

dr hab. Zygmunt Mazur, prof. P. Wr.
 Instytut Informatyki
 Politechniki Wrocławskiej
 Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
 tel.: (+71) 320 4223
 e-mail: zygmunt.mazur@pwr.wroc.pl

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy:

„Zastosowanie wielozadaniowości do poprawy parametrów czasowych wykonania aplikacji w węźle rozproszonego systemu czasu rzeczywistego”

Autor rozprawy: mgr inż. Arkadiusz Jestratjew

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Andrzej Kwiecień

1. Charakterystyka wyboru tematu i przedmiot rozprawy

Sterowanie procesami przemysłowymi często wiąże się z koniecznością zastosowań skomplikowanych algorytmów sterowania zapewniających niezawodność, pełną kontrolę parametrów procesu i szerokie możliwości diagnostyki w przypadku awarii. W dzisiejszych czasach trudno wyobrazić sobie instalacje urządzeń i systemów automatyki bez zastosowania w niej sterowników programowalnych. Postęp technologiczny spowodował, że obecnie najczęściej instalowane są sterowniki PLC (*Programmable Logic Controller* – Programowalny Sterownik Logiczny). Możliwość uzyskania większej mocy obliczeniowej za coraz niższą cenę spopularyzowała rozproszone systemy sterowania zbudowane z wielu sterowników połączonych siecią komunikacyjną. Opracowano wiele deterministycznych protokołów komunikacji sieciowej, umożliwiających budowę rozproszonych systemów czasu rzeczywistego.

System przerw jest istotnym elementem każdego systemu komputerowego. W przypadku sterowników PLC obsługa przerw jest realizowana za pośrednictwem oprogramowania wbudowanego, które obsługuje zgłoszenia przerw i wywołuje odpowiednie fragmenty aplikacji użytkowej. Zwykle zaleca się, aby czas wykonania procedur obsługi przerw był jak najkrótszy i wtedy wydłużenie czasu wykonania aplikacji sterownika może być pomijane.

Doktorant w swojej rozprawie zaproponował inne podejście. Założył, że czas wykonywania procedur obsługi przerw może być długi, co może mieć istotny

RAU	Biuro Dziekana
	Wpłynęło dnia 02.11.2011..... Nr 06 / zał.

wpływ na czas cyklu sterownika. Doktorant opracował metodę analizy czasowej takiego systemu, traktując każdą z procedur obsługi przerw, jako osobne zadanie.

Dokonując dekompozycji oprogramowania aplikacyjnego sterownika na podzadania o niezależnych wymaganiach czasowych, można zbudować system, w którym parametry czasowe niektórych zadań będą lepsze niż w systemie pracującym bez użycia przerw, przy zachowaniu ścisłych ograniczeń czasowych.

Podstawowym celem rozprawy doktorskiej było opracowanie metod analizy czasowej systemów czasu rzeczywistego wykorzystujących mechanizm przerw, dla których czas przetwarzania procedur obsługi przerw nie jest pomijalny.

Cytując za rozprawą: główna teza rozprawy doktorskiej została sformułowana następująco:

"Wykorzystując podejście wielozadaniowe, możliwa jest taka implementacja aplikacji sterownika PLC będącego węzłem systemu rozproszonego, aby cykl wymiany informacji między węzłami był krótszy niż w przypadku sekwencyjnego wykonania aplikacji, przy dotrzymaniu ścisłych ograniczeń czasowych dla wszystkich zadań oraz samego procesu komunikacji."

Przedstawione w rozprawie wyniki badań, zmierzające do udowodnienia tak postawionej tezy, rozwiązują przedstawiony problem, są bardzo ważne i celowe. Przedstawiona do recenzji praca doktorska wpisuje się głęboko w opisany wyżej nurt badań.

2. Konstrukcja rozprawy

Struktura rozprawy doktorskiej odzwierciedla kolejne etapy osiągania założonego celu. W sensie formalnym rozprawa obejmująca 177 stron, oprócz wstępu i podsumowania, składa się z pięciu rozdziałów oraz bibliografii liczącej 135 pozycji dotyczących podstawowych i aktualnych źródeł.

