

Prof. dr hab. inż. Jerzy KLAMKA

Gliwice.07.07.2014.

Członek rzeczywisty PAN

Instytut Automatyki

Politechnika Śląska

ul. Akademicka 16

44-100 Gliwice

jerzy.klamka@polsl.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej

Pana mgr inż. Piotra DUCHA

**pt. "Optymalizacja algorytmów numerycznych wykorzystujących
równania różnicowe całkowitych i niecałkowitych rzędów"**

Niniejsza recenzja dotyczy pracy doktorskiej Pana mgr inż. Piotra Ducha pt. "Optymalizacja algorytmów numerycznych wykorzystujących równania różnicowe całkowitych i niecałkowitych rzędów", której Promotorem jest Pan Prof. dr hab. inż. Piotr Ostalczyk. Recenzję opracowano na zlecenie Prodziekana Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej, Pana Prof. dr hab. inż. Andrzeja Bartoszewicza, działającego na podstawie uchwały Rady Wydziału o powołaniu Recenzentów z dnia 13 maja 2014 roku.

Badania dotyczące teorii skończenie-wymiarowych układów dynamicznych o stałych parametrach zarówno ciągłych jak i dyskretnych prowadzone są od wielu lat. Istnieje bardzo bogata literatura z tego zakresu obejmująca szeroka klasę układów oraz różnorodne zagadnienia takie jak: budowa modelu matematycznego i jego identyfikacja, stabilność, sterowalność, obserwowalność, realizacja układów oraz ich postaci kanoniczne. Tym niemniej w związku z intensywnym rozwojem badań w zakresie nowych specjalnych klas układów dynamicznych, istnieje wiele zagadnień z tego zakresu do tej pory nie w pełni rozwiązanych. Dotyczy to szczególnie problematyki układów dynamicznych niecałkowitego rzędu zarówno ciągłych jak i dyskretnych.

W ciągu kilku ostatnich lat znacznie wzrosło zainteresowanie układami dynamicznymi niecałkowitego rzędu, których różniczkowe równania stanu w przypadku ciągłym zawierają pochodne niecałkowitego rzędu, a w przypadku dyskretnym różnicowe równania stanu posiadają operatory różnicowe niecałkowitego rzędu. W obu tych przypadkach powoduje to istotne trudności zarówno o charakterze pojęciowym jak i obliczeniowym. Związane to jest między innymi z istnieniem różnych nie w pełni równoważnych definicji operatorów różnicowych niecałkowitego rzędu.

Zasadniczym celem opiniowanej rozprawy doktorskiej jest przeprowadzenie analizy podstawowych własności stacjonarnych, skończenie-wymiarowych, dyskretnych układów dynamicznych niecałkowitego rzędu oraz zaproponowanie efektywnych algorytmów numerycznych służących do celów sterowania. Rozważania teoretyczne ilustrowane są na przykładzie modeli matematycznych opisujących działanie militarnego robota mobilnego. Tak sformułowaną tematykę rozprawy doktorskiej uważam za aktualną, interesującą, oraz dającą możliwość uzyskania oryginalnych zarówno teoretycznych jak i aplikacyjnych rezultatów badawczych.

Opiniowana rozprawa doktorska ma 166 stron i składa się z 8 zasadniczych rozdziałów, podsumowania, spisu rysunków i tabel oraz obszernego wykazu cytowanych prac zawierającego wiele najnowszych pozycji literaturowych, opublikowanych w ciągu ostatnich kilku lat.

Rozdział 1 będący wprowadzeniem zawiera uzasadnienie podjętej tematyki badawczej na tle rezultatów znanych w literaturze specjalistycznej z zakresu teorii liniowych układów dynamicznych oraz robotów mobilnych. Ponadto podano podstawowe cele pracy oraz zasadniczą tezę rozprawy dotyczącą możliwości wykorzystania rachunku operatorów różnicowych niecałkowitego rzędu do opisu i modelowania wybranych układów z dziedziny robotyki, a w szczególności w zakresie konstrukcji algorytmów numerycznych. Na zakończenie rozdziału przedstawiono także skrótowy opis zawartości poszczególnych rozdziałów rozprawy.

Rozdział 2 jest matematycznym opisem systemu robota mobilnego o specjalistycznym przeznaczeniu głównie militarnym. Opisano funkcje robotów mobilnych ze szczególnym uwzględnieniem aspektów militarnych, takich jak zadania zwiadowcze oraz wykrywanie min na polu walki. Robot posiada budowę modułową, a poszczególne moduły są od siebie odseparowane co umożliwia łatwe wprowadzanie modyfikacji. Przedstawiono w sposób opisowy oraz za pomocą schematów blokowych moduły rozpatrywanego robota mobilnego.

Kolejny 3 rozdział pracy przedstawia problematykę mikroprocesorów oraz przetworników analogowo-cyfrowych i cyfrowo-analogowych ze szczególnym uwzględnieniem błędów przetwarzania sygnałów. Dokonano analizy podstawowych charakterystyk mikroprocesorów porównując między innymi ograniczenia czasu wykonywanych obliczeń oraz ograniczenia pamięci. Rozdział ten opracowano na podstawie badań literaturowych.

