Prof. dr hab. inż. Bolesław Pochopień
Instytut Informatyki
Wydział Automatyki,
Elektroniki i Informatyki
Politechnika Śląska

Gliwice, 25.05.2011 r.

BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach

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, prof. nzw. w Pol. Śl.

(Recenzja opracowana na podstawie zlecenia Dziekana Wydziału Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej prof. Zdzisława Dudy – pismo RAu/350/2010/2011 z dnia 31.03.2011 r. - działającego w oparciu o uchwałę Rady Wydziału z dnia 29.03.2011 r.)

Cel, zakres, charakter i zawartość rozprawy

Zainteresowanie rozwojem i wykorzystaniem sterowników programowalnych PLC (ang. Programmable Logic Controllers) ciągle wzrasta wśród producentów, projektantów i użytkowników z uwagi na coraz to większe możliwości ich zastosowania do sterowania maszynami, urządzeniami i procesami przemysłowymi. W rozproszonych przemysłowych systemach czasu rzeczywistego węzłami systemu są zwykle sterowniki PLC. Początki rozwoju sterowników sięgają lat 60-tych ubiegłego stulecia, kiedy to podjęto próbę zastąpienia nimi układów przekaźnikowych w układach sterowania sekwencyjnego, przy uwzględnieniu możliwości uzyskania większej niezawodności, porównywalnych kosztów, a przede wszystkim łatwości programowania i przeprogramowywania, w zależności od zmieniających się warunków. Szczególny postęp w tym zakresie obserwuje się w latach 90-tych, kiedy nastąpił gwałtowny rozwój oprogramowania komputerów PC, a w szczególności oprogramowania do sterowania nadrzędnego i zbierania danych SCADA (ang. Supervisor Control And Data Acquisition), co zapewniło niezawodną komunikację z PLC oraz możliwość zmian jego oprogramowania w działających systemach sieciowych. Należy również zwrócić uwagę na możliwości jakie stwarza dostęp do wytwarzanych układów programowalnych. Z uwagi na powszechne stosowanie sterowników dokonano pewnej standaryzacji, ujętej w opracowanych przez Międzynarodową Komisję Elektroniki IEC (ang. International Electronical Commission) normach, które obejmują m.in. następujące zagadnienia: informacje ogólne, sprzęt i wymagania testowe, języki programowania, wytyczne użytkownika, wymiana informacji.

W ostatnich latach można zaobserwować tendencje producentów sterowników PLC do rozszerzania ich architektury, co stwarza możliwości przyjmowania zgłoszeń przerwań i ich programowej obsługi. Możliwa staje się obsługa pewnych zdarzeń, zgłaszanie i obsługa przerwań cyklicznych z zadanym okresem, wywłaszczanie wykonywanego programu lub procedury obsługi przerwania przez procedurę o wyższym priorytecie. Taki sterownik PLC umożliwia współbieżne wykonywanie wielu zadań o zdefiniowanych różnych priorytetach. Stwarza to zupełnie nowe możliwości realizacji systemów wielozadaniowych w oparciu o sterowniki programowalne, ale wymaga opracowania nowego modelu programowego sterownika, jak również metod prowadzenia analizy czasowej.

Autor pracy podjął to ambitne zadanie, proponując m.in.:

- wielozadaniowy model sterownika PLC, w którym mechanizm obsługi przerwań potraktowano jako pewien algorytm szeregowania zadań;
- metody analizy czasowej dla jednego i wielu źródeł przerwań w systemie;
- algorytm komunikacji między zadaniami w sterowniku;
- weryfikację doświadczalną uzyskanych rezultatów.

Pomocnym okazało się zastosowanie teorii szeregowania.

W wyniku podjęcia i zrealizowania tych zadań, uzyskano narzędzia przydatne projektantom systemów czasu rzeczywistego, a przeprowadzone badania eksperymentalne potwierdziły ich efektywność.

