

dr hab. inż. Ireneusz Mrozek
Wydział Informatyki
Politechnika Białostocka
ul. Wiejska 45a
15-351 Białystok

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr. inż. Tomasza Mazurkiewicza
pt. *Synteza logiczna funkcji boolowskich szczególnej postaci*

Niniejsza opinia została przygotowana w odpowiedzi na pismo WYCH/N/00216/2021 dr. hab. inż. Zbigniewa Tarapaty, prof. WAT - Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej „Informatyka Techniczna i Telekomunikacja” Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie, w związku z powołaniem mnie przez powyższą Radę na recenzenta w przewodzie doktorskim mgr. inż. Tomasza Mazurkiewicza.

Przedmiotem oceny jest rozprawa doktorska pt. *Synteza logiczna funkcji boolowskich szczególnej postaci*. Rozprawa liczy 101 stron i składa się ze strony tytułowej, streszczenia, spisu treści, spisu rysunków, spisu tabel, sześciu rozdziałów (w tym podsumowanie) i spisu literatury.

Problematyka i cel rozprawy

Gwałtowny wzrost ilości przetwarzanych danych, związany m.in. z rozwojem takich obszarów jak Internet rzeczy czy Eksploracja danych, wymusza poszukiwanie nowych metod, które odpowiadać będą współczesnym wyzwaniom związanym z klasyfikacją i identyfikacją danych. Działania takie w wielu wypadkach realizowane są w oparciu o dedykowane rozwiązania sprzętowe typu SoC (ang. *System-on-Chip*). Jedną z podstawowych funkcji realizowanych przez implementowane układy jest przeszukiwanie danych. Efektywną realizację takiej funkcjonalności często gwarantuje pamięć CAM (ang. *content-addressable memory*). Jednak koszt pamięci CAM oraz zapotrzebowanie na energię nie zawsze pozwalają na jej wykorzystanie w implementowanych rozwiązaniach. W konsekwencji w literaturze poszukuje się alternatywnych i jednocześnie efektywnych metod pozwalających zapewnić powyższą funkcjonalność. Jednym z kluczowych rozwiązań, wykorzystywanych m.in. w urządzeniach sieciowych, jest wykorzystanie pamięci RAM w połączeniu z implementacją funkcji

generowania indeksów. Należy jednak zauważyć, iż coraz większa ilość przetwarzanych danych wymusza gwałtowny wzrost zapotrzebowania na wykorzystywaną pamięć. Biorąc pod uwagę fakt, iż w rozwiązaniach typu SoC procentowy udział podłoża krzemowego przeznaczonego na różne kategorie pamięci jest obecnie na poziomie 90%, bardzo istotne wydają się badania nakierowane na optymalizację syntezy logicznej w przypadku struktur wykorzystujących pamięć (ang. *memory-based logic synthesis*).

Tematyka recenzowanej rozprawy doktorskiej mieści się w przedstawionym powyżej nurcie badawczym. Skupia się na funkcjach boolowskich szczególnej postaci, zwanych funkcjami generowania indeksów. Funkcje te charakteryzują się dużą liczbą zmiennych wejściowych oraz stosunkowo mało licznym zbiorem wektorów w tablicy prawdy. Głównym problemem badawczym są metody implementacji powyższych funkcji pozwalające na ograniczenie zapotrzebowania na pamięć.

Biorąc pod uwagę przedstawiony problem badawczy oraz uwzględniając obecne trendy w takich obszarach jak Internet Rzeczy czy Cyberbezpieczeństwo nie ulega wątpliwości, iż tematyka analizowanej rozprawy może stanowić przedmiot badań prowadzących do uzyskania wyników spełniających wymagania stawiane przez odpowiednie przepisy rozprawom doktorskim w dziedzinie *nauk inżynieryjno-technicznych*, dyscyplinie *informatyka techniczna i telekomunikacja*.

