

dr hab. Bożena Woźna-Szcześniak, prof. UJD
Uniwersytet Jana Długosza w Częstochowie
ul. Waszyngtona 4/8, 42-200 Częstochowa

RECENZJA

rozprawy doktorskiej

Tytuł rozprawy: Dekompozycja współbieżnych systemów sterowania opisanych sieciami Petriego

Autor rozprawy: mgr inż. Łukasz Stefanowicz

Recenzja wykonana jest na zlecenie Rady Dyscypliny Informatyki Technicznej i Telekomunikacji, Uniwersytetu Zielonogórskiego, pismo z dnia 2 maja 2023r.

Recenzowana rozprawa doktorska napisana została pod kierunkiem promotora dr hab. inż. Andrzeja Karatkiewicza, prof. AGH (Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej, AGH) oraz promotora pomocniczego dr hab. inż. Remigiusza Wiśniewskiego, prof. UZ (Instytut Sterowania i Systemów Informatycznych, UZ). Praca lokuje się w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.

1. *Cel, zakres i charakter rozprawy.*

Rozprawa doktorska mgra inż. Łukasza Stefanowicza skupia się na problematyce związanej z systemami współbieżnego sterowania w dziedzinie techniki cyfrowej. Rozwój tej dziedziny w ostatnich latach prowadzi do wzrostu rozmiaru i złożoności systemów, co wymaga nowych narzędzi i metod ich projektowania. Istotnym zagadnieniem staje się dekompozycja systemu sterowania, która umożliwia podzielenie go na mniejsze, niezależne automaty sekwencyjne. Obecnie stosowane metody dekompozycji opierają się na algebrze liniowej i teorii grafów, jednak ze względu na rosnący rozmiar układów, czas ich rozwiązywania staje się nieakceptowalnie długi. W związku z tym konieczne jest opracowanie przybliżonych, wielomianowych metod, które dostarczą akceptowalne rezultaty w krótszym czasie. Rozwój tej dziedziny nie wskazuje jednoznacznie na dominującą tendencję, ale obserwuje się podejście polegające zarówno na optymalizacji istniejących algorytmów, jak i na opracowaniu nowych technik, które umożliwią osiągnięcie wyników w założonym czasie i z odpowiednią dokładnością.

W ramach rozprawy skoncentrowano się na systemach współbieżnego sterowania i analizie wybranych metod wspomagających projektowanie układów cyfrowych. Autor opracował nowe algorytmy oparte na teorii hipergrafów oraz wykorzystujące sieci Petriego, które zoptymalizowały proces dekompozycji systemów logicznych z uwzględnieniem procesu selekcji komponentów. Nowe metody zapewniają efektywne i skuteczne rozwiązanie problemów dekompozycji i selekcji, gdzie efektywność odnosi się do czasu poszukiwania rozwiązania, a skuteczność dotyczy generowania optymalnych wyników poprzez minimalizację liczby składowych systemu.

W celu weryfikacji opracowanych metod przeprowadzono badania eksperymentalne, wykorzystując rozbudowaną bibliotekę Hippo. Autor jest również współtwórcą internetowego systemu

Hippo, który udostępnia funkcjonalności wspomagające dekompozycję układów logicznych. Badania eksperymentalne mają na celu potwierdzenie skuteczności i efektywności opracowanych metod.

Formalna teza rozprawy została starannie i precyzyjnie określona przez Autora. Cytując Autora, brzmi ona w następujący sposób:

„Dekompozycja współbieżnych systemów sterowania opisanych sieciami Petriego może zostać w sprawny i skuteczny sposób zrealizowana z zastosowaniem metod algebry liniowej oraz teorii hipergrafów.”

Autor w celu uszczegółowienia tezy głównej, sformułował następujące dwie tezy pomocnicze:

- podział współbieżnej sieci Petriego na podsieci typu automatowego może zostać zrealizowany z zastosowaniem algebry liniowej (metoda wyznaczania inwariantów),
- selekcja uzyskanych podsieci automatowych w wybranych przypadkach może zostać zrealizowana z zastosowaniem hipergrafu transwersal dokładnych (xt-hipergraf).

Również formalny cel rozprawy został wyraźnie i precyzyjnie sformułowany przez Autora. Konkretnie, głównym celem niniejszej rozprawy jest opracowanie oraz algorytmizacja metod dekompozycji sieci Petriego na podsieci typu automatowego wraz z ich późniejszą selekcją.

Aby osiągnąć postawiony cel, Autor sformułował następujące zadania:

- opracowanie algorytmów, które w sprawny i skuteczny sposób pozwolą na dekompozycję sieci Petriego, a także selekcję podsieci automatowych,
- algorytmizacja i implementacja zadania dekompozycji współbieżnych systemów sterowania opisanych sieciami Petriego,
- realizacja bibliotek w ramach systemu komputerowego wspomagającego procesy dekompozycji oraz selekcji.