Praca ma charakter teoretyczno-analityczno-eksperymentalny, wyraźnie ukierunkowany w stronę praktycznych zastosowań. Tematyka badań jest bardzo ambitna i mieści się w nurcie istotnych badań światowych z tego zakresu. Zakres pracy jest stosunkowo szeroki. Wybór tematu należy uznać za interesujący, wciąż aktualny, bardzo ważny technicznie, a stopień trudności podjętego zadania, jego znaczenie naukowe oraz przydatność praktyczna odpowiadają ustawowo i zwyczajowo przyjętym kryterium, jakie wiąże się z rozprawą doktorską. Recenzowana rozprawa ma stosunkowo zwarty charakter i stanowi spójną tematycznie całość. Następstwo rozdziałów i podrozdziałów uznać można w zasadzie za właściwe, lecz ich zawartość i proporcje mogą być dyskusyjne. Kolejno formułowane i rozwiązywane w pracy częściowe problemy składają się na uzyskany efekt końcowy.

Opiniowana praca, o ogólnej objętości 177 stron, obejmuje 7 rozdziałów, w tym 3 zasadnicze:

- 4. Model systemu wielozadaniowego (str.55-92)
- 5. Badania eksperymentalne (str.93-136)
- 6. Komunikacja w rozproszonych systemach czasu rzeczywistego (str.137-150)

a ponadto wykaz bibliograficzny, wykaz oznaczeń, skorowidz, wykaz tabel i rysunków i streszczenie w języku angielskim.

W rozdziale 1 (str.11-16), stanowiącym wprowadzenie, przedstawiono m.in. cel, zakres i 3 tezy pracy (dwie pomocnicze i jedną zasadniczą).

Rozdział 2 (str.17-41) poświęcono przedstawieniu wybranych zagadnień z teorii szeregowania zadań w systemach czasu rzeczywistego.

W rozdziale 3 (str.43-53) przedstawiono klasyczny model programowy sterowników PLC, sterownik jako węzeł systemu rozproszonego, możliwości redukcji czasu trwania cyklu sterownika, przerwania w sterownikach (układów we-wy, zegara systemowego, koprocesorów). Omawiając zagadnienia związane z redukcją czasu trwania cyklu sterownika zwrócono uwagę m.in. na koncepcję szeregowania zadań bez wywłaszczania, przedstawioną we wcześniejszych pracach Autora, zaimplementowaną i przetestowaną na platformie GE GFanuc PACSystems, jak również na opracowane oprogramowanie narzędziowe ułatwiające

prowadzenie analizy czasowej, parametryzację komponentu szeregującego zadania oraz ograniczające niebezpieczeństwo wprowadzenia błędu podczas tworzenia oprogramowania.

W rozdziale 4 przedstawiono rezultaty dokonanych przez Autora analiz teoretycznych, związanych z istotnymi zagadnieniami przeprowadzania analizy czasowej w systemach czasu rzeczywistego o określonych ograniczeniach czasowych, których wielozadaniowość z wywłaszczeniem zrealizowano wykorzystując system przerwań o odpowiednio ustalonych priorytetach. Zaproponowano metodę analizy czasowej sterowników PLC z aktywnym pojedynczym źródłem przerwań. Zaproponowano również postać funkcji żądanego czasu procesora, co pozwoliło zastosować metodę analizy żądań czasowych TDA (ang.Time Demand Analysis) dla systemów z wieloma źródłami przerwań oraz ograniczoną liczbą priorytetów przerwań. Ponadto zaproponowano algorytm wymiany informacji między niezależnie wykonywanymi periodycznymi zadaniami bez ich blokowania. Sformułowano i udowodniono 9 twierdzeń i 3 lematy.

Rozdział 5 zawiera opis przebiegu badań eksperymentalnych mających skonfrontować uzyskane wyniki teoretyczne z wynikami uzyskanymi w badaniach doświadczalnych. Zakres tych badań obejmował:

- przerwania zegara systemowego;
- zewnętrzne źródła przerwań dla pracy jednozadaniowej i wielozadaniowej.

Dla tych przypadków Autor przedstawił:

- konfiguracje zbudowanych stanowisk badawczych;
- programy badań;
- uzyskane wyniki pomiarowe;
- dyskusję wyników.

Zwrócono również uwagę na występujące błędy przypadkowe i systematyczne oraz ich główne źródła.

W rozdziale 6 Autor przedstawił przykład analizy czasowej rozproszonego systemu czasu rzeczywistego za pomocą opracowanych metod analizy. Zaproponowane zostały zależności, umożliwiające określenie granicznych czasów trwania wymian w sieci. Wyniki obliczeń skonfrontowano z wielkościami pomiarowymi w czasie trwania wymian w sieci Master - Slave wykorzystującej protokół Modbus - RTU. Węzłami sieci były sterowniki GE Fanuc PACSystems RX7i z jednostkami centralnymi CPE020/700 MHz (abonent nadrzędny) lub CPE010/300 MHz (abonenci podrzędni). Przedstawiono program badań, uzyskane wyniki pomiarów i ich dyskusję, zwracając również uwagę na źródła błędów przypadkowych i systematycznych. Ponadto przedstawiono sposób przekształcania modelu systemu z synchroniczną obsługą wymian w model systemu z asynchroniczną obsługą wymian.

Rozdział 7 stanowi podsumowanie badań i omówienie uzyskanych rezultatów.

Analiza źródeł

Wykaz bibliograficzny obejmuje w zasadzie najważniejsze pozycje związane z tematyką i rozpatrywanym zakresem rozprawy, ale można go było uzupełnić o jeszcze kilka istotnych pozycji, chociażby podręcznik *Kasprzyk J.: Programowanie sterowników przemysłowych. WNT, Warszawa 2007*. Lista cytowanych źródeł obejmuje 135 pozycji, wśród których Autor wyróżnił: publikacje, książki, monografie (111 pozycji), dokumentacje firmowe (19), standardy i specyfikacje (5). Wśród nich jest 5 autorskich (1 w czasopiśmie *Napędy i Sterowanie,* 1 w *Proceedings of International Workshop on Control and Information Technology*, 3 w materiałach krajowych konferencji – wydanych w *Wydawnictwach Komunikacji i Łączności* oraz dodatkowo *Praca dyplomowa magisterska* Autora) i 7 współautorskich w materiałach konferencyjnych. Zdecydowana większość pozycji

zamie-szczonych w wykazie bibliograficznym pochodzi z okresu ostatnich dwudziestu lat: 2009-2000(75), 1999-1990(46), 1989-1973(14).

Na podkreślenie zasługuje bardzo dobre rozeznanie Doktoranta w literaturze przedmiotu, a także umiejętne jej studiowanie. Wnioski z przeglądu źródeł sformułowane są w sposób jasny i przekonywujący. Autor podjął, mniej lub bardziej udaną, trudną próbę uporządkowania dotychczasowego dorobku literaturowego i oceny stanu wiedzy w zakresie objętej tematyką rozprawy.

Ocena uzyskanych rezultatów

Autor pracy dość przekonywująco przedstawił uzyskane przez siebie wyniki teoretyczne i eksperymentalne, zachowując przy tym rozsądną zwartość opracowania. Recenzowana praca, która dogłębnie i w tak szerokim zakresie zwraca uwagę projektantom systemów czasu rzeczywistego na możliwości przeprowadzania analizy czasowej, przebiegających w nich procesów, zweryfikowanych badaniami eksperymentalnymi.

Podsumowując oryginalny dorobek Autora zawarty w rozprawie, warto zwrócić uwagę na jego następujące elementy:

- opracowanie modelu sterowników PLC, ze specyficznie potraktowanym mechanizmem obsługi przerwań;
- opracowanie metod analizy czasowej dla systemów z pojedynczym źródłem przerwań, z wieloma źródłami przerwań oraz z ograniczoną liczbą priorytetów przerwań;
- opracowanie algorytmu komunikacji między niezależnie wykonywanymi zadaniami periodycznymi bez ich blokowania;
- przeprowadzenie badań eksperymentalnych.

