RADA NAUKOWA DYSCYPLINY
INFORMATYKA TECHNICZNA I TELEKOMUNIKACJA POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

zaprasza na

PUBLICZNĄ OBRONĘ ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Kazimierza Krosmana.

która odbędzie się w dniu **7.10. 2022 roku,** o godzinie **14:15** w trybie zdalnym

Temat rozprawy:

„Ewaluacja systemów wbudowanych poprzez monitorowanie programowe”

Promotor: prof. dr hab. inż. Janusz Sosnowski – Politechnika Warszawska

Promotor pomocniczy: dr inż. Piotr Gawkowski – Politechnika Warszawska

Recenzenci: dr hab. inż. Roman Stanisław Deniziak, prof. uczelni – Politechnika Świętokrzyska

dr hab. inż. Bartosz Świderski, prof. uczelni – Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego

Obrona odbędzie się zdalnie na platformie MS Teams. Osoby zainteresowane uczestnictwem w obronie proszone są o zgłoszenie chęci uczestnictwa w formie elektronicznej na adres sekretarza komisji: dr hab. inż. Piotr Gawrysiak, prof. uczelni, – email: piotr.gawrysiak@pw.edu.pl do dnia 6.10.2022 godz. 18:00.

Z rozprawą doktorską i recenzjami można zapoznać się w Czytelni Biblioteki Głównej Politechniki Warszawskiej, Warszawa, Plac Politechniki 1.

Streszczenie rozprawy doktorskiej i recenzje są zamieszczone na stronie internetowej: https://bip.pw.edu.pl/Postepowania-w-sprawie-nadania-stopnia-naukowego/Doktoraty/Wszczete-do-30-kwietnia-2019-r/Dyscyplina-informatyka-techniczna-i-telekomunikacja-dziedzina-nauk-inzynieryjno-technicznych/mgr-inz.-Kazimierz-Krosman

Przewodniczący Rady Naukowej Dyscypliny
Informatyka Techniczna i Telekomunikacja
Politechniki Warszawskiej
dr hab. inż. Jarosław Arabas, prof. uczelni

Streszczenie

Praca poświęcona jest badaniom nad monitorowaniu programowym systemów komputerowych, w szczególności systemów wbudowanych. Rozpatrzono trzy perspektywy monitorowania dotyczące różnych źródeł informacji: i) przebieg wykonania instrukcji (tzw. ślad instrukcji), ii) wybrane sygnały chrakteryzujące pracę systemu, np. wydajność przetwarzania, zużycie energii (prezentowane jako szeregi czasowe), iii) logi programowe. Analiza literatury oraz doświadczenia praktyczne autora pozwoliły stwierdzić potrzebę rozwinięcia efektywnych algorytmów analizy danych uwzględniających specyfikę systemów wbudowanych między innymi: ograniczone zasoby sprzętowe, wymagania czasowe, związki oprogramowania ze sprzętem oraz typowe profile aktywności operacyjnej. Dla rozpatrywanych perspektyw monitorowania opracowano oryginalne modele agregowania danych i dostosowane do nich algorytmy analizy. W ramach pracy powstały trzy zbiory algorytmów wspomagających analizę poprawności pracy systemów oraz ich optymalizację.

Analiza śladów instrukcji ukierunkowana jest na detekcję anomalii i wykorzystuje algorytm DBSCAN wkomponowany w opracowany program. Podejście to zostało zweryfikowane w eksperymentach z urządzeniem monitorującym lokalizację obiektów mobilnych (samochodów ciężarowych). Ślad instrukcji był zbierany przy wykorzystaniu dodatkowego specjalizowanego urządzenia.

Najbardziej zaawansowana jest opracowana metoda analizy szeregów czasowych bazująca na oryginalnym modelu obiektowym. Pozwala ona zidentyfikować charakterystyczne obiekty (zbiory próbek) oraz relacje między nimi. Podział i grupowanie próbek wykorzystują zbiór metryk oparty o dane statystyczne fragmentów szeregu czasowego. Modyfikacje metryk oraz parametryzacja algorytmów umożliwiają dopasowanie ich charakterystyki do różnych typów szeregów czasowych jak i wybranych poziomów abstrakcji. Przedstawiono również metody ułatwiające dobór parametrów algorytmów. Dopełnieniem zaprezentowanego podejścia jest algorytm korelacji logów tekstowych z szeregiem czasowym. Umożliwia on lepszą interpretację obiektów wykrytych w ramach analizy szeregu czasowego. Algorytm identyfikuje zdarzenia z rekordów logów tekstowych i dopasowuje je do obiektów wykrytych podczas analizy szeregów czasowych lub zdarzeń zewnętrznych uzyskanych w inny sposób. Rozpatrzono tutaj również problem korelacji czasowej przy niezależnych zegarach monitora sygnałów oraz monitorowanego systemu. Podejście to zostało zweryfikowane w badaniach poboru prądu dwóch typów komercyjnych holterów.