Oceniana rozprawa ma naturę badawczą, która obejmuje zarówno analizę istniejących metod i technik, jak i opracowanie nowych algorytmów. Z jednej strony, autor odwołuje się do istniejących metod dekompozycji opartych na algebrze liniowej i teorii grafów, co sugeruje analizę istniejącego stanu wiedzy. Jednakże, z drugiej strony, autor proponuje nowe metody wykorzystujące teorię hipergrafów i sieci Petriego, co wskazuje na aspekt twórczy i opracowanie nowych rozwiązań. Ponadto, rozprawa ma wyraźny charakter aplikacyjny, ponieważ skupia się na problemach związanych z projektowaniem układów cyfrowych i systemów współbieżnego sterowania. Autor dąży do opracowania metod, które pozwolą na efektywne i skuteczne rozwiązanie tych problemów w praktyce. Podsumowując, rozprawa doktorska ma zarówno charakter analityczny, poprzez analizę istniejących metod, jak i aplikacyjny, poprzez opracowanie nowych rozwiązań i ich zastosowanie w praktyce.

2. *Struktura i zawartość rozprawy.* Opiniowana rozprawa doktorska została napisana w języku polskim i składa się z wprowadzenia, pięciu rozdziałów, podsumowania oraz pięciu dodatków. Praca zawiera stronę tytułową w języku polskim, stronę ze słowami kluczowymi w języku polskim i angielskim, spis treści, spis rysunków, spis tablic oraz bibliografię. Łączna liczba stron pracy wynosi 138. Bibliografia obejmuje 112 pozycji, w tym książki, artykuły w czasopismach naukowych, recenzowane materiały konferencyjne, a także raporty techniczne i inne rozprawy doktorskie. Treść poszczególnych rozdziałów dostarcza syntetycznego przeglądu przedstawionych w nich treści merytorycznych. W szczególności:

- Rozdział 1 wprowadza czytelnika do rozprawy, prezentując następujące elementy kluczowe:
 - aktualny stan wiedzy na temat rozważanego problemu badawczego oraz motywację do jego podjęcia;

