

prof. dr hab. inż. Dariusz Kania
Politechnika Śląska
Katedra Systemów Cyfrowych
ul. Akademicka 16
44-100 Gliwice

Gliwice, 5.05.2023

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Marcina Wojnakowskiego dla
Rady Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja
Uniwersytetu Zielonogórskiego**

(podstawą opracowania recenzji jest uchwała Senatu Uniwersytetu Zielonogórskiego z dnia 29.03.2023)

Tytuł rozprawy: Analysis of Boundedness and Safeness in a Petri Net-Based Specification
of Concurrent Control Systems

Autor rozprawy: mgr inż. Marcin Wojnakowski

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Remigiusz Wiśniewski, prof. UZ

Dyscyplina: informatyka techniczna i telekomunikacja

Zagadnienia naukowe rozprawy (cel i teza pracy)

Rozwój systemów cyfrowych pociąga za sobą nieustanne poszukiwania nowych form opisu projektowanych układów. Forma opisu projektu stanowi jeden z najważniejszych elementów komputerowej syntezy systemów cyfrowych. Oprócz tego, że powinna być „przyjazna” dla projektanta, powinna ułatwiać analizę formalną opisywanego układu, a ponadto zapewniać względną prostotę odwzorowania technologicznego projektowanego układu we współczesnych programowalnych systemach na chipie. Jednym z istotnych problemów syntezy jest modelowanie równoległości stwarzającej możliwość współbieżnej realizacji systemów sterowania. Poszukując efektywnej metody opisu warto dostrzegać również problemy optymalizacji projektowanych systemów, poczynając od spełnienia czasowych uwarunkowań realizacji zadań sterowania, a kończąc na efektywnym użyciu zasobów sprzętowych, oferowanych przez niezwykle wyrafinowane techniki dynamicznej rekonfiguracji programowalnych elementów.

Praca doktorska mgr. inż. Marcina Wojnakowskiego wpisuje się w aktualny nurt poszukiwań efektywnych sposobów opisu współbieżnych systemów sterowania. Opis realizowany jest w postaci sieci Petriego, co stwarza możliwość algorytmicznej weryfikacji formalnej opisywanych systemów. Tego typu podejście stanowi ciekawą propozycję formy opisu, gdyż wykorzystując potencjał sieci Petriego w zakresie modelowania współbieżnych systemów sterowania, stwarza możliwość formalnej weryfikacji poprawności ich działania.

Zarówno cel, jak i teza pracy zostały precyzyjnie sformułowane. Drobną wątpliwość budzi pojęcie bezpieczeństwa (ang. safeness) powiązane z systemami sterowania, co zostanie rozwinięte w dalszej części recenzji. Rozprawa ma charakter teoretyczno-eksperymentalny, przy czym opracowane algorytmy analizy sieci Petriego stanowią podstawę do ich praktycznego wykorzystania w procesie systemy systemów sterowania.

Uwzględniając powyższe uważam, że **temat recenzowanej rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Marcina Wojnakowskiego jest interesujący, aktualny i bardzo ważny technicznie.** Stopień złożoności, znaczenie naukowe i zakres zadania odpowiadają ustawowym i zwyczajowym wymogom stawianym rozprawie doktorskiej.

Ocena merytoryczna rozprawy

Rozprawa stanowi dobrze skomponowaną całość, w której zawarto podstawy teoretyczne, odniesienie do aktualnego stanu wiedzy, ciekawe nowatorskie propozycje algorytmów analizy sieci Petriego, przykłady zastosowań praktycznych oraz wyniki licznych eksperymentów przeprowadzonych na różnorodnych sieciach Petriego.

W rozdziale pierwszym, stanowiącym wprowadzenie do rozprawy, przedstawiono motywację do podjęcia badań oraz tezę i podstawowe cele pracy. Syntetyczne ujęcie podstawowych pojęć z zakresu sieci Petriego zawarto w rozdziale drugim. Uwagę skoncentrowano na pojęciach związanych z problemem ograniczoności oraz bezpieczeństwa sieci Petriego. Rozdział trzeci zawiera krytyczne spojrzenie na znane z literatury metody analizy sieci Petriego, ukierunkowane na istotę problemów rozwiązywanych w rozprawie doktorskiej. Przegląd materiałów źródłowych uważam za wyczerpujący, a sposób przedstawienia problemów i odniesień do literatury za bardzo trafny, a dodatkowo świadczący o głębokiej wiedzy w obszarze tematyki doktoratu. Opracowane algorytmy, stanowiące nowatorskie podejście do analizy formalnej systemów sterowania opisanych sieciami Petriego przedstawiono w rozdziale czwartym. Uwagę zwrócono na podstawowe założenia sprawiające, że proponowane rozwiązania są obliczeniowo atrakcyjne, co stwarza możliwość ich praktycznego wykorzystania w procesie weryfikacji specyfikowanych systemów.