Słowa kluczowe: monitorowanie programowe, szeregi czasowe, logi zdarzeniowe

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

Kielce, 12.09.2022

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

Tytuł rozprawy: Ewaluacja systemów wbudowanych poprzez monitorowanie programowe

Autor rozprawy: mgr inż. Kazimierz Krosman

Promotor rozprawy: Prof. dr hab. inż. Janusz Sosnowski

1. Cel, zakres, charakter i teza rozprawy

Rozprawa dotyczy problematyki monitorowania pracy systemów wbudowanych poprzez analizę danych zebranych w trakcie działania systemu. Rozpatrywane są trzy rodzaje informacji charakteryzujących przebieg wykonania oprogramowania budowanego: przebieg wykonywania instrukcji tzw. ślad instrukcji, przebieg wybranych sygnałów w postaci szeregów czasowych oraz logi programowe. Analiza tych danych umożliwia wykrywanie specyficznych sytuacji takich jak błędy wykonania, anomalie, nieefektywność działania systemu. Głównym celem pracy doktorskiej było opracowanie efektywnych metod analizy śladu programu, przebiegów sygnałów oraz logów programowych. Metody te zwiększą skuteczność monitorowania wykonywania oprogramowania wbudowanego pod kątem poprawności i wydajności. Cel pracy został sformułowany w postaci następującej tezy rozprawy:

„Analiza i monitorowanie pracy systemów wbudowanych wymaga stworzenia odpowiednich modeli dekompozycji, agregacji i korelacji danych z procesów monitorowania".

O ile istota tezy w kontekście przedstawionej motywacji i opisu celu pracy jest zrozumiała to jednak tak sformułowana teza wydaje się zbyt ogólna i powinna być doprecyzowana poprzez dodanie czynnika jakościowego w odniesieniu do oczekiwanych wyników analizy, wskazującego na uzyskanie lepszych wyników niż za pomocą istniejących metod. Takie stwierdzenie jest już podane w dalszej części opisującej cel pracy, gdzie jest mowa o tym, że stworzenie odpowiednich modeli jest niezbędne do tego aby analiza była efektywna, co można rozumieć jako dająca większe możliwości niż dostępne rozwiązania. Przy takim uzupełnieniu tezę można uznać za poprawną.

Cel pracy został jasno sformułowany. Autor przedstawił motywację do podjęcia tematyki badawczej, wskazując na słabe strony i braki istniejących metod analizy wyników monitorowania systemów wbudowanych, mających na celu optymalizację, wykrycie błędów i poprawę jakości oprogramowania wbudowanego. Na tej podstawie określił cel pracy jako opracowanie odpowiednich modeli reprezentacji danych uzyskanych w wyniku monitorowania pracy systemu wbudowanego oraz algorytmów analizy bazujących na tych modelach.

Praca ma charakter projektowo-doświadczalny. Autor zaproponował modele do reprezentacji danych z monitoringu przebiegu wykonywania programów wbudowanych. Następnie zaproponował metody analizy dedykowane do opracowanych modeli. Opracowane rozwiązania zostały zweryfikowane i zademonstrowane na przykładowych zestawach danych pozyskanych dla rzeczywistych systemów.

2. Analiza źródeł

Bibliografia obejmuje 95 pozycji w tym 6 publikacji naukowych własnego autorstwa lub współautorstwa. Zdecydowana większość pozycji bibliograficznych obejmuje publikacje z czasopism zagranicznych oraz materiałów konferencji międzynarodowych. Autor w większości korzystał z literatury wydanej w ostatnich latach, około 80% bibliografii obejmuje publikacje z ostatnich 10 lat, znacząca liczba źródeł pochodzi z ostatnich 3 lat. Zatem Autor korzystał z najnowszej literatury i wykaz źródeł jest aktualny. Tematyka wykorzystywanej literatury jest ściśle związana z tematyką pracy i dotyczy metod monitorowania, analizy i testowania a także metod wykrywania anomalii i analizy szeregów czasowych.