- główną tezę rozprawy, cel, który Autor zamierza osiągnąć w ramach swoich badań, oraz konkretne zadania, które będą realizowane w celu udowodnienia sformułowanej tezy;
 - strukturę rozprawy – ten fragment rozdziału informuje czytelnika o kolejnych rozdziałach i ich zawartości, co pozwala na lepsze zrozumienie ogólnego układu pracy.
- Rozdział 2 koncentruje się na przedstawieniu czytelnikowi niezbędnych informacji dotyczących podstawowych pojęć związanych z sieciami Petriego, grafami, hipergrafami oraz złożonością obliczeniową. W szczególności, w ramach tego rozdziału omówione zostały kluczowe definicje oraz istotne terminy i pojęcia związane z sieciami Petriego, które są niezbędne do pełnego zrozumienia rozprawy. Przedstawiono właściwości sieci Petriego, włączając w to różne aspekty ich funkcjonowania. Omówiono interpretowane sieci Petriego, które rozszerzają klasyczne sieci Petriego o mechanizm, który obejmuje informacje wejściowe i wyjściowe. Zdefiniowano grafy i hipergrafy. Wprowadzono ponadto stosowaną w rozprawie terminologię i definicje związane z analizą złożoności obliczeniowej.
 - Rozdział 3 zawiera szczegółowy opis kluczowych algorytmów, które mają istotne znaczenie z perspektywy ocenianej rozprawy. Na samym początku przedstawiony jest klasyczny algorytm wyznaczania niezmienników miejsc w sieci Petriego, który odgrywa kluczową rolę w proponowanym algorytmie dekompozycji (Rozdział 3.1). Następnie omówiono XTREC, algorytm służący do określania przynależności danego hipergrafu do klasy xt , czyli czy jest hipergrafem transwersal dokładnych (Rozdział 3.2). Ten algorytm jest istotny dla oceny, czy dana ścieżka dekompozycji umożliwia uzyskanie rozwiązania dokładnego w czasie wielomianowym. W dalszej części rozdziału przedstawiono algorytmy wyznaczające pokrycie wierzchołkowe w grafie: algorytm z nawrotami (Rozdział 3.3) oraz algorytm zachłanny (Rozdział 3.4). Autor rozprawy wykorzystał szybki algorytm redukcji (Rozdział 3.5), aby zwiększyć szanse na uzyskanie hipergrafu klasy xt . Ponadto, zaproponowane podejście opiera się na znalezieniu dokładnej transwersali, co umożliwia zastosowanie algorytmu X (Rozdział 3.6). W końcowej części rozdziału krótko przedstawiono istniejące metody dekompozycji sieci Petriego, wyróżniając metody oparte na grafach, hipergrafach oraz inwariantach.
 - Rozdział 4 poświęcony jest proponowanym metodom dekompozycji współbieżnych systemów sterowania oraz metodom selekcji podsieci automatowych. W szczególności, w Rozdziale 4.1 zaproponowano dwie autorskie metody dekompozycji oparte na niezmiennikach miejsc oraz hipergrafach. Dekompozycja umożliwia podzielenie współbieżnego systemu sterowania na mniejsze elementy składowe, które mogą być wykonywane równolegle. Proponowane metody dekompozycji zostały zilustrowane na przykładzie. Rozdział 4.2 skupia się na metodach selekcji podsieci automatowych opartych na hipergrafach transwersal dokładnych. Wprowadzono sformułowanie problemu, a następnie opisano ideę dwóch proponowanych metod (Metoda 1 i Metoda 2). Przykład zastosowania jednej z tych metod na hipergrafie należącym do klasy xt został również przedstawiony. W rozdziale 4.3 przedstawiono przykład praktycznego zastosowania opracowanych metod. Szczegółowo opisano, w jaki sposób metody zostały zastosowane i jakie wyniki udało się osiągnąć.
 - Rozdział 5 koncentruje się na eksperymentalnej weryfikacji zaproponowanych metod. Na początku przedstawiona zostaje biblioteka modułów testowych (Rozdział 5.1), która została opracowana w ramach systemu Hippo, rozwijanego również przez autora rozprawy. Opis obejmuje format PNH oraz różne typy benchmarków. Następnie omówione zostają elementy biblioteki Hippo zaproponowane przez autora (Rozdział 5.2), które obejmują klasę "xtrec" zawierającą implementację algorytmu "xtrec" odpowiedzialnego za klasyfikację hipergrafów transwersal dokładnych, konwerter plików XML do formatu PNH oraz zmodyfikowaną metodę Martinez-Silvy. Kolejny punkt dotyczy systemu internetowego Hippo (Rozdział 5.3). Rozdział 5.4 prezentuje opis przeprowadzonych badań eksperymentalnych, które skupiają się na dwóch głównych obszarach: dekompozycji z wykorzystaniem niezmienników miejsc i hipergrafów (Rozdział 5.4.1) oraz selekcji podsieci automatowych sieci Petriego (Rozdział 5.4.2). W celu przeprowadzenia tych badań, wykorzystano sieci Petriego z biblioteki testowej Hippo. Konfiguracja testowa obejmowała maszynę opartą o procesor Intel Core i5-6600

3.3 GHz, 8 GB RAM i dysk SSD 250 GB, działającą pod kontrolą systemu Windows 10 Pro 22H2. W Rozdziale 5.5 przedstawiono podsumowanie wyników badań. Wyniki eksperymentalnej weryfikacji mają istotne znaczenie z perspektywy oceny zaproponowanych metod i stanowią ważne podstawy do wyciągnięcia wniosków dotyczących ocenianej rozprawy.

- Rozdział 6 stanowi podsumowanie rozprawy oraz prezentuje wnioski płynące z przeprowadzonych badań. W Rozdziale 6.1 dokonano podsumowania wyników, które jednoznacznie potwierdzają tezę postawioną we wstępie rozprawy. Rozdział 6.2 koncentruje się na wyliczeniu elementów nowatorskich zawartych w ocenianej rozprawie. Wskazuje się na innowacyjne metody, hipotezy badawcze oraz narzędzia, które stanowią oryginalny wkład w dziedzinę badań. W Rozdziale 6.3 omawiane są ograniczenia zaproponowanych metod oraz wskazywane są kierunki dalszych prac. Zidentyfikowane są potencjalne obszary rozwoju, możliwe ulepszenia lub rozszerzenia zaproponowanych metod. Przedstawione są także ewentualne ograniczenia i ich wpływ na stosowalność proponowanych rozwiązań. Rozdział 6.4 skupia się na osiągnięciach naukowych, które zostały uzyskane w trakcie realizacji rozprawy doktorskiej. Przedstawione są wyniki w postaci publikacji oraz zrealizowane projekty, które wzbogaciły wiedzę w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja. Podsumowanie rozprawy oraz wnioski zawarte w Rozdziale 6 stanowią syntezę dotychczasowych badań i wkład autora w dyscyplinę informatyka techniczna i telekomunikacja. Przedstawiają one kompleksową ocenę pracy i stanowią podstawę do dalszych dyskusji, analiz lub kontynuacji badań w przyszłości.

