanych w pojazdach samochodowych, która pozwalałaby na skuteczną weryfikację poprawności wyników testów z wykorzystaniem algorytmów rozszerzonej inteligencji.

Aby zrealizować postawiony cel badań, Doktorantka opracowała szereg pytań badawczych takich jak:

- Jakie są kluczowe przyczyny migotania rezultatów testów systemów wbudowanych? Czy wynikają one z ograniczeń technicznych, zakłóceń środowiskowych, czy złożoności układów mechatronicznych?
- Jakie algorytmy rozszerzonej inteligencji oraz techniki testowe mogą być zastosowane do identyfikacji i eliminacji zjawiska migotania rezultatów? Jak można wykorzystać te narzędzia do zwiększenia stabilności i niezawodności procesu testowania?
- Jak można wykorzystać model numeryczny pojazdu samochodowego w procesie testowania systemów wbudowanych? Jakie są kluczowe aspekty integracji modelu numerycznego pojazdu z procesem testowym, aby poprawić dokładność symulacji i wyników testów?
- W jaki sposób model numeryczny pojazdu może wspierać proces uczenia maszynowego oraz algorytmy AI w testowaniu systemów wbudowanych? Jak wykorzystać dane z symulacji pojazdu do trenowania modeli AI, aby poprawić detekcję anomalii i zwiększyć niezawodność wyników?

- Jakie elementy powinna zawierać metodyka testowania, aby skutecznie wspierać zespół inżynierów w procesie identyfikacji i eliminacji migotania rezultatów testów? Jakie narzędzia automatyzacji, analizy danych i raportowania są niezbędne, aby tester mógł skutecznie monitorować i diagnozować przyczyny niestabilnych wyników testów?

Aby rozwiązać problem badawczy zaplanowano następujące zadania badawcze:

- Rozpoznanie zjawiska migotania rezultatów testów.
- Analiza możliwych przyczyn migotania testów.
- Zaprojektowanie stanowiska testowego, którego symulacyjny model pojazdu jest adaptowalną, modułarną częścią.
- Weryfikacja przydatności zaimplementowanego symulacyjnego modelu pojazdu do reprodukcji defektów klienta.
- Sprawdzenie wpływu zastosowania w środowisku testowym symulacyjnego modelu pojazdu na występowanie zjawiska migotania rezultatów testów.
- Opracowanie koncepcji i implementacja algorytmów rozszerzonej inteligencji w procesie weryfikacji wyników testów.
- Ocena skuteczności zaimplementowanych algorytmów w poprawnym wskazywaniu anomalii występujących w środowisku testowym.
- Opracowanie metodyki umożliwiającej integrację algorytmów rozszerzonej inteligencji w proces testowania oprogramowania wbudowanego.
- Ocena zaproponowanej metodyki.

Moim zdaniem cel zaprezentowany w rozprawie doktorskiej został zrealizowany, a problem badawczy pomyślnie rozwiązany.

Do głównych osiągnięć i zalet pracy doktorskiej zaliczyć można:

- trafny dobór tematyki badań, która jest bezpośrednią realizacją zapotrzebowania firm produkujących systemy wbudowane,
- zastosowanie symulacji numerycznych oraz systemów Hardware-in-the-Loop (HIL) wspartych metodami rozszerzonej inteligencji, co pozwoliło na opracowanie nowej metodyki testowania systemów wbudowanych w warunkach zbliżonych do rzeczywistych,

- interdyscyplinarne podejście do rozpatrywanego problemu uwzględniając szeroki zakres tematów z dziedziny inżynierii mechanicznej, obejmujących konstrukcję i użytkowanie pojazdów samochodowych, jak również wykorzystanie sztucznej inteligencji do automatyzacji testowania układów mechatronicznych,
- rozległe zastosowanie środowisk symulacyjnych, zwłaszcza metody HIL, umożliwia testowanie rzeczywistych komponentów systemów wbudowanych w zaawansowanym środowisku symulacyjnym, które odtwarza różnorodne warunki operacyjne pojazdu,
- przeprowadzenie wieloetapowych analiz, obejmujących ocenę wpływu parametrów środowiska testowego na wyniki testów oraz porównanie algorytmów opartych na modelach głębokich z warstwami LSTM i GRU, jak również znanych algorytmów detekcji anomalii, wykorzystujących różnorodne techniki sztucznej inteligencji,
- zaplanowanie i przeprowadzenie badań naukowych poprzez starannie zaprojektowane eksperymenty, właściwy dobór narzędzi badawczych oraz efektywne zastosowanie wyników w praktyce. Kluczowym elementem badań weryfikacyjnych było porównanie efektywności różnych algorytmów sztucznej inteligencji w rozwiązywaniu problemu zmienności wyników testów.