Przegląd literatury został przedstawiony w podrozdziale 1.1. Autor przedstawił kolejno znane z literatury różne podejścia do monitorowania pracy systemów wbudowanych na poziomie śledzenia przebiegu wykonywania instrukcji, monitorowania sygnałów oraz monitorowania zdarzeń. Następnie przedstawił przegląd metod analizy zebranych danych mającej na celu stworzenie modeli behawioralnych systemu. Znacząca część analizy źródeł poświęcona jest metodom analizy szeregów czasowych w tym z wykorzystaniem metod uczenia maszynowego. Metody te służą wykrywaniu właściwości periodycznych oraz trendów w zachowaniu się systemu. Inną grupą metod w tej grupie stanowią metody klasyfikacji szeregów czasowych. Przegląd literatury obejmuje również metody analizy poboru energii w systemach wbudowanych oraz analizy i korelacji logów zdarzeniowych.

Analiza źródeł stanowiła punkt wyjścia do sformułowania tezy rozprawy doktorskiej. Na podstawie swojego doświadczenia praktycznego Autor zidentyfikował potrzeby opracowania metod umożliwiających wykonanie efektywnej analizy danych pozyskiwanych w trakcie monitorowania pracy systemu wbudowanego. Przegląd literatury światowej potwierdził brak zadowalających rozwiązań w tym zakresie.

Analiza aktualnego stanu wiedzy wykonana przez Autora jest właściwa. Autor przeanalizował zarówno potrzeby wynikające z zastosowań w przemyśle jak i aktualne rozwiązania przedstawione w literaturze światowej, opierając się na najnowszych publikacjach związanych z tematyką pracy.

3. Metodyka badań

Przyjęta metodyka badań zakładała opracowanie 3 głównych algorytmów: algorytm analizy śladu instrukcji, algorytm analizy szeregu czasowego oraz algorytm korelacji logów tekstowych z szeregiem czasowym. Opracowanie tych algorytmów wymagało opracowania odpowiednich modeli danych, umożliwiających zastosowanie efektywnych metod przetwarzania. Następnie opracowane modele i metody zostały zweryfikowane na praktycznych przykładach. Takie podejście jest poprawne i właściwe z punktu widzenia celu pracy.

Autor formułując tezę rozprawy założył, że środkiem do uzyskania efektywnej metody monitorowania i analizy systemów wbudowanych będzie opracowanie odpowiednich modeli i metod dekompozycji, agregacji i korelacji danych pozyskanych w procesie monitorowania systemu. W ramach realizacji pracy doktorskiej Autor rozwiązał postawione zagadnienia poprzez opracowanie tych modeli i wykazanie skuteczności zaproponowanych metod. Tym samym potwierdził, że przyjęte założenia były słuszne.

Autor uzyskał zamierzony cel pracy, co stanowiło jednocześnie dowód tezy. Dla zaproponowanych modeli danych opracował odpowiednie algorytmy analizy. Wykonane analizy praktycznych przykładów potwierdziły skuteczność i przydatność opracowanych rozwiązań.

4. Oryginalność uzyskanych wyników

Najważniejsze oryginalne osiągnięcia autora przedstawione w pracy to:

1. Opracowanie modelu danych reprezentującego ślad wykonania programu oraz opracowanie algorytmu wykrywania anomalii bazującego na tym modelu.
2. Opracowanie hierarchicznego, obiektowego modelu danych reprezentujących szeregi czasowe oraz opracowanie algorytmu analizy szeregów czasowych operującego na zaproponowanym modelu danych.
3. Opracowanie modelu danych reprezentującego logi tekstowe oraz opracowanie algorytmu korelacji logów tekstowych z szeregiem czasowym.

Ważnym rezultatem pracy jest również implementacja opracowanych metod w postaci oryginalnych narzędzi wspomagających monitorowanie i analizę systemów wbudowanych.

W odniesieniu do aktualnego stanu wiedzy rozwiązania zaproponowane przez Autora są innowacyjne i stanowią samodzielny i oryginalny dorobek Autora. Wyniki prac zostały opublikowane w czasopismach zagranicznych i materiałach konferencji międzynarodowej.

5. Organizacja i redakcja rozprawy

Rozprawa składa się z 6 rozdziałów, bibliografii i dwóch dodatków. Rozdział pierwszy stanowi wprowadzenie do tematyki pracy i obejmuje motywację do podjęcia tematyki badań, przegląd literatury oraz sformułowanie tezy i celu pracy. W rozdziale 2 Autor przedstawił proponowane rozwiązania z zakresu analizy śladu instrukcji. Rozdział 3 zawiera opis opracowanej metodyki analizy szeregów czasowych. W rozdziale 4 opisano metodę korelacji

logów tekstowych z szeregiem czasowym. Rozdział 5 przedstawia opis badań eksperymentalnych. Rozdział 6 stanowi podsumowanie pracy. W dodatkach przedstawiono opisy opracowanych narzędzi. Taka organizacja pracy jest poprawna i stanowi logiczny układ treści.