Wyniki eksperymentów omówiono w dwóch rozdziałach, piątym i szóstym. Najpierw przedstawiono wyniki eksperymentów przeprowadzonych na opisach systemów zawartych w bazie Hippo, zawierającej liczne sieci Petriego, a później na przykładzie specyfikacji systemu sterowania przykładowej linii produkcyjnej. Mimo, iż osobiście zmieniałbym kolejność

rozdziałów piątego i szóstego, sposób przeprowadzenia eksperymentów uważam za wzorcowy. Zdaję sobie sprawę, że baza Hippo nie jest indywidualnym osiągnięciem Doktoranta, ale z całą pewnością jej wykorzystanie w badaniach eksperymentalnych stanowi bardzo wartościowy element pracy. Pracę kończy podsumowanie, w którym przedstawiono możliwe kierunki dalszych prac oraz ograniczenia zaproponowanych algorytmów.

Całość pracy uzupełnia obszerny wykaz literatury oraz dodatek, w którym zawarto szczegółowe informacje dotyczące przeprowadzonych eksperymentów, pogrupowanych w tabelach zgodnie z numeracją opracowanych algorytmów.

Biorąc pod uwagę przedstawiony w pracy materiał pragnę podkreślić, że zastosowane metody badawcze uważam za właściwe, dobór materiałów źródłowych obejmujących 176 pozycji za wyczerpujący, a wyniki przeprowadzonych eksperymentów za przekonujące.

Opracowane algorytmy pozwalające na formalną weryfikację projektowanych współbieżnych systemów sterowania opisanych za pomocą sieci Petriego uważam za ciekawą propozycję poszukiwania poprawy efektywności metod syntezy.

Za najważniejsze, oryginalne elementy rozprawy uważam:

- zaproponowanie oryginalnych metod weryfikacji formalnej systemów sterowania opisanych za pomocą sieci Petriego, w których kluczową rolę odgrywają algorytmy analizy sieci wykorzystujące grafy osiągalności, niezmienniki oraz składowe automaty,
- opracowanie oryginalnego algorytmu analizy sieci Petriego wykorzystującego macierz schodkową zredukowaną,
- zaproponowanie wielostopniowej strategii analizy sieci Petriego, w której sekwencja postępowania wynika ze specyfiki opracowanych algorytmów,
- przeprowadzenie licznych eksperymentów, potwierdzających wartość opracowanych algorytmów.

Podsumowując ten fragment recenzji stwierdzam, że **cel pracy został osiągnięty. Wyniki eksperymentów potwierdzają słuszność postawionej tezy i pozwalają stwierdzić, że została ona udowodniona.**

Praca jest napisana bardzo starannie, co sprawia, że w części dotyczącej krytycznych uwag szczegółowych, uwagę skoncentruję na nurtujących mnie pytaniach i drobnych wątpliwościach. Licząc na rozwianie moich wątpliwości, zakładam, że staną się one zaczątkiem naukowej dyskusji przeprowadzonej podczas obrony.

Wątpliwości, pytania

1. W tytule, jak i tezie pracy pojawia się pojęcie bezpieczeństwa powiązane z sieciami Petriego oraz współbieżnymi systemami sterowania. Nasuwa się wątpliwość jak należy rozumieć bezpieczeństwo w odniesieniu do systemów sterowania. Jak można potwierdzić, że projektowany system sterowania jest bezpieczny? Czy w ogóle takie potwierdzenie jest możliwe?
2. Nie ulega wątpliwości, że sieci Petriego są bardzo wygodnym sposobem modelowania współbieżnych systemów sterowania. Niestety nie należą do popularnych metod opisu, co sprawia, że trudno je wykorzystywać praktycznie. Zapewne istnieje możliwość konwersji sieci Petriego na inne formy opisu, wygodne w implementacji np. w sterownikach przemysłowych. Nasuwa się więc pytanie, czy dałoby się wykorzystać opracowane koncepcje weryfikacji formalnej w procesie syntezy systemów sterowania specyfikowanych innymi metodami dostępnymi w systemach programowania sterowników przemysłowych (LAD, FDB itd.).
3. Wyniki eksperymentów wskazują, że proponowane algorytmy pozwoliły na wykrycie pewnych niedoskonałości w opisie systemów sterowania zawartych w bazie Hippo. Czy w tej sytuacji wskazana byłaby modyfikacja zawartych tam sieci, czy być może warto pozostawić je bez zmian, co pozwoli w przyszłości na weryfikację poprawności działania innych metod analizy sieci?
4. Bardzo doceniam sposób potwierdzenia skuteczności opracowanych algorytmów w procesie badań eksperymentalnych. Zastanawiam się jednak, czy można w jakiś sposób uzasadnić dobór czasu, który uważa się za akceptowalny do przeprowadzenia analizy sieci.

Ocena końcowa rozprawy

Uważam, że przedstawione w rozprawie doktorskiej wyniki wnoszą istotny wkład w rozwój dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Marcina Wojnakowskiego spełnia wymagania stawiane w "Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki", zatem **wnoszę o dopuszczenie rozprawy doktorskiej do publicznej obrony.**