3. Uwagi redakcyjne

Pod względem redakcyjnym praca jest zredagowana z właściwą starannością, jednakże w treści rozdziałów można znaleźć drobne błędy edycyjne nie mające istotnego wpływu na merytoryczną ocenę pracy doktorskiej. Można wskazać kilka rysunków z nieczytelnymi opisami (bardzo mała czcionka).

4. Uwagi krytyczne

Stosowanie rozszerzonej inteligencji (AI) do zautomatyzowanych testów systemów wbudowanych ma wiele zalet, ale również wiąże się z pewnymi potencjalnymi wadami i wyzwaniami. W pracy doktorskiej nie wymieniono wad i zagrożeń związanych z zastosowaniem sztucznej inteligencji do zautomatyzowanych testów systemów

wbudowanych. W kontekście zastosowania metod sztucznej inteligencji do zautomatyzowanych testów systemów wbudowanych pojawiają się następujące pytania:

1. Czy i w jaki sposób identyfikowano potencjalne błędy w samych algorytmach weryfikacyjnych?
2. W jaki sposób zweryfikowano poprawność wyników testów w scenariuszach, które zawierały nowe przypadki, które nie były uwzględnione w zbiorze treningowym. Czy stosowane modele AI nie były nadmiernie dopasowane do wybranego, określonego zbioru danych testowych?
3. Czy stosowane modele AI wymagały znacznych zasobów obliczeniowych?
4. W jaki sposób sprawdzano, że dane treningowe są reprezentatywne i odpowiednio przygotowane?
5. W literaturze fachowej, autorzy często podkreślają, że modele oparte na sieciach neuronowych i algorytmach głębokiego uczenia cechują się brakiem pełnej przewidywalności i transparentności modeli. Bardzo trudno zrozumieć w jaki sposób doszły one do konkretnego wyniku, co utrudnia szczegółową analizę wyników testów. Jak z tym problemem poradziła sobie autorka dysertacji?

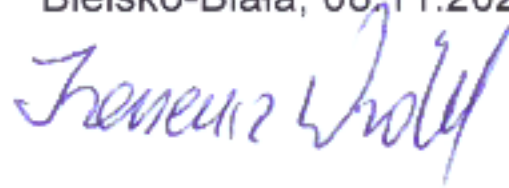
5. Wnioski końcowe

Rozprawa doktorska mgr inż. Anny Gnacy-Gajdzik koncentruje się na autorskiej metodologii opracowywania zautomatyzowanych testów systemów wbudowanych, uwzględniającej zastosowanie rozszerzonej inteligencji w procesie weryfikacji wyników testów. Doktorantka opracowała algorytmy, które łączą sztuczną inteligencję z ludzkim doświadczeniem, co umożliwia efektywne przetwarzanie dużych zbiorów danych pozyskiwanych z testów oraz wykorzystanie metod uczenia maszynowego. Kluczową rolę w procesie pełni człowiek, który nadzoruje cały przebieg testowania i ponosi odpowiedzialność za ostateczną ocenę, potwierdzającą zgodność systemu wbudowanego z wymaganiami oraz jego bezpieczeństwo dla życia i zdrowia ludzi.

Doktorantka trafnie zdefiniowała problem badawczy i zaproponowała jego oryginalne rozwiązanie. Stworzone w ramach pracy doktorskiej koncepcje i metody świadczą o jej wysokim poziomie przygotowania do prowadzenia samodzielnych badań naukowych.

Recenzowana dysertacja spełnia na bardzo dobrym poziomie ustawowe wymagania stawiane pracy doktorskiej w zakresie nauk technicznych. Biorąc pod uwagę wskazane powyżej konkluzje, wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Annę Gnacy-Gajdzik do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Bielsko-Biała, 08.11.2024

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Tomasz Wójcik', written in a cursive style.