Autor opisał omawiane zagadnienia w sposób zwięzły i zrozumiały. Praca jest starannie zredagowana, tekst pracy jest przejrzysty, chociaż niektóre rysunki nie są zbyt czytelne. Praca zawiera też nieliczne błędy redakcyjne i stylistyczne takie jak:

- str. 36: na rys 3 występuje anomalia nr 0, nie ma jej w Tab 3.
- str. 39: zamiast „urządzenia" jest „urządzenie",
- str. 44: czy pojęcie „pojedynczy stan bazowy" oznacza „jeden stan bazowy"?
  Pojęcia grupy i stanu są używane zamiennie, nie jest to poprawne.
- str. 67 „... są zdefiniowane są ...",
- str. 69: „ włączy on zegar", zamiast „liniami" jest „piniami", „bez kosztowe",
- str. 79: „mogą być obserwowany"
- str. 82: zamiast OI pojawia się skrót IO,
- str. 97: „czas logowani".

Czasem też autor niepotrzebnie opisuje szczegóły, które są powszechnie znane np. opis znaczenia standardowych notacji matematycznych (str. 82), czy opis notacji pseudokodu (p.3.1.2). Na poziomie rozprawy doktorskiej należałoby założyć, ze tak podstawowe konstrukcje są znane i nie wymagają wyjaśnień.

W pracy Autor wprowadza wiele formalnych pojęć oraz symboli. Jest to jak najbardziej poprawne, ponieważ pozwala w zwięzły i jednoznaczny sposób zdefiniować poszczególne pojęcia. Jednak definicje oznaczeń i pojęć są podawane w tekście, wydaje się, że praca byłaby bardziej czytelna, gdyby wyodrębniono z tekstu wprowadzane pojęcia w postaci numerowanych definicji formalnych. Przydatny byłby też wykaz oznaczeń i symboli używanych w pracy.

Pomimo ww. drobnych uwag rozprawę należy uznać za poprawnie zredagowaną i uważam, że Autor 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 sformułowania tezy pracy wydaje się, że niektóre zagadnienia powinny być dokładniej przedyskutowane lub szerzej opisane. Dotyczy to następujących problemów:

1. W rozdziałach 3 i 4 Autor najpierw wprowadził formalny model danych i formalne definicje stosowanych pojęć, co ułatwiło zrozumienie prezentowanych dalej algorytmów. Brakuje takiego podejścia w p. 2. W szczególności brakuje formalnych definicji kluczowych pojęć stosowanych w algorytmie takich jak: anomalia, ślad instrukcji, segment itp.
2. W przypadku algorytmu z p. 3 wykonano analizę złożoności obliczeniowej. Dlaczego takiej analizy nie wykonano w przypadku algorytmów z p. 2 oraz p. 4?

3. Część eksperymentalna dla algorytmu z p. 2 jest dosyć uboga. Ponieważ skuteczność algorytmu zależy od przyjętych parametrów, interesujące byłoby pokazanie zachowania się algorytmu w zależności od wartości tych parametrów.
4. Na str. 42 wprowadzona jest funkcja stanowiąca metrykę segmentu szeregu czasowego. Następnie tę samą funkcję stosuje się w odniesieniu do grupy segmentów. Jaka jest definicja metryki grupy segmentów?
5. Algorytm 3 został zilustrowany jedynie dla danych zebranych dla bliżej nieokreślonego urządzenia. Natomiast w 3.2 przedstawiono opis analizy szeregu czasowego poboru prądu dla praktycznego urządzenia Holter, jednak analiza ta nie wykorzystuje opracowanych metod. Jedynie w podsumowaniu Autor wskazał, że wykorzystanie opracowanej metody pozwoliłoby na zautomatyzowanie procesu optymalizacji energetycznej urządzenia. Powstaje zatem pytanie dlaczego w tym rozdziale autor nie zademonstrował tych możliwości przedstawionej metody dla przedstawionego, praktycznego problemu?
6. W pracy brakuje oceny uzyskanych wyników w odniesieniu do istniejących metod znanych z literatury. W analizie źródeł Autor przedstawił przegląd publikacji opisujących podejścia związane z tematyką pracy, natomiast w dalszej części pracy nie odniósł się tych rozwiązań, na przykład poprzez porównanie, wskazanie przewag, wad i zalet opracowanych rozwiązań w porównaniu z podobnymi metodami znanymi z literatury i/lub stosowanymi w praktyce.