W rozdziale 4 podano podstawowe definicje z dziedziny rachunku operatorów różnicowych niecałkowitego rzędu oraz dokonano porównania różnych rodzajów operatorów różnicowych niecałkowitego rzędu. Przedstawiono również problematykę praktycznej realizacji algorytmów numerycznych zawierających równania różnicowe niecałkowitego rzędu. Rozdział zawiera również definicje i twierdzenia z zakresu rachunku operatorów różnicowych niecałkowitego rzędu dla funkcji rzeczywistych. Rozdział ten w całości opracowano na podstawie źródeł literaturowych.

Rozdział 5 poświęcony jest tematyce regulatorów PID niecałkowitego rzędu, zarówno ciągłych, jak i dyskretnych. Zamieszczono modele matematyczne poszczególnych typów regulatorów. Rozpatrzono układy regulacji, w których obiekt regulacji lub/ oraz regulator są układami niecałkowitego rzędu. Dokonano porównania działania takich układów regulacji.

Rozdział 6 zawiera zasadnicze rezultaty rozprawy i dotyczy możliwości praktycznej numerycznej realizacji algorytmu PID niecałkowitego rzędu. Zasadniczą część rozdziału stanowią rozważania dotyczące różnego rodzaju optymalizacji działania algorytmów. Rozpatruje się zarówno optymalizacje pod względem szybkości działania algorytmu, jak i optymalizację pod względem wykorzystania pamięci komputera. Optymalizacja działania algorytmu polega na odpowiednim doborze funkcji rzędów sumowania i różnicowania przy założeniu stabilności układu regulacji. Podano metody wyznaczania sum i różnic niecałkowitych rzędów oraz zamieszczono schemat blokowy algorytmu. Końcowa część rozdziału poświęcona jest realizacji mikroprocesorowej regulatora PID niecałkowitego rzędu.

Rozdział 7 pracy zawiera rezultaty z zakresu badań eksperymentalnych przeprowadzanych z zastosowaniem autorskiego algorytmu w zamkniętym układzie regulacji ramienia robota. Zaprezentowano opis modelu ramienia robota mobilnego o czterech stopniach swobody oraz schemat blokowy systemu sterowania. Następnie przedstawiono w postaci graficznej rezultaty badań symulacyjnych dla różnych parametrów oraz różnych regulatorów niecałkowitego rzędu. W zakończeniu rozdziału dokonano porównania jakości sterowania dla przypadku regulatora typu PD niecałkowitego rzędu i klasycznego regulatora typu PD.

Ostatni 8 rozdział rozprawy dotyczy tematyki szeroko rozumianej analizy obrazów cyfrowych i przedstawia możliwość zastosowania algorytmów zawierających równania różnicowe niecałkowitego rzędu do wykrywania krawędzi w obrazach. Zaprezentowano matematyczne opisy wykonywanych operacji. Ponadto, dokonano porównania działania algorytmów klasycznych z algorytmami opartymi na rachunku różnicowym niecałkowitego rzędu.

W zakończeniu pracy Autor oraz przedstawia w skrócie zasadnicze rezultaty merytoryczne rozprawy oraz proponuje kierunki dalszych badań.

Zasadniczymi rezultatami rozprawy doktorskiej są:

- opracowanie algorytmu sterowania ramieniem robota mobilnego,
- podanie warunków stabilności zamkniętego układu regulacji zawierającego elementy dyskretne niecałkowitego rzędu,
- zaproponowanie efektywnej metody obliczania różnicy i sumy wstecznej niecałkowitych rzędów.

Opiniowana praca doktorska ma charakter zarówno teoretyczny jak i aplikacyjny. Sformułowane przez Autora we wprowadzeniu zasadnicze cele rozprawy doktorskiej zostały osiągnięte, a przedstawiona na wstępie teza rozprawy dotycząca możliwości wykorzystania rachunku operatorów różnicowych niecałkowitego rzędu do modelowania matematycznego i sterowania robotem mobilnym w pełni dowiedziona.

Zasadnicze rezultaty rozprawy są dobrze udokumentowane a ich ewentualna przydatność praktyczna w dziedzinie analizy oraz sterowania układami dyskretnymi niecałkowitego rzędu nie budzi zastrzeżeń. Na podkreślenie zasługuje stosunkowo bogaty dorobek publikacyjny Autora, który zawiera 6 współautorskich prac opublikowanych w czasopiśmie zagranicznych lub polskich oraz 6 prac współautorskich zamieszczonych w materiałach międzynarodowych konferencji.

Autor recenzowanej pracy wykazał się dobrą znajomością zagadnień zarówno w zakresie tworzenia modeli matematycznych układów dynamicznych dyskretnych niecałkowitego rzędu, jak i szeroko rozumianej problematyki układów dynamicznych, posługując się przy tym zaawansowanym aparatem matematycznym analizy matematycznej i algebry. Zasadnicze rezultaty teoretyczne rