



RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: Automatyczna synteza bezkolizyjnych sieci jednokładowych dla systemów wbudowanych

Autor rozprawy: mgr inż. Robert Tomaszewski

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Stanisław Deniziak

Recenzja została przygotowana na zlecenie Dziekana Wydziału Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej prof. dr hab. inż. Zdzisława Dudy z dnia 01.06.2011.

1. Cel, zakres i charakter rozprawy

Postępy technologii elektronicznej polegające na osiągnięciu zdolności umieszczania wielu milionów bramek na chipie umożliwiły budowę jednokładowych systemów wieloprocesorowych lub ogólniej – jednokładowych systemów złożonych z wielu przetwarzających elementów (PE). Jednostki te tworzą na chipie sieć częściowo podobną do sieci komputerowych czy sieci sensorycznych jednak w tych sieciach transmisja jest zwykle szeregowa, węzły mają zmieniające się zadania, mogą być odłączane i załączane do sieci, nie jest tak bardzo istotny pobór mocy i nie ma ostrych wymagań na zasoby sprzętowe. W sieciach na chipie transmisja jest zwykle równoległa, zadania są zwykle sztywno przydzielone, bardzo istotne są ograniczenia związane z poborem mocy i z dostępnymi zasobami sprzętowymi. To właśnie odróżnia sieci na chipie od sieci komputerowych, sensorycznych czy telekomunikacyjnych. Najważniejsze problemy, które stają przed badaczami tego zagadnienia to między innymi właśnie minimalizacja poboru mocy, konstrukcja niewymagających dużych zasobów elementów sieci, struktury połączeń i marszrutowanie komunikatów z unikaniem kolizji. Rozwiązaniami jakie spotyka się w praktyce są magistrala *AMBA*, magistrala *wishbone* czy *STBus*. Analizując te systemy doktorant stwierdził, że system magistralowy, mimo iż często stosowany do integracji komponentów wirtualnych, nie sprawdza się w wieloprocesorowych systemach wbudowanych, gdyż nie zapewnia zadowalającej szybkości przetwarzania. Struktury systemów wieloprocesorowych typu krata, torus, czy nieregularne mogą zapewnić znaczne

zrównoleglenie wykonywania zadań systemu i znaczną jednoczesność wymiany komunikatów pomiędzy elementami przetwarzającymi. Opracowanie metodyki projektowania sieci jednokładowych zapewniającej takie właśnie jej działanie jest tzw. „hot problemem” w tym obszarze badań. W ten nurt wpisuje się recenzowana rozprawa.

Doktorant postawił sobie za cel opracowanie metodyki znajdowania struktury sieci na chipie, która będzie charakteryzowała się niewielkimi zasobami sprzętowymi potrzebnymi do jej realizacji i minimalnym kosztem energetycznym przy bezkolizyjnym przesyłaniu komunikatów pomiędzy jednostkami przetwarzającymi.

Dla osiągnięcia tego celu doktorant wykorzystał znany z literatury graf zadań i jego rozszerzoną wersję – atrybutowy graf zadań – a także graf topologii sieci. Zostały one przedstawione w rozdziale 5. Rozdział ten zawiera także interesująca analizę poboru mocy w systemie, a ponadto omówione tam zostały rutery, zasady rutingu oraz problem kolizji. Heurystyczną metodę generacji struktury sieci jednokładowej przedstawił doktorant w rozdziale szóstym. W rozdziale tym doktorant przedstawił także twierdzenie o rozwiązywalności problemu odwzorowania grafu zadań w sieć jednokładową oraz twierdzenia związane z optymalizacją kosztu topologii sieci. Twierdzenia te wraz z matematycznym modelem sieci jednokładowej wprowadzonym w rozdziale 5 oraz algorytmem generacji bezkolizyjnych sieci jednokładowych to podstawowe innowacyjne elementy recenzowanej rozprawy. Warto jeszcze dodać, co jest istotne dla osób chcących wykorzystać opracowaną metodę, że doktorant podaje także przypadki, w których wygenerowanie bezkolizyjnej sieci jednokładowej nie będzie możliwe. Jednak z badań eksperymentalnych wynika, że takie sytuacje występują bardzo rzadko - w trakcie swoich licznych eksperymentów doktorant trafił na taką sytuację tylko raz. Rozdział siódmy zawiera wyniki eksperymentów, które potwierdzają skuteczność opracowanej metody.