Wyżej wymienione uwagi nie podważają poprawności metodologii badawczej i wartości uzyskanych wyników badań. Ale omówienie tych zagadnień przyczyniłoby się do lepszego zrozumienia, kompletności opisywanych zagadnień i podkreślenia praktycznego znaczenia opracowanych rozwiązań.

7. Znaczenie uzyskanych wyników

Praktycznym efektem pracy są opracowane narzędzia:

- *TraceAnalyzer* – program do agregacji i analizy śladu instrukcji,
- *StateEventAnalyzer* – program do detekcji sekwencji stanów i klas cykli oraz korelacji logów tekstowych.

Narzędzia te mogą mieć zastosowanie w praktyce inżynierskiej do monitorowania i analizy działania systemów wbudowanych. Co pozwoli na wykrywanie anomalii i błędów w tych systemach a także na optymalizację oprogramowania wbudowanego np. pod względem minimalizacji zużycia energii.

Opracowane rozwiązania mogą stanowić również punkt wyjścia do dalszych badań. Na bazie zaproponowanych modeli i metod mogą być opracowywane kolejne rozwiązania zwiększające możliwości analizy danych uzyskanych podczas monitorowania pracy systemów wbudowanych.

8. Ocena końcowa rozprawy

Podsumowując, uważam że rozprawa doktorska przedstawia oryginalne rozwiązanie zaprezentowanego w niej zagadnienia naukowego i projektowego. Autor podjął w niej problem, który ma istotne znaczenie w dziedzinie informatyki. Trafnie określił założenia dotyczące jego analizy i uzyskane wyniki potwierdził wykonanymi eksperymentami. Wykazał 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.

Dr hab. Bartosz Świderski,
Instytut Informatyki Technicznej
Katedra Sztucznej Inteligencji
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie,
Ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
bartosz_swiderski@sggw.edu.pl

Warszawa, 17.08.2022

Recenzja rozprawy doktorskiej mgra inż. Kazimierza Krosmana pt. „Ewaluacja systemów wbudowanych poprzez monitorowanie programowe”

promotor rozprawy:
prof. dr hab. inż. Janusz Sosnowski, Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych, Politechnika Warszawska

promotor pomocniczy:
dr inż. Piotr Gawkowski, Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych, Politechnika Warszawska

zlecona pismem z dnia 6 lipca 2022 r., PSP/zlecenie: 504/04291/1030/44000000 przez Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja PW, dr hab. Jarosława Arabasa, prof. PW

Wstęp

Tematyka recenzowanej rozprawy doktorskiej koncentruje się wokół automatyzacji monitorowania systemów komputerowych ze szczególnym uwzględnienie systemów wbudowanych. Jako wykorzystywane źródła informacji Autor rozważa:

a) ślad instrukcji (przebieg wykonania instrukcji jako zestaw adresów instrukcji)
b) zawartość logów programowych
c) inne sygnały towarzyszące wykonywaniu danego programu ujęte w szereg czasowy (np. zużycie energii)

Autorsko opracowane algorytmy dotyczą:

a) wykrywania anomalii
b) analizy szeregów czasowych poprzez model generujący graf przejść pomiędzy zidentyfikowanymi stanami wraz z łączącymi je relacjami

c) moduł korelacji logów tekstowych z szeregiem czasowym umożliwiającym poszerzoną analizę badanego programu.

Praca zawiera tezę: „Analiza i monitorowanie pracy systemów wbudowanych wymaga stworzenia odpowiednich modeli dekompozycji, agregacji i korelacji danych z procesów monitorowania” Przy czym w pracy dodatkowo wyróżniono następujące cele badawcze:

a) identyfikacja problemów testowania i weryfikacji systemów wbudowanych oraz ich powiązanie z różnymi perspektywami obserwacji (monitorowania).
b) analiza specyfiki monitorowanych danych oraz opracowanie obiektowych modeli ich reprezentacji.
c) opracowanie algorytmów eksploracji oraz korelacji danych bazujących na stworzonych modelach.
d) opracowanie narzędzi wspomagających tworzenie modeli i ich analizę.
e) weryfikacja opracowanej metodyki badań na przykładzie zrealizowanych systemów wbudowanych.

Przeprowadzone i opisane przez Autora badania są spójne z przyjętymi celami, potencjalnie mogą prowadzić do rozwoju użytecznych narzędzi automatycznego monitoringu oprogramowania (dotyczy to również systemów wbudowanych).