Rozdział 1 stanowi wprowadzenie do rozprawy. Określono w nim cel rozprawy, przedstawiono tezy, podano podstawową terminologię i zdefiniowano pojęcie czasu. W rozdziale 2 dokonano przeglądu zagadnień dotyczących teorii szeregowania zadań w systemach czasu rzeczywistego. W rozdziale trzecim omówiono własności sterowników programowalnych PLC. Przedstawiono klasyczny, jednozadaniowy model programowy sterownika PLC wraz z opisem jego analizy czasowej. Omówiono wpływ czasu cyklu sterownika na szybkość wymiany informacji w systemie rozproszonym, gdy sterownik PLC jest jego węzłem. Opisano znane metody redukcji czasu cyklu sterownika w modelu jednozadaniowym i omówiono mechanizmy obsługi przerw występujących w nowych generacjach sterowników PLC. W rozdziale czwartym przedstawiono wielozadaniowy model programowy sterowników PLC, w którym system przerw traktowany jest jako instancja pewnego algorytmu szeregowania zadań z metodami analizy czasowej dla jednego i wielu aktywnych źródeł przerw w systemie. Przedstawiono nieblokujący algorytm wymiany informacji pomiędzy zadaniami. Czas przekazywania informacji pomiędzy producentem a konsumentem jest ograniczony od góry, umożliwiając zastosowanie tego algorytmu w systemach o ścisłych ograniczeniach czasowych. Zamieszczono rezultaty analiz teoretycznych. Rozdział piąty prezentuje wyniki badań eksperymentalnych działania sterownika PLC jako systemu wielozadaniowego, w którym zadania są aktywowane

przez wewnętrzne (przerwania zegara systemowego) lub zewnętrzne (przerwania wejść binarnych) źródła przerw. W rozdziale szóstym zaprezentowano wyniki pomiarów czasu wymiany informacji między węzłami systemu rozproszonego, gdy obsługa wymagań jest realizowana z użyciem modelu wielozadaniowego. Jako przykład realizacji wybrano sieć typu Master-Slave wykorzystującej protokół Modbus-RTU. W rozdziale siódmym zawarto podsumowanie uzyskanych wyników rozprawy doktorskiej i zaprezentowano końcowe wnioski, dokonano oceny rezultatów badań oraz zaprezentowano kierunki dalszych badań. Pracę zamykają obszerny spis literatury, skorowidz, spisy rysunków i tabel.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy inżynierii oprogramowania związanej z modelowaniem systemów czasu rzeczywistego wykorzystywanych w sterowaniu procesami przemysłowymi.

Autorskie rozwiązania są przedstawione w rozdziałach 4, 5 i 6 rozprawy.

Najważniejsze autorskie wyniki badań doktoranta.

W rozprawie doktorant zaproponował i przebadał metody analizy czasowej systemów czasu rzeczywistego o ścisłych ograniczeniach czasowych, dla których czas przetwarzania procedur obsługi przerw nie jest pomijalny.

W podrozdziale 4.2 doktorant przedstawił metodę analizy czasowej sterowników PLC z aktywnym pojedynczym źródłem przerw. Przypadek taki jest istotny w praktyce przemysłowej, gdy przerwania wykorzystywane są do przyspieszenia obsługi sieci przemysłowej.

W podrozdziale 4.3 zaproponował model systemu czasu rzeczywistego, w którym system przerw potraktował, jako instancję pewnego algorytmu szeregowania zadań, a procedury obsługi przerw, jako zadania.. Takie podejście umożliwiło zastosowanie metod znanych w teorii szeregowania do przeprowadzenia analizy czasowej systemu. Wyprowadził i formalnie udowodnił zależności umożliwiające prowadzenie analizy czasowej z uwzględnieniem rzeczywistych własności analizowanego systemu takich jak niezerowych czas przełączenia kontekstu zadań.

Przeprowadził analizę zagadnień deterministycznej komunikacji między niezależnie wykonywanymi zadaniami periodycznymi bez ich blokowania. Zaproponował algorytm wymiany danych między zadaniami, który gwarantuje przeprowadzenie wymiany w określonym terminie.

Zależności udowodnione w podrozdziale 4.4 umożliwiają przeprowadzenie kompletnej analizy czasowej wymiany danych między zadaniami sterownika PLC.

Doktorant w rozdziale 5 wykonał trzy eksperymenty badawcze:

- a) przebadał system, w którym źródłem wszystkich przerw jest zegar systemowy (podrozdział 5.1),
- b) zastosował niezależne, zewnętrzne źródła przerw, taktowane osobnymi zegarami o różniących się częstotliwościach i zaburzając je przez krótkotrwałe wstrzymywanie generacji zgłoszeń przerw. odwzorowuje to w złożony system (podrozdział 5.2),
- c) zweryfikował możliwości zastosowania opracowanego modelu do analizy czasowej rozproszonego systemu czasu rzeczywistego.

Podsumowując autorskie wyniki naukowe przedstawione w rozprawie, do najważniejszych oryginalnych osiągnięć doktoranta można zaliczyć:

1. Opracowanie modelu sterowników PLC, w którym system przerwań można potraktować jako instancję algorytmu szeregowania zadań, a procedury obsługi przerwań jako zadania. Takie podejście umożliwiło zastosowanie metod znanych w teorii szeregowania do przeprowadzenia analizy czasowej..
2. Opracowanie prostej analizy czasowej systemów z pojedynczym źródłem przerwań.
3. Wyznaczenie postaci funkcji żądanego czasu procesora umożliwiających zastosowanie metody analizy żądań czasowych TDA (ang. *Time-Demand Analysis*) dla systemów z wieloma źródłami przerwań oraz z ograniczoną liczbą priorytetów przerwań.
4. Opracowanie zdeterminowanego czasowo algorytmu komunikacji między niezależnie wykonywanymi zadaniami periodycznymi bez ich blokowania.
5. Eksperymentalnie wykazanie użyteczności opracowanych metod dla analizy czasowej rozproszonych systemów czasu rzeczywistego z wykorzystaniem sterowników PLC.
6. Automatyczne i eksperymentalne wykazanie możliwości poprawy parametrów czasowych systemu czasu rzeczywistego przez zastosowanie przerwań, zarówno czasów odpowiedzi węzłów systemu na pobudzenie lokalne jak i czasu wymiany informacji w sieci łączącej węzły systemu rozproszonego.

Przeprowadzone eksperymenty wykazały zgodność zaproponowanego modelu teoretycznego z eksperymentami doświadczalnymi przedstawionymi w rozdziale 6. Otrzymane wyniki pomiarów uzasadniają prawdziwość tezy rozprawy.

Doktorant w trakcie pisania rozprawy prezentował wyniki prowadzonych badań na wielu konferencjach, przygotował 12 publikacji naukowych (poz. 38–49 w Bibliografii).

4. Uwagi krytyczne

Praca jest poprawnie napisana i zasługuje na wysoką ocenę merytoryczną. Nie mniej jednak do rozprawy można mieć pewne zastrzeżenia.

Podstawową uwagą krytyczną do rozprawy jest brak informacji w rozprawie na temat złożoności obliczeniowej algorytmów i problemów szeregowania zadań. Złożoność obliczeniowa jest szczególnie istotna w przypadku systemów komputerowych pracujących w czasie rzeczywistym. Problem złożoności obliczeniowej w rozprawie został całkowicie pominięty. Odsyłam do pracy – klasyki literatury serii *Informatyka*¹ (elementarza złożoności obliczeniowej algorytmów i problemów szeregowania zadań).

W trakcie czytania rozprawy pojawiły się pytania do doktoranta.

¹ Jacek Błazewicz, Wojciech Cellary, Roman Słowiński, Jan Węglarz: *Badania operacyjne dla informatyków*, WNT 1983, rozdz. 5, *Deterministyczne problemy szeregowania zadań*, str. 18, 161-227

1. Jaka jest złożoność obliczeniowa zaproponowanego w rozdziale 4.4.2 algorytmu komunikacji zadań, przedstawionego na stronach 80–81?
2. Jak można rozbudować przedstawiony w rozprawie algorytm komunikacji zadań, aby umożliwić komunikację jednego zadania producenta z wieloma zadaniami konsumenta?
3. Jak można wykorzystać opracowane metody analizy czasowej w projektowaniu systemów czasu rzeczywistego, niewykorzystujących sterowniki PLC?

Oceniając rozprawę od strony edytorskiej można stwierdzić, że została ona starannie przygotowana, napisana poprawnym językiem, estetycznie wykonano wszystkie rysunki.

Nie mniej jednak rozprawa zawiera kilka usterek edytorskich i językowych. np.

- a) brak definicji systemu czasu rzeczywistego "odpowiedzialnego" (str. 17, 7wd),
- b) na stronie 19 doktorant wyróżnia trzy *kategorie ograniczeń* czasowych i używa terminologii polskiej, natomiast poniżej w podpisie rysunku 2.2 jest użyta terminologia angielska.
- c) niepełny wykaz oznaczeń na str. 9, np. brak symbolu λ str. 63 (czas procesora),
- d) w tekście występują drobne (nieliczne) literówki.

5. Wniosek końcowy

W podsumowaniu należy stwierdzić, że przedstawiona do oceny rozprawa doktorska zawiera oryginalne i wartościowe wyniki rozwiązania problemu naukowego, które stanowią znaczący wkład do nowoczesnej inżynierii oprogramowania związanej z modelowaniem systemów czasu rzeczywistego wykorzystywanych w sterowaniu procesami przemysłowymi.

Doktorant wykazał się wiedzą teoretyczną w tej dyscyplinie naukowej i wykazał się umiejętnościami samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Posiada dorobek naukowy w postaci 6 publikacji samodzielnymi i 6 publikacji zespołowych. Wymienione w poprzednim punkcie uwagi mają charakter dyskusyjny i w żadnym stopniu nie umniejszają osiągnięć doktoranta.

W związku z powyższym stwierdzam, że rozprawa doktorska pt.: „Zastosowanie wielozadaniowości do poprawy parametrów czasowych wykonania aplikacji w węzle rozproszonego systemu czasu rzeczywistego” zdecydowanie spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim określonym w art. 13, ust. 1 i ust. 2 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym i wnoszącej o dopuszczenie mgr inż. Arkadiusza Jestratjewa do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



A handwritten signature in black ink, appearing to read "Zygmunt Mazur".

Zygmunt Mazur