Rezultaty uzyskane w pracy stanowią wartościowy i znaczący wkład Autora w rozwój dyscypliny informatyka. Uzyskane rezultaty, moim zdaniem, są również podstawą do prowadzenia dalszych badań. Sposób podejścia do rozwiązywania postawionego zadania uważam za metodologicznie prawidłowy. Zawartość poszczególnych części pracy i rozwój zawartych w nich myśli świadczy o dojrzałości naukowej Autora, o dobrym przygotowaniu do prowadzenia badań, jak i popartych intuicją dużych umiejętnościach inżynierskich. Praca mgr. inż. Arkadiusza Jestratjewa porządkuje istniejący stan wiedzy w rozpatrywanym zakresie, wprowadzając do niego szereg nowych istotnych elementów, będących wyłącznie rezultatem badań teoretycznych i eksperymentalnych Autora. Praca zawiera przejrzyście opracowaną część ilustracyjną. Wyniki badań eksperymentalnych przekonują o celowości zainteresowania zaproponowanymi metodami analizy projektantów systemów czasu rzeczywistego. Zachęcam Autora do niezwłocznego opublikowania, w znaczących czasopismach naukowych, interesujących i wartościowych rezultatów, uzyskanych w wyniku przeprowadzonych badań.

Uwagi ogólne i szczegółowe

Analiza treści pracy i jej umiejscowienie, w szerszym kontekście, rodzi pytania uzupełniające i rozszerzające do jej Autora:

- Jakie są możliwości wykorzystania autorskich metod analizy czasowej w systemach czasu rzeczywistego nie wykorzystujących sterowników PLC?
- Jakie są możliwości rozszerzenia autorskiego algorytmu asynchronicznej komunikacji zadań?
- Jakie są możliwości wykorzystania sposobu przekształcania modelu systemu z synchroniczną obsługą wymian w model z asynchroniczną obsługą, w odniesieniu do sieci z krążącym żetonem?

Do recenzowanej pracy można sformułować pewne uwagi krytyczne, o charakterze ogólnym i szczegółowym, o różnej wadze ważności i znaczenia:

1. Analizując strukturę rozprawy, z redakcyjnego punktu widzenia, właściwszym byłoby wyodrębnienie osobnego rozdziału poświęconego systemom czasu rzeczywistego, ale obejmującego zdecydowanie szerszy zakres niż to uczyniono w ramach podrozdziału 2.1 (2 strony) i „wtrącanych wstawek" w pozostałych podrozdziałach rozdziału 2, zatytułowanego *TEORIA SZEREGOWANIA.*
2. Trudno uznać za właściwą zawartość podrozdziału 1.4. *Terminologia* (7 zdań) – odnoszącą się tylko do kilku wybranych pojęć z teorii szeregowania. Zarówno treści podrozdziału 1.4 i 1.5 (*Pojęcie czasu*), należałoby odpowiednio zamieścić wraz z wszystkimi innymi istotnymi pojęciami w dwóch oddzielnych rozdziałach:
   - *SYSTEMY CZASU RZECZYWISTEGO*
   - *TEORIA SZEREGOWANIA*