Charakterystyka zawartości pracy:

Praca składa się z sześciu rozdziałów oraz bibliografii wraz z załącznikami (opisami zastosowanych systemów agregacji i analizy śladu oraz detekcji stanów i korelacji logów). Całość liczy 169 stron, bibliografia zawiera 95 pozycji generalnie odpowiednio dobranych i poprawnie przytaczanych (trafnie przeprowadzona analiza źródeł).

Rozdział pierwszy zawiera wprowadzenie, przegląd literatury, omówienie struktury pracy. W rozdziale tym Autor także określa tezę oraz cele pracy.

Drugi dotyczy monitorowania przebiegu wykonywania programu poprzez analizę śladu instrukcji. W rozdziale tym Autor prezentuje autorski algorytm detekcji anomalii.

W rozdziale trzecim przedstawiono interesujące podejście do analizy szeregu czasowego towarzyszącego wykonywaniu programu (np. charakterystyk poboru energii). Opisywane podejście zdolne jest identyfikować stany systemu a także możliwe przejście pomiędzy nimi. Finalnym efektem jest graf opisujący zachowanie monitorowanego programu wraz ze zidentyfikowanymi stanami oraz możliwymi przejściami pomiędzy nimi.

Czwarty rozdział prezentuje algorytm „korelacji logów" czyli podejście umożliwiające przyporządkowanie logów do poszczególnych stanów, finalnie ułatwiając wychwycenie precyzyjniejszych opisów zdarzań.

Ocena rozprawy doktorskiej z uwzględnieniem wytycznych „Informacje i zalecenia dla recenzentów rozpraw doktorskich Politechnika Warszawska":

Recenzowana praca dotyczy zagadnienia automatycznego wspomagania monitoringu i diagnostyki monitorowania programowego systemów. Autor w pracy przedstawił trzy grupy (moduły) rozwiązań.

Pierwsza grupa odnosi się do identyfikacji anomalii. Warto to podkreślić, że zagadnienie to samo w sobie w tym przypadku jest dość trudne do uniwersalnego scharakteryzowania. Niemal dowolny, pozornie anomalny przebieg wykonywania instrukcji, może być w gruncie rzeczy zachowaniem zgodnym z celem programu. Pewnym przykładem może tu być ciąg symulacji, gdzie po przekroczeniu zadanego kwantylu zmiennej losowej wchodzimy w inny zestaw instrukcji. Z drugiej strony jednak intuicyjnie zrozumiała jest pragmatyczna potrzeba i celowość wykrywania anomalnego zachowania programu. Samo zaś wykrywanie anomalii jako problem posiada szerokie spektrum wypracowanych już rozwiązań i dość gruntowne podwaliny teoretyczne. Autor prezentuje w pracy, oryginalne rozwiązanie polegające na wykorzystaniu algorytmu DBSACN oraz autorsko dobranej metryki odległości (opartą o różnicę symetryczne zbiorów). W tym miejscu naturalnym wydaje się pytanie o zastosowanie „dedykowanych" metod wykrywania anomalii (niekoniecznie opartych o wspomnianą metrykę odległości) takich jak np.: One-Class SVM, Local

Outlier Factor, Isolation Forest, czy wreszcie metody wykorzystujące głębokie uczenie (np. wykorzystujące residua w autoencoderze). Podobnie sama metryka odległości w gruncie rzeczy działająca na histogramach przedstawia interesującą ideę porównania dwóch rozkładów. Jednak warto zaznaczyć, że istnieje tu także wiele metod badających odległość czy dywergencje pomiędzy rozkładami (przykładami mogą być: statystyka Kołmogorowa-Smirnowa, szereg miar entropijnych, czy wreszcie odległość Wassersteina - oparta o teorię transportu miary, miara ciesząca się ostatnio dość dużym zainteresowaniem stosowana np. przy niektórych sieciach głębokich w odniesieniu do wielowymiarowych rozkładów). Niewątpliwie porównanie wypracowanych przez Autora metod z niektórymi znanymi już rozwiązaniami uatrakcyjniłoby pracę.