2. Teza rozprawy

Teza rozprawy w postaci: *statyczna analiza grafu zadań systemu wbudowanego, z uszeregowanymi i przyporządkowanymi zadaniami do elementów obliczeniowych, umożliwi znalezienie bezkolizyjnej sieci jednokładowej o minimalnym koszcie topologii, w której koszt energetyczny transmisji będzie najmniejszy z możliwych oraz wszystkie ograniczenia czasowe systemu zostaną spełnione* dotyczy głównego zagadnienia rozprawy, jest innowacyjna, sformułowana została w odniesieniu do meritum poprawnie i z uwzględnieniem upraszczających założeń przyjętych na wstępie rozdziału 4. udowodniona w trakcie prowadzonych przez doktoranta badań. Uwaga jaka się tu nasuwa odnosi się to określenia *statyczna analiza*. Wydaje się, że jakość tekstu byłby nieco lepsza gdyby doktorant wyjaśnił wcześniej jak odróżnia

analizę statyczną od analizy dynamicznej. Warto by też podać co doktorant rozumie pod pojęciem *systemu wbudowanego* ponieważ tych definicji jest kilka.

3. Analiza źródeł

Wykaz publikacji zawarty w rozprawie liczy 182 pozycje i zawiera wybór najistotniejszych dla tematyki rozprawy publikacji z ostatnich 20 lat. Autor dobrze zapoznał się ze stanem wiedzy nt. sieci na chipie o czym świadczy wnikliwy i krytyczny przegląd rozwiązań zawarty w rozdziałach 1 i 2 i swoboda z jaką porusza się w tych niełatwych przecież zagadnieniach. Zaprezentowany zestaw publikacji można by ewentualnie uzupełnić o ciekawą pracę firmy Arteris pt. *A comparision of Network-on-Cip and Busses* (www.arteris.com), a także o rozprawę habilitacyjną Olega Maslennikowa pt. *Podstawy teorii zautomatyzowanego projektowania reprogramowalnych równoległych jednostek przetwarzających dla jednoukładowych systemów czasu rzeczywistego* wydaną przez Politechnikę Koszalińską w 2004 roku. Pozycje te jednak nie zmieniłyby głównych treści rozprawy a jedynie wzmocniłyby jej podstawy.

4. Znaczenie uzyskanych wyników dla dyscypliny naukowej

Uzyskane wyniki największe znaczenie mają dla dyscypliny elektronika a w szczególności dla technologii elektronowej gdzie mogą być wykorzystane przy projektowaniu systemów na chipie.

Rezultatami badań prowadzonych przez doktoranta są:

- model matematyczny systemu na chipie
- oryginalny algorytm i program generowania topologii płaskiej sieci jednoukładowej zapewniający:
 - o eliminację konfliktów transmisyjnych
 - o balans pomiędzy kosztem topologii (liczbą połączeń) a kosztem energetycznym transmisji (długością połączeń)

Ponadto doktorant zaproponował prostą konstrukcję rutera z małym jednoflitowym buforem, bez kanałów wirtualnych, działającego na zasadzie przełączania pakietów, który sprawdził się w przeprowadzanych przez doktoranta eksperymentach numerycznych. Rezultaty te mają z jednej strony znaczenie poznawcze (nowy model matematyczny) a z drugiej strony praktyczny – oryginalny algorytm wyznaczania topologii sieci jednoukładowej. Uzupełniają one wiedzę na temat sieci jednoukładowych i dostarczają projektantom układów scalonych użytecznego algorytmu, który, wraz z innymi, może być wykorzystany przy projektowaniu systemów wieloprocesorowych na chipie.

5. Wady i słabe strony rozprawy

Tekst rozprawy napisany jest w sposób przyjazny dla czytelnika jest dobrze ilustrowany rysunkami i tabelami, a liczba tzw. literówek jest nieznaczna. Autor wykazuje się bardzo dobrą znajomością tematu, wnikliwie formułuje zagadnienia do rozwiązania i z sukcesem je rozwiązuje. Tym niemniej, z recenzenckiego obowiązku, można wskazać następujące uwagi i zastrzeżenia:

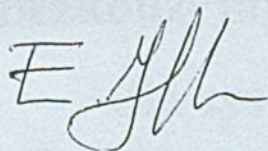
- Definicja 5.1-2 byłaby jaśniejsza gdyby posłużyć się np. indeksami h oraz j dla oznaczenia odpowiednio przodków i potomków zadania T_i .
- Trudno zgodzić się ze stwierdzeniem, że magistrała AMBA i przywołane wcześniej magistrale przestały wystarczać. Ciągłe stanowią one bardzo dobre rozwiązanie w przypadku integracji komponentów wirtualnych i są podstawą podejścia *design reuse* w projektowaniu systemów elektronicznych np. z wykorzystaniem takich bibliotek jak „OpenCores”.
- Wzór 5.2.2-1, w którym występuje składnik $E(p)$, jest sumą mocy różnych elementów systemu elektronicznego. Natomiast poniżej $E(p)$ jest wyliczane jako $E_{SR}(p) \cdot t$, a to jest praca. Jak to zatem jest z tym kosztem energetycznym architektury systemu?
- Na str. 51 pojawia się określenie „składowa dynamiczna mocy” warto by zdefiniować co autor pod tym pojęciem rozumie ponieważ moc jako praca wykonana w jednostce czasu zawsze jest związana z dynamiką.
- Wydaje się, że w przypadku kryteriów oceny efektywności topologii (str. 52) punkt a) zawiera punkt d).
- Skąd się bierze to dolne ograniczenie liczby jednostek przetwarzających do co najmniej sześciu, przy którym może nie istnieć bezkolizyjna architektura sieci (str. 62)? Przecież dla sześciu i więcej jednostek przetwarzających także można wygenerować architekturę z połączeniami każdy z każdym.
- Co Autor rozumie przez „odzworowanie portów w krawędzie” (str.63)?
- Str. 64. Autor w jednym zdaniu zestawia dwie różne wielkości: składową statyczną pobieranej mocy i składową dynamiczną zużywaną energii.
- Z lektury tekstu rozprawy wynika, że system na chipie, który rozważa doktorant to taki, w który jednostki przetwarzające mają swoje pamięci lokalne. Rodzi się pytanie czy zaprezentowaną w rozprawie metodykę projektowania można by wykorzystać przy projektowaniu systemu, w którym występuje także pamięć globalna?
- Autor wykonał szereg eksperymentów numerycznych, w których wygenerowano topologię sieci dla różnych syntetycznych Atrybutowych Grafów Zadań oraz dla trzech przykładowych systemów rzeczywistych. Uzyskane właściwości systemów na chipie uzyskanych metodą proponowaną przez doktoranta są generalnie lepsze od właściwości systemów opartych na wspólnej magistrali, a także typu mesh i innych co potwierdza teoretyczną skuteczność metody. Szkoda, że doktorant nie dokonał praktycznej implementacji zaprojektowanej przez siebie sieci, w

której wystąpiłyby ograniczenia technologiczne. Np. trzeba by zdecydować jak prowadzić połączenia – diagonalnie czy zgodnie z zasadą Xarchitecture – uwzględnić koszt zależny od liczby masek, liczbę „przelotek” między warstwami itd. Dałoby to wtedy pełny obraz efektywności metody.

6. Wniosek końcowy

Niezależnie od powyższych uwag i zastrzeżeń chciałbym podkreślić, że pracę oceniam bardzo wysoko. Autor wykazał się bardzo dobrą znajomością problemów projektowania sieci na chipie, opracował oryginalną, bardzo innowacyjną metodę projektowania sieci bezkolizyjnych i teoretycznie wykazał jej skuteczność. Wobec powyższego, z pełnym przekonaniem stwierdzam, że spełnia ona wymagania odnośnej ustawy i proponuję jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

Jednocześnie biorąc pod uwagę aktualność tych prac, uzyskane przez doktoranta wyniki i ich duże znaczenie dla uprawianej przez Niego dyscypliny naukowej proponuję Wysokiej Radzie wyróżnienie rozprawy.

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'E' followed by a series of loops and a long horizontal stroke.