Prezentacja materiału przedstawionego w pracy dokonana jest w sposób relatywnie poprawny z językowego punktu widzenia. W pracy trafiają się literówki i drobne błędy gramatyczne oraz stylistyczne. Inne uwagi techniczno-redakcyjne przedstawiono w dalszej części recenzji.

3. *Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł (w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle) świadczącej o dostatecznej wiedzy Autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?*

Na podstawie przedstawionego wprowadzenia do rozprawy doktorskiej można wywnioskować, że praca zawiera odpowiednią analizę źródeł, w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle. Autor przytacza wiele publikacji, odwołuje się do istniejących metod i technik, a także opisuje trendy i tendencje rozwojowe w dziedzinie techniki cyfrowej oraz dekompozycji systemów sterowania.

Wnioski z przeglądu źródeł są sformułowane w sposób jasny i przekonujący. Autor wskazuje na istniejące metody dekompozycji oparte na algebrze liniowej, teorii grafów i hipergrafów. Autor podkreśla potrzebę modyfikacji istniejących algorytmów w celu uzyskania akceptowalnych czasów rozwiązania problemów projektowych.

Praca doktorska skupia się głównie na dekompozycji systemów sterowania opisanych sieciami Petriego oraz problemach selekcji. Autor proponuje nowe metody, wykorzystujące teorię hipergrafów, sieci Petriego oraz niezmienniki miejsc oparte na algebrze liniowej. Wprowadzone algorytmy mają na celu skuteczne rozwiązanie problemów dekompozycji i selekcji w sposób optymalny i efektywny.

Podsumowując, rozprawa doktorska przeprowadza właściwą analizę źródeł, a wnioski z przeglądu są klarowne i przekonujące. Autor posiada dostateczną wiedzę na temat badanej dziedziny i wykazuje się umiejętnością opracowania nowych metod w celu rozwiązania problemów dekompozycji i selekcji systemów sterowania.

4. *Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek Autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?*

Rozwiązując postawione w tezie rozprawy zadanie Autor uzyskał następujące nowe rezultaty, stanowiące jego samodzielny i oryginalny dorobek. Osiągnięcia te zawarto w rozdziałach czwartym

i piątym.

- Opracowanie metody dekompozycji nr 1 (Rozdział 4.1.2) zorientowanej na skuteczność, opartej na wyznaczeniu niezmienników miejsc za pomocą metody Martineza-Silvy oraz autorskiej metodzie selekcji.
- Opracowanie metody dekompozycji nr 2 (Rozdział 4.1.3) zorientowanej na sprawność, opartej na zmodyfikowanej metodzie wyznaczenia Martineza-Silvy oraz autorskiej metodzie selekcji.
- Opracowanie metody selekcji nr 1 (Rozdział 4.2.2) zorientowanej na skuteczność, zapewniającej najlepsze możliwe rozwiązanie kosztem czasu.
- Opracowanie metody selekcji nr 2 (Rozdział 4.2.3) zorientowanej na sprawność, umożliwiającej znalezienie przybliżonego rozwiązania w najgorszym przypadku w krótkim czasie.
- Opracowanie hipotez badawczych dotyczących teorii hipergrafów w procesie selekcji.
- Modyfikacja biblioteki *Hippo* w celu zaimplementowania nowych metod i algorytmów zaproponowanych w rozprawie, co umożliwiło ich praktyczne wykorzystanie.
- Modyfikacja biblioteki benchmarków testowych w celu dostosowania jej do prac nad nowymi metodami i algorytmami zaproponowanymi w rozprawie.
- Wkład w rozwój systemu internetowego *Hippo*.
- Weryfikacja efektywności opracowanych metod poprzez przeprowadzenie szeregu badań i eksperymentów.

Warto również podkreślić całkiem dobry współczynnik Hirscha ($h=7$, według bazy danych Scopus oraz $h=6$, według bazy Web of Science), który stanowi znakomitą ilustrację osiągnięć naukowych Autora. Oceniana rozprawa z powodzeniem wpisuje się w nurt aktualnych badań światowych dotyczących rozwoju nowych metod dekompozycji i selekcji w systemach współbieżnego sterowania, a uzyskane wyniki upoważniają do stwierdzenia, że rozprawa zajmuje wysoką pozycję w kontekście wiedzy krajowej oraz umiarkowaną pozycję w kontekście wiedzy światowej.

Podsumowując, rozprawa doktorska koncentruje się na opracowaniu nowych algorytmów dekompozycji i selekcji w systemach współbieżnego sterowania. Metody te wykorzystują teorię hipergrafów oraz sieci Petriego, a ich skuteczność i efektywność zostały potwierdzone w badaniach eksperymentalnych. Wprowadzone innowacje mają istotne znaczenie dla dziedziny techniki cyfrowej i stanowią ważny wkład w rozwój dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja.