   a rozdział 1 (*WPROWADZENIE*) ograniczyć do przedstawienia celu, zakresu, tez i struktury pracy. Pozwoliłoby to uniknąć pytań typu: „czy system czasu rzeczywistego musi być systemem informatycznym"?; „czy omawiany system generujący przebieg elektryczny o zadanym kształcie jest systemem informatycznym"?; „czas znikomy"?; „czas długi"?; „wyraźnie lepsze"? Jaka jest wartość poznawcza rys.2.2?
3. Może Autor podjąłby trud połączenia zaproponowanych trzech tez w jedną? (Na marginesie można zapytać, czy jest potrzebne rozróżnienie między „przy zachowaniu" i „przy dotrzymaniu", występującymi w tezie 2 i 3?) A gdyby sformułowano jedną tezę, a nawet przy tych trzech dotychczasowych, czy Autor, bogaty w doświadczenia związane z realizacją pracy, mógłby zaproponować jeszcze inne sformułowanie tematu przedstawionej do recenzji pracy?
4. Rozdział 7 (*PODSUMOWANIE I WNIOSKI*) mógłby być bardziej szczegółowy, zawierający wszystkie istotne wyniki i wnioski, rozproszone w poszczególnych podrozdziałach. Szkoda, że Autor nie przedstawił w nim dalszych możliwych kierunków badań w realizowanej tematyce.
5. Wykaz oznaczeń jest niekompletny, zbyt przypadkowy, gdyż brak w nim m.in. wielu oznaczeń występujących w poszczególnych rozdziałach. To samo, chociaż w mniejszym zakresie, dotyczy skorowidza.
6. Skoro zamieszczono anglojęzyczne streszczenie i spis treści, to do kompletu brakuje anglojęzycznego wykazu tabel i rysunków oraz streszczenia w języku polskim.
7. Nie ustrzegł się Autor żargonowych i niezręcznych sformułowań, chociażby na przykład:
   - „Stosowane współcześnie urządzenia informatyczne zbudowane są z cyfro-wych układów sekwencyjnych, w których upływ czasu jest kwantowany przez zegar taktujący"(str.16); „jitter nie występuje"(str.38); „jitter niekorzystnie wpływa"(str.37); „wyeliminować jitter" (str.27); „Czas . . . przekracza zakładany koszt".
8. Autor używa w pracy pojęć *zadanie* i *praca*, mając na uwadze, w moim rozumieniu, rozróżnienie *zadania do wykonania* od *zadania wykonywanego.* Gdyby, chcieć zrezygnować z tego „niezręcznego" pojęcia *praca,* można by pewien fragment ze str.20 zastąpić sformułowaniem: „Realizacja w systemie czasu rzeczywistego *i*-tego zadania, w odpowiedzi na wystąpienie określonego zdarzenia, wymaga wykonania sekwencji działań, zazwyczaj wielokrotnie w trakcie działania systemu. Wystąpienie (zajście) zdarzenia w chwili $r_{i,j}$ uwalnia (początkuje) *j*-tą sekwencję *i*-tego zadania". Wtedy, w miejsce używanych w pracy terminów, można by użyć bardziej precyzyjnych i „przejrzystych" :

- τ_i - *i*-te zadanie;
-
- $\tau_{i,j}$ - *j*-ta sekwencja *i*-tego zadania;
-
- π_i - priorytet *i*-tego zadania;
-
- $\pi_{i,j}$ - priorytet *j*-tej sekwencji *i*-tego zadania;
-
- $R_{i,j}$ - czas wykonywania (realizacji, trwania) *j*-tej sekwencji *i*-tego zadania;
-
- itd.

9. Spotyka się niejednolite nazewnictwo, na przykład: w wykazie oznaczeń jest *moment,* a w rozdziałach *moment* lub *chwila.*
10. Jeśli się zgodzić, że *instancja* to *każdy z kolejnych stopni w hierarchii,* może powstać pytanie jak inaczej sformułować wyrażenie: „system przerwań jako instancja algorytmu szeregowania zadań"?
11. Używając akronimów, Autor podaje ich pełną nazwę anglojęzyczną, jednak nie zawsze tam, gdzie występują one po raz pierwszy.
12. Nie uniknięto niejednolitości w opisie pozycji bibliograficznych np. w tytułach anglojęzycznych (małe – duże litery).

Zawarte w recenzji uwagi ogólne i szczegółowe, nie umniejszają znacząco wartości całej pracy, nie podważają dorobku Doktoranta, ani nie kwestionują zasadniczej wartości uzyskanych przez Niego wyników. Wyrażam nadzieję, że będą mogły być pomocne w kontynuowaniu prowadzonych badań i publikowaniu ich wyników.

Wniosek końcowy

Podsumowując moją recenzję pragnę stwierdzić, że Autor pracy wykazał się dogłębną wiedzą z zakresu zagadnień, które uczynił przedmiotem dociekań naukowych, rozwiązał nietrywialny, aktualny i ważny technicznie problem naukowy, użyteczny praktycznie, zweryfikował go eksperymentalnie i dobrze udokumentował. Wykazał się przy tym dużą inicjatywą twórczą, umiejętnością rozwiązywania złożonych problemów, bardzo dobrym opanowaniem warsztatu badawczego i przygotowaniem do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Uważam, że przedstawiona do recenzji praca mgr. inż. Arkadiusza Jestratjewa pt. *Zastosowanie wielozadaniowości do poprawy parametrów czasowych wykonania aplikacji w węźle rozproszonego systemu czasu rzeczywistego* spełnia wymagania postanowień obowiązującej *Ustawy o stopniach naukowych i o tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki.* Dlatego wnoszę o przyjęcie recenzowanej pracy jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej Autora do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Bolesław Podkowski