Druga grupa wypracowanych rozwiązań dotyczy analizy szeregu czasowego towarzyszącemu wykonywaniu danego programu. Przykładam może tu być np. szereg czasowy charakteryzujący pobór energii w czasie. Opracowany algorytm umożliwia identyfikację odpowiednich (podyktowanych metryką) stanów w jakich znajduje się program wraz z digrafem przejść pomiędzy nimi. Szczególną rolę w algorytmie odgrywa stan bazowy (jako stan powracający), na podstawie którego identyfikowane są poszczególne cykle. W wyniku pracy algorytmu otrzymujemy pewnego rodzaju graf wiedzy opisujący behawioralny profil działania badanego programu. Może on posłużyć zarówno do badania zależności między zidentyfikowanymi stanami, wykrywania anomalii jak również do pewnych optymalizacji (np. zużycia energii). Wypracowanym rozwiązaniem nie jest zatem konkretny model szeregu czasowego (jakie występują np. na gruncie ekonometrii) a raczej hierarchiczny obiektowy model „zjawiska” charakteryzujący zmiany stanów w czasie z uwzględnieniem identyfikacji klas poszczególnych cykli. Jednym z kluczowych komponentów jest tutaj funkcja określająca podobieństwo pomiędzy segmentami/grupami. Autor podaje przykład takiej funkcji, pozostawiając jednak pewne pole również do rozbudowy czytelnikowi. I chociaż przytoczona funkcje może nie optymalna (np. porównywanie wartości skrajnych, porównanie całek oznaczonych pod sygnałami potencjalnie niewycentrowanymi, etc.) jednak pokazuje pewną ideę działającą w określonych warunkach. Ważną podkreślenia jest również możliwość zastosowania technik grafowych dla tak opisanego zjawiska (przebiegu wykonywania

programu), ze szczególnym uwzględnieniem narzędzi używanych w sieciach społecznościowych (w tym także wykrywania anomalii).

Trzeci moduł rozwiązań opisywanych w pracy dotyczy korelacji tekstowych logów ze zidentyfikowanym wcześniej (moduł 2) zdarzeniami. Moduł ten szczególnie przydatny jest w sytuacji niezsynchronizowania obu zegarów podsystemów (listy obiektów zdarzeń i systemu logowania). Idea tego rozwiązania polega na powiązaniu znaczników czasowych grup (sekwencji logów) logów tekstowych (zdarzeń) ze znacznikami czasowymi zidentyfikowanych wcześniej cykli. Podczas generacji poszczególnych grup logów Autor używa ważonej miary podobieństwa dla reprezentacji *bag of words* poszczególnych logów. Finalnie algorytm zwraca przesunięcie pomiędzy osiami czasowymi zdarzeń i logów oraz sekwencje przyporządkowanych do siebie zdarzeń z logami.

Warto również podkreślić „nieinwazyjność" proponowanych metod co jest niewątpliwą zaletą na tle szerzej stosowanych/publikowanych metod (np. w stosunku do metod wykorzystujących wstrzykiwanie znaczników przy synchronizacji logów).

Jako oryginalny dorobek Autora rozprawy oraz główny wkład w rozwój dyscypliny naukowej wymienić można:

1. Opracowanie algorytmu detekcji anomalii na podstawie analizy śladu instrukcji wraz z implementacją algorytmu w systemie *TraceAnalyzer* i weryfikacją na przykładzie wybranego systemu wbudowanego (lokalizacja samochodów ciężarowych).

2. Opracowanie hierarchiczno-obiektowego algorytmu analizy szeregu czasowego wraz z reprezentacją w postaci grafu skierowanego dla zidentyfikowanych stanów istotnych przejść pomiędzy nimi. Implementacja algorytmy w systemie *StateEventAnalyzer* i jego weryfikacja na przykładzie holtera EKG.

3. Opracowanie algorytmu korelacji logów tekstowych z szeregiem czasowym i jego implementacja w systemie *StateEventAnalyzer* (rozszerzenie) i jego weryfikacja na przykładzie holtera EKG.

Dodatkowo bibliografia przytacza sześć publikacji Autora, z których cztery [1-4] są ściśle powiązane z rozważaniami zawartymi w pracy doktorskiej a dwie wcześniejsze [5,6] dotyczą innych perspektyw monitowania systemów zorientowanych na aspekty wydajnościowe i niezawodnościowe.

1. K. Krosman and J. Sosnowski, "Correlating Time Series Signals and Event Logs in Embedded Systems," *Sensors,* vol. 21, p. 7128, 1 2021.
2. K. Krosman, J. Sosnowski and P. Gawkowski, "Object oriented time series exploration: Applied to power consumption analysis of embedded systems," *Expert Systems with Applications,* vol. 184, p. 115531, 12 2021.
3. K. Krosman, „Instruction trace analysis and enhanced debugging in embedded systems," w *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018*, 2018.
4. K. Krosman i J. Sosnowski, „ESD problems in embedded systems," w *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2019*, 2019.
5. K. Krosman i J. Sosnowski, „Fault tolerance techniques for embedded telemetry system: case study," w *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2016*, 2016.
6. K. Krosman i J. Sosnowski, „Exploring disk performance benchmarks," w *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017*, 2017.