5. *Czy Autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?*

Autor rozwiązał sformułowany w tezie rozprawy problem badawczy, używając odpowiednich metod i przyjętych założeń. Praca doktorska opisuje opracowane metody dekompozycji i selekcji współbieżnych systemów sterowania opartych na teorii hipergrafów. Autor zaproponował cztery metody, dwie metody dekompozycji za pomocą niezmienników miejsc oraz dwie metody selekcji podsieci automatowych. Przeprowadzone badania eksperymentalne potwierdziły skuteczność i efektywność tych metod.

Metoda dekompozycji (1) oparta na niezmiennikach miejsc, teorii algebry liniowej i autorskim algorytmie selekcji skierowana jest na skuteczność, pozwalającą uzyskać wyniki zwracające najmniejszą liczbę podsieci automatowych, kosztem czasu obliczeniowego. Metoda dekompozycji (2) wprowadza modyfikację polegającą na generowaniu niepełnego zbioru inwariantów, co z kolei skupia się na osiągnięciu szybkich rozwiązań, które niekoniecznie muszą zawierać najmniejszą liczbę podsieci automatowych. Autor przedstawił również nowatorskie aspekty pracy, takie jak modyfikacje biblioteki *Hippo* i wkład w rozwój systemu internetowego *Hippo*.

Badania eksperymentalne potwierdziły skuteczność i efektywność opracowanych metod w porównaniu do tradycyjnych metod. Opracowane metody umożliwiły znalezienie dokładnych rozwiązań

w krótszym czasie, co jest istotne, biorąc pod uwagę, że klasyczne metody dokładne często mają złożoność wykładniczą. Praca doktorska zawiera także dowody formalne potwierdzające słuszność założonych tez.

W związku z powyższym, można stwierdzić, że Autor rozwiązał postawione zagadnienia, używając właściwej metody i przyjętych założeń, co zostało potwierdzone poprzez przeprowadzone badania eksperymentalne i dowody formalne.

6. Czy Autor wykazał umijętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?

Jak wspomniano w punkcie 2 niniejszej recenzji, rozprawa składa się z 112 stron, podzielonych na wstęp, podsumowanie oraz pięć rozdziałów, które prezentują cel rozprawy i rozwiązują postawioną tezę. Praca zawiera również spis treści, spis rysunków, spis tablic, bibliografię oraz pięć dodatków. Treść pracy jest zgodna z tematem określonym w tytule. Kolejne rozdziały są logicznie powiązane i tworzą spójną całość.

Struktura rozprawy wynika z przyjętego planu pracy i jest zgodna z stopniowym realizowaniem ustalonych celów. Prezentowane zagadnienia tworzą harmonijną całość, co pozwala Autorowi konsekwentnie realizować założone zadanie badawcze.

Eksperymenty zostały odpowiednio zaprojektowane i metodycznie przeprowadzone, a uzyskane wyniki dobrze przeanalizowane.

Rozprawa jest napisana przekonująco i poprawnie. Jednakże, jeśli chodzi o styl pisania, w niektórych miejscach tekst może być niejasny lub nieprecyzyjny. Sposób przedstawienia definicji i pojęć może być trudny do zrozumienia i wymagać od czytelnika większego wysiłku interpretacyjnego.

Zastosowana terminologia i symbole nie budzą większych zastrzeżeń. Należy jednak zauważyć, że:

- str. 17, definicja 2.1: „ p jest miejscem wyjściowym tranzycji t , jeśli $(p, t) \in F$ ”, powinno być: „ p jest miejscem wyjściowym tranzycji t , jeśli $(t, p) \in F$ ”. Zmiana polega na zamianie kolejności elementów w nawiasie (p, t) na (t, p) , aby odzwierciedlić odpowiednią relację między tranzycją t a miejscem p .
- str. 19, definicja 2.6: „ P jest wyjściowym miejscem t ”, powinno być: „ p jest wyjściowym miejscem t ”. W poprawionym zdaniu zamieniamy literę „ P ” na małą literę „ p ” w celu dostosowania jej do konwencji używanej w kontekście definicji.
- str. 19, definicja 2.8: w kontekście sieci Petriego, nie wprowadzono oznaczenia \bullet , a równanie opisujące zbiór miejsc jest następujące: $P_S = \bullet T_S \cup T_S \bullet$. Przed definicją 2.6 powinno znaleźć się, na przykład, następujące wyjaśnienie. Wyrażenie „ $\bullet T_S$ ” oznacza zbiór miejsc, które są źródłami dla wszystkich przejść w zbiorze T_S , natomiast „ $T_S \bullet$ ” oznacza zbiór miejsc, do których prowadzą wszystkie przejścia w zbiorze T_S . Podobne zastrzeżenie jest do definicji 2.9.
- str. 19, definicja 2.9: w definicji użyto terminu *spójna podsieć*, jednakże nie zdefiniowano jego znaczenia w kontekście rozważanych sieci Petriego.
- str. 20: samo dostarczenie rysunku interpretowanej sieci Petriego nie jest wystarczające, a dodatkowe wyjaśnienie i powiązanie z wprowadzoną terminologią byłoby pożądane.
- str. 22, definicja 2.15: zastosowano na hiperkrawędzi takie samo oznaczenie jak na klasyczne krawędzie w grafie nieskierowanym. Przypisanie identycznego oznaczenia na hiperkrawędzi, które różni się od klasycznych krawędzi w grafie nieskierowanym, może prowadzić do niejednoznaczności lub niejasności w zrozumieniu rozważanej struktury i relacji w danym kontekście.
- str. 29: istnieje błąd w tekście na stronie 29. Zamiast „Redukcja tranzycji drugiej (...) sposób: do wiersza p_{1+2} jest dodawany wiersz p_4 , natomiast do wiersza p_{1+2} dodawany jest wiersz