Ocena merytoryczna

Podstawowy obszar badań Doktoranta skupiony był wokół efektywnych (pod względem wykorzystania pamięci) implementacji funkcji generowania indeksów. Autor wykazał się bardzo dobrą znajomością literatury oraz umiejętnością samodzielnego rozwiązywania nietrywialnych problemów. Po starannej analizie zawartości rozprawy można stwierdzić, iż rozprawa, w mojej opinii, co prawda nie proponuje nowych, uniwersalnych rozwiązań wyznaczających zupełnie nowe kierunki/trendy w obszarze badań, przedstawia jednak oryginalne propozycje, które poszerzają wiedzę i doświadczenie związane z analizowanymi problemami. Zaproponowane w rozprawie autorskie algorytmy (wraz z wynikami potwierdzającymi ich efektywność) stanowią w mojej opinii oryginalne rozwiązanie problemu badawczego wymagające zarówno wiedzy ogólnej w przedmiotowej dziedzinie oraz umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy badawczej. W przedstawionej rozprawie zauważyć można również bardzo pożądaną cechę w prowadzeniu badań naukowych jaką jest umiejętność do krytycznej analizy własnych rozwiązań. Doktorant, proponując autorskie rozwiązania, każdorazowo oprócz ich mocnych stron wskazuje obszary, które wymagają dalszych prac badawczych.

Głównymi wynikami rozprawy są:

1. Modyfikacje algorytmu dekompozycji liniowej z wykorzystaniem zbioru niezgodności. W tym obszarze zaproponowano algorytm iteracyjny oraz dwie metody wyboru funkcji rozdzielającej: First-Fit oraz MinR.
2. Wykorzystanie struktur probabilistycznych (filtr Blooma oraz filtr Cuckoo) do realizacji generatora indeksów. W pracy wykazano, iż wykorzystanie pamięci w proponowanej

architekturze nie jest zależne od liczby zmiennych otrzymanych po transformacji liniowej. Dlatego w przypadku, gdy liczba zmiennych otrzymana po transformacji liniowej jest zbliżona do optymalnej, to implementacja zaproponowanej architektury umożliwi zmniejszenie zapotrzebowania na pamięć w porównaniu z architekturą proponowaną w literaturze.

3. Propozycja dwóch metod poszukiwania nierozłącznej dekompozycji funkcjonalnej funkcji generatora indeksów: heurystycznej oraz dokładnej. Metoda heurystyczna pozwala znaleźć dekompozycję o relatywnie niewielkiej liczbie zmiennych w stosunkowo krótkim czasie. Metoda dokładna gwarantuje uzyskanie wyniku optymalnego, kosztem dużej (nie zawsze akceptowalnej) złożoności obliczeniowej. Metody te są szczególnie dedykowane funkcjom generowania indeksów dla których nie istnieje optymalna dekompozycja liniowa.

Biorąc pod uwagę zaproponowane w rozprawie rozwiązania można stwierdzić, iż tezy rozprawy przedstawione w rozdziale 1.2 zostały pozytywnie zweryfikowane. Otrzymane wyniki były poddane ocenie środowiska naukowego poprzez ich publikację w recenzowanych czasopismach oraz prezentację na konferencjach naukowych, gdzie możliwa była ich krytyczna analiza w gronie wysokiej klasy specjalistów z dziedziny.

Organizacja i redakcja rozprawy

Rozprawa liczy 101 stron i w zasadniczej swojej części składa się z sześciu rozdziałów w tym rozdziału podsumowującego.

Rozdział 1: Stanowi wprowadzenie do tematyki rozprawy. Przedstawia motywację i charakterystykę prowadzonych badań, a także tezy pracy.

Rozdział 2: Zawiera podstawowe pojęcia i definicje pomocne w lekturze kolejnych rozdziałów. Autor przytacza tutaj definicje i czytelnie obrazuje funkcje generowania indeksów oraz metody syntezy. W rozdziale przedstawiono również zagadnienia z obszaru teorii grafów wykorzystywane w dalszej części rozprawy.

Rozdział 3: Skupia uwagę na wykorzystaniu dekompozycji liniowej do syntezy logicznej funkcji generowania indeksów. Przedstawia zarówno podejścia znane z literatury jak również rozwiązania autorskie. W rozdziale przytoczono własne wyniki będące rezultatem prac nad rozwinięciem iteracyjnej metody wykorzystującej zbiory niezgodności. Zaproponowano dwie metody wyboru dekompozycji i przeanalizowano ich wpływ na efektywność syntezy.

Rozdział 4: Przybliży kwestie związane z realizacją generatorów indeksów oraz przedstawia alternatywną, w stosunku do znanej z literatury, architekturę opartą o struktury probabilistyczne.

Rozdział 5: Przedstawia wyniki badań nad zastosowaniem dekompozycji funkcjonalnej do minimalizacji funkcji generowania indeksów. Oprócz omówienia rozwiązań znanych z literatury Autor proponuje oryginalne własne metody: heurystyczną metodę znajdowania nierozłącznej dekompozycji funkcjonalnej wykorzystującą elementy teorii grafów oraz metodę dokładną wykorzystującą uogólnienie problemu SAT.