Dwie z powyższych prac posiadają Impact Factor oraz wysoką punktację ministerialną (Expert Systems with Applications – IF = 5.43, 140 pkt, Sensors – IF = 3.64, 100 pkt). Ponadto warte jest również podkreślenia ponad 12-letnie doświadczenie zawodowe Autora skupiające się głównie wokół otoczenia opisywanego obszaru. To pozwoliło mu zweryfikować opracowaną metodykę monitorowania na danych z rzeczywistych systemów wbudowanych (holtery EKG), opracowane narzędzia wykorzystał do optymalizacji tych urządzeń w swojej pracy zawodowej.

Co do samej pracy - niestety jest ona napisana w nieco chaotyczny sposób. Niekiedy dają znać o sobie występujące literówki (przykładowo str. 5 ‘chraktezujące’,

str 14 ‘wpisującego się’ – brak „w”, etc.). Ponadto niekiedy struktura pracy wydaje się nie do końca optymalna np. rozdział opisujący pseudokod powinien raczej znaleźć się przed pierwszym pseudokodem (czyli przed rozdziałem 2).

Zdarzają się również niedoskonałości w opisach merytorycznych np. str 27 – na schemacie blokowym (po START) powinno być „Agregacja N” (duże N). Zaś w samym schemacie blokowym: linia 5 – parametr S powinien być opisany (segment). Linia 7 zamiast “foreach (segment in streams)” powinno być: “foreach (segment in segments) do”. Dalej str 29 – widnieje odesłanie do nieistniejącego wzoru 2.14 (powinno być 2.7). Wreszcie sam dowód nierówności trójkąta (dalej strona 29) mógłby być przeprowadzony w sposób bardziej elegancji (nie zaczynając od tezy). Podobnie w algorytmie *add_to_similar_state* na str. 52 warto by rozważyć jawnie przypadek podobieństwa danej grupy do kilku segmentów. Innym przykładem, gdzie pożądany wydałby się szerszy opis jest rysunek 10, str. 65 (scalanie stanów wobec braku scalania na poprzednim rysunku 9). Dużą część wątpliwości recenzent wyjaśnił bezpośrednio komunikując się z Autorem.

Na koniec uwaga ogólna. W pracy przetestowano skuteczność oryginalnie wypracowanych narzędzi na przykładzie wybranych problemów. Warto by było jednak pokusić się o przeprowadzenie szerszych eksperymentów. Najlepiej odwołujących się do opublikowanych benchmarków lub do badań symulacyjnych (ze znaną odpowiedzią / Ground Truth). Wówczas łatwiej jest zawrzeć syntetyczne podsumowania prezentowanych algorytmów (przykładowo dla wykrywania anomalii miary oparte na macierzy konfuzji, AUC, etc.), dając przy tym również odniesienia dla kolejnych badaczy. Możliwe byłoby przy tym przeprowadzenie eksperymentów w trybie „testowania” tzn. po wcześniejszych ustaleniu hiperparametrów (na innych danych „uczących”) dla danej klasy zagadnienia.

Powyższe krytyczne uwagi nie wpływają jednak znacząco na ocenę pracy. Wyraźna część z nich dotyczy warstwy redakcyjnej pracy. Odnosząc się zaś do poczynionych wcześniej uwag dotyczących możliwości przebadania alternatywnych metod, należy nadmienić, że uwagi te mają w dużej mierze charakter formalny. Nie umniejszają one istotnie osiągnięciom zawartym w pracy. Wskazując w pewnym

sensie na samodzielne podejście Autora „od idei” a nie „od narzędzia” do „celu”. Autor rozwiązał postawione zagadnienia/cele, używając do tego generalnie odpowiednich metod, opierając się na pragmatycznych założeniach. Przedstawione rezultaty przemawiają za potencjalną przydatnością opisywanych metod w zagadnieniach automatycznego monitoringu / diagnostyki programów ze szczególnym uwzględnieniem systemów wbudowanych.

Finalnie, konkludując, stwierdzam, że recenzowana praca spełnia wymagania stawiane przez „art. 179 ust.2 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 roku Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z dnia 30 sierpnia 2018 r., poz. 1669) w związku art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r. nr 65, poz. 595 z późn. zm.) oraz Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 roku w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich, postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora” na stopień doktora i wnoszę i jej dopuszczenie do publicznej obrony. Ponadto z uwagi na oryginalność pracy oraz dorobek Autora sugeruję rozważyć wyróżnienie rozprawy.

Z poważaniem

Bartosz Świderski