- Str. 14: zamiast zdania „W niniejszej rozprawie kryterium sprawności proponowanych metod określana czas wykonania algorytmu.(...)” powinno być „W niniejszej rozprawie kryterium sprawności proponowanych metod określa czas wykonania algorytmu.” Proponowana poprawka zmienia formę czasownika "określana" na "określa", aby zapewnić zgodność z podmiotem "kryterium sprawności proponowanych metod".
- Str. 18: zamiast zdania „W roku 1962 sformułował rozprawie (...)” powinno być „W roku 1962 sformułował w swojej rozprawie (...)”. Proponowana poprawka dodaje zwrot "w swojej" przed słowem "rozprawie", aby wyrazić właściwe przynależność rozprawy do osoby, o której mówimy.
- Str. 18: należałoby skorygować kolejność elementów na liście z "żywotności, bezpieczeństwie, osiągalności" na "osiągalności, żywotności, bezpieczeństwie", aby odpowiadała kolejności pojęć przedstawionej w dalszej części rozdziału.
- Str. 27: zamiast „(and Dancing Links)” powinno być „(ang. Dancing Links)”. Poprawka polega na zamianie "and" na skrót "ang.".
- Str. 39: zamiast sformułowania „Generalnie metoda ta jest rekursywnym algorytmem backtackingowym (...)” powinno być „Generalnie metoda ta jest rekursywnym algorytmem backtrackingowym”. Inymi słowy, zamiast używać terminu "backtackingowym", należy użyć terminu "backtrackingowym". Niemniej jednak, można było również użyć eleganckiego polskiego sformułowania: „Generalnie metoda ta jest rekursywnym algorytmem przeszukiwania wstecznego (...)”.
- Str. 40: zamiast słowa „współbieżności” powinno być słowo „współbieżności”.
- Str. 40: zamiast słowa „obraz” powinno być słowo „oraz”.
- Str. 65: zdanie „PNH jest formatem opracowanym na potrzeby biblioteki Hippo, z uwagi na co żaden edytor nie powiadał takiej możliwości” nie jest zrozumiałe.
- Str. 70: zamiast „W tabeli 5.3 zestawiono wybrane (...)” powinno być „W tabeli 5.2 zestawiono wybrane”.
- Str. 83: wyrażenie „wszelakiej maści” jest raczej kolokwialne i nie należy go stosować w formalnych tekstach, takich jak rozprawa doktorska.
- Str. 84, 85, 86: zamiast „ścieżki do pliku macierzy” powinno być „ścieżki do pliku macierzy”.
- Str. 85: zdanie „wyszukiwania wszystkich zbiorów niezależnych metodą opracowaną przez: Johnson, Yannakakis, Papadimitriou, (...)” powinno kończyć się odwołaniem do publikacji, gdzie metoda została opisana.
- Str. 95: zamiast sformułowania „(...)kartę informacji(...)”, powinno być „(...)kartę informacji(...)” przez jedno „i”.
- Str. 100 - 129, dodatek E.1 oraz E.2: w tabeli zamieniono miejscami czas dekompozycji z liczbą uzyskanych podsieci automatowych.
- Pozycje bibliograficzne w bibliografii nie są napisane w języku polskim i nie są spójne pod względem stylu bibliograficznego. Ponadto, niektóre z tych pozycji (np. 84, 85) nie zawierają informacji dotyczących wydawcy, a pozycjom nr 67 i 68 brakuje zarówno danych dotyczących wydawcy, jak i roku wydania.

7. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Słaba strona rozprawy wynika głównie z kilku czynników:

- W rozdziale wprowadzającym podstawowe definicje pracy wiele definicji i pojęć zostało przedstawionych w sposób zwięzły i ogólnikowy, co może utrudniać zrozumienie dla czytelnika niezaznajomionego z tematem. Brakuje konkretnych przykładów i ilustracji, które mogłyby pomóc czytelnikowi w lepszym zrozumieniu wprowadzanych pojęć.

p_4 ", powinno być: „Redukcja tranzycji drugiej (...) sposób: do wiersza p_{1+2} jest dodawany wiersz p_4 , natomiast do wiersza p_{1+3} dodawany jest wiersz p_4 ”.

- str. 29-30, algorytm XTREC: w prezentacji algorytmu zastosowano notację, która nie została uprzednio zdefiniowana. Z tego względu, pełne zrozumienie tej części rozprawy wymaga znajomości pracy [80]. Niemniej jednak, przykłady zastosowania tego algorytmu opisane w kolejnych rozdziałach stanowią rekompensatę dla tego problemu. Poznanie tych przykładów umożliwia wszechstronne zrozumienie działania algorytmu XTREC oraz jego praktycznego zastosowania.
- str. 39-40, algorytm X: Opis algorytmu X jest dość pobieżny i nie zawiera wielu istotnych informacji na temat jego działania. Aby jeszcze lepiej zrozumieć algorytm, brakuje kilku elementów. Mianowicie, w opisie kroku (e) brakuje informacji o tym, co się dzieje, gdy wartość $A_{r,j} = 0$. Czy ten przypadek jest pomijany, czy są podejmowane jakieś działania? Warto to wyjaśnić, aby zapewnić pełną klarowność opisu. Ponadto w tekście wspomina się o metodzie DLX (ang. Dancing Links) jako efektywnej implementacji algorytmu X. Jednakże, brakuje informacji o tym, czym dokładnie jest ta metoda i jak działa. Przedstawienie krótkiego opisu metody DLX oraz jej roli w implementacji algorytmu X pomogłoby w pełniejszym zrozumieniu.
- str. 40-41, metoda oparta o grafy: opis metod dekompozycji sieci Petriego opartych na grafach zawiera kilka kluczowych informacji na temat tych metod. Obejmuje on opis kroków i etapów, które są często wykorzystywane w tych algorytmach. Jednakże, w celu jeszcze lepszego zrozumienia tych metod, można było dodać kilka elementów:
 - Omówienie makrosieci: warto byłoby bardziej szczegółowo wyjaśnić, czym dokładnie jest makrosiec i jak jest tworzona. W jakim celu jest ona używana i jakie elementy sieci Petriego są usuwane w trakcie jej tworzenia.
 - Wyjaśnienie kolorowania grafu współbieżności: Opisując krok kolorowania grafu współbieżności, warto byłoby przedstawić, jakie znaczenie ma to kolorowanie w kontekście dekompozycji. Jakie są kryteria kolorowania grafu i jak są one związane z identyfikacją automatów sekwencyjnych.
- str. 40-41, metoda oparta o hipergrafy: opis metody dekompozycji sieci Petriego opartej na hipergrafach zawiera istotne informacje dotyczące tej metod. Obejmuje on opis kolejnych etapów algorytmu i wyjaśnia, jak hipergrafy są używane do reprezentowania współbieżności i sekwencyjności w sieciach Petriego. Jednakże, w celu jeszcze lepszego zrozumienia tej metody, można byłoby dodać wyjaśnienie operacji transpozycji i redukcji. Przedstawić, jak wpływają one na strukturę hipergrafu i jak przyczyniają się do dekompozycji sieci Petriego.

Pod względem edytorskim oceniana rozprawa doktorska jest napisana dobrze. Niemniej jednak, Autor powinien zwrócić większą uwagę na poprawność gramatyczną, interpunkcyjną oraz poprawne formatowanie i układ tekstu.

- Należy zauważyć, że dopracowanie sposobu umiejscowienia rysunków w ocenianej rozprawie byłoby zalecane. Istotne jest, aby rysunki były odpowiednio umieszczone w tekście, zapewniając czytelność i logiczny przepływ informacji. W tym kontekście warto zwrócić uwagę na rozmieszczenie rysunków w stosunku do odpowiadających im opisów i odnośników, aby czytelnik mógł łatwo zrozumieć związek między treścią a ilustracjami. W szczególności, warto wspomnieć, że wystąpienie rysunku 2.3 przed Definicją 2.19 (np. w przypadku przerwania Definicji 2.20) przyczyniłoby się do bardziej spójnego ułożenia treści. Poprawa tego elementu wpłynęłaby pozytywnie na czytelność i klarowność prezentowanego materiału.
- Str. 14: w celu poprawienia formy wyrażenia z „zielonogórkim , a następnie” na „zielonogórkim, a następnie”, należy usunąć nadmiarową spację przed przecinkiem.
- Str. 14: w celu poprawienia formy wyrażenia z „dokładnych ((w” na „dokładnych (w”, należy usunąć nadmiarowy nawias otwierający przed literą "w".

- W rozdziale „Algorytmy zaadaptowane na potrzeby” brak jest analizy złożoności obliczeniowej dla prezentowanego algorytmu Martinezy-Silvy oraz algorytmu XTREC. Brak jest również dyskusji na temat zalet i wad tych algorytmów. Czytelnik może mieć trudności w zrozumieniu jakie są ich potencjalne ograniczenia i problematyczne przypadki.

Rozprawa ma pewne istotne usterki merytoryczne, które wymagają komentarza w trakcie obrony pracy.

- (a) Czy prawdą jest, że transversa minimalna minimalizuje liczbę wierzchołków, które przecinają wszystkie hiperkrawędzie, podczas gdy transversa dokładna dodatkowo wymaga, aby każda hiperkrawędź była incydentna z dokładnie jednym wierzchołkiem ze zbioru transversali? Pokazanie różnicy na przykładzie pomiędzy *transwersalą minimalną* a *transwersalą dokładną*, byłoby pożądane.
- (b) Rozdział 3.5 poświęcono omówieniu szybkiego algorytmu redukcji. Przedstawiono jego główny cel, zaprezentowano schemat działania oraz wspomniano o ogólnych ograniczeniach. Jednakże, w celu pełniejszego zrozumienia, bardziej szczegółowe omówienie tych ograniczeń byłoby pożądane. Istotne jest wyjaśnienie, dlaczego algorytm nie znajduje rozwiązania w przypadku ogólnym. Ponadto, warto wskazać sytuacje, w których algorytm może przynieść pożądane rezultaty, na przykład dla określonych typów hipergrafów.

Wymienione tutaj usterki nie mają istotnego wpływu na pozytywną ocenę ogólną osiągnięć naukowych opisanych w rozprawie.

8. Jaka jest przydatność rozprawy dla dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja?

Oceniana rozprawa ma istotne znaczenie dla dyscypliny *Informatyka Techniczna i Telekomunikacja*. Rozprawa ta wnosi nowatorskie metody i podejścia do projektowania i analizy systemów sterowania, które są kluczowe dla informatyki technicznej.


Przydatność rozprawy wynika z kilku czynników:

- Rozwinięcie istniejących metod: rozprawa wprowadza nowe metody dekompozycji i selekcji współbieżnych systemów sterowania, oparte na teorii hipergrafów. Te nowatorskie podejścia poszerzają zakres dostępnych narzędzi i technik analizy systemów sterowania.
- Efektywność i optymalizacja: opracowane metody mają na celu zwiększenie efektywności i optymalizacji procesu projektowania i implementacji systemów sterowania. Rozprawa doktorska proponuje metody dekompozycji, które pozwalają na równoległe wykonywanie automatów sekwencyjnych oraz selekcję najważniejszych podsieci automatów. To przyczynia się do poprawy wydajności i osiągania poprawnych rezultatów w akceptowalnym czasie.
- Zastosowanie praktyczne: opracowane metody mają zastosowanie praktyczne w projektowaniu i analizie systemów sterowania. Mogą być wykorzystane w różnych dziedzinach, takich jak automatyka, systemy wbudowane i inne obszary, gdzie występują złożone systemy współbieżne.
- Rozwój dyscypliny: rozprawa doktorska wnosi wkład w rozwój dyscypliny informatyki technicznej poprzez opracowanie nowych metod i technik analizy systemów sterowania. Rozwinięcie teorii hipergrafów w kontekście selekcji podsieci automatów oraz wprowadzenie modyfikacji istniejących metod stanowi ważny wkład do dyscypliny.

Rezultaty ocenianej rozprawy doktorskiej mają potencjał do dalszego rozwoju i wykorzystania w praktyce. Mogą one służyć jako podstawa do dalszych badań, tworzenia nowych narzędzi i technik, oraz inspiracji dla innych badaczy w dyscyplinie informatyki technicznej i telekomunikacji, o czym świadczą również publikacje Autora na warsztatach i konferencjach o zasięgu międzynarodowym (13 pozycji konferencyjnych indeksowanych na Web of Science) oraz w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym (1 pozycja indeksowanych na Web of Science - 70 pkt).

9. *Konkluzja*

Ze względu na wagę podjętego w rozprawie problemu badawczego i znaczenie praktyczne, a przede wszystkim na pozytywną ocenę merytoryczną i metodologiczną, stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymagania Ustawy stawiane rozprawom doktorskim. Wnioskuje zatem o dopuszczenie mgra inż. Łukasza Stefanowicza do dalszych etapów postępowania w przewodzie doktorskim.



dr hab. Bożena Woźna-Szcześniak, prof. UJD