Rozdział 6: Zawiera czytelne podsumowanie pracy oraz nakreśla dalsze, przemyślane kierunki badań.

Dodatkowo praca zawiera:

Streszczenie: Zwięzły opis głównego problemu badawczego oraz źródła jego pochodzenia.

Spis bibliograficzny: Składa się ze 100 pozycji w tym 13 publikacji Autora (6 publikacji samodzielnych i 7 w których Doktorant występuje jako współautor).

Spisy rzeczowe: W skład spisów rzeczowych wchodzi: spis treści, spis rysunków (28 pozycji) i spis tabel (33 pozycje).

Uwagi krytyczne

Pomimo ogólnej pozytywnej oceny pracy, Autorowi nie udało się uniknąć drobnych uchybień oraz nieścisłości.

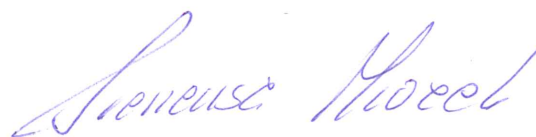
- 1) W przypadku wzoru (2.5) Autor nie wskazuje jakie ograniczenie ma na myśli (minimalne czy maksymalne).
- 2) W przykładzie 2.3 (str. 12) do oznaczenia przedziałów wykorzystano symbol Π , który po analizie wzorów (2.6) i (2.7) bardziej kojarzy mi się z wynikiem działania na podziałach. W mojej opinii czytelniejsze byłoby wykorzystanie tutaj symbolu Υ .
- 3) Przykład 2.4 (str. 13) zdanie: „Oznacza to, że dla wektorów numer 1 i 4 wartość x_4 równa jest 0. Z kolei ...”. Wydaje mi się, iż postać P nie wskazuje jednoznacznie wartości x (0 czy 1), chyba, że przyjmiemy, iż kolejność zapisu podziałów w P jednoznacznie wskazuje na ten fakt.
- 4) Str. 17, drugi akapit od góry: „...rozmiar pamięci można asymptotycznie określić jako $O(MEM_{lin})=O(K^2 \log K)$ ” – wydaje się, iż przy logarytmie zabrakło podstawy 2.
- 5) Str. 30, trzeci akapit od góry: „...W opracowanym oprogramowaniu eksperymentalnym ...”, można byłoby w tekście nadmienić w jakim środowisku to oprogramowanie zostało zaimplementowane, jakie biblioteki zostały (o ile zostały) wykorzystane itp. Bez tych informacji wskazywanie wyników w jednostkach czasowych (sekundach) służy bardziej porównaniu złożoności poszczególnych metod między sobą niż przedstawieniu rzeczywistego czasu realizacji poszczególnych algorytmów (rys. 3.3 i 3.4, str. 31).
- 6) Rys. 3.4 str. 31: zakładam, iż w celu porównania algorytmów, czas realizacji poszczególnych algorytmów (w tym [Kow17]) został otrzymany w oparciu o porównywalne implementacje.
- 7) Str. 40, tekst nad rysunkiem 4.4: „...jest około trzykrotnie większy od rozmiaru pamięci podstawowej...”. W mojej opinii rysunek 4.4 nie do końca czytelnie wskazuje powyższy fakt. Biorąc pod uwagę, iż powyższe obserwacje są podstawą do realizacji dalszych badań, wydaje się, iż rozdział zyskałby na zrozumieniu, gdyby otrzymane wyniki były przedstawione w jednoznaczny i czytelniejszy sposób.
- 8) Str. 42, tekst wokół wzoru (4.4): „...prawdopodobieństwo, że wartość określonego bitu w tablicy równa jest zero po dodaniu ... Prawdopodobieństwo zdarzenia **przeciwnego**, tzn. że wartość równa jest **zero**...”: wydaje się, iż nastąpiło przejęzyczenie.

Sformułowane powyżej uwagi krytyczne nie wpływają na moją pozytywną ocenę recenzowanej rozprawy.

Konkluzja końcowa

W mojej opinii rozprawa doktorska mgr. inż. Tomasza Mazurkiewicza pt. *Synteza logiczna funkcji boolowskich szczególnej postaci* wnosi wkład w dziedzinę nauk inżynieryjno-technicznych, dyscyplinę informatyka techniczna i telekomunikacja oraz **spełnia** ustawowe wymogi stawiane rozprawom doktorskim.

W związku z tym wnioskuję o dopuszczenie mgr. inż. Tomasza Mazurkiewicza do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Ireneusz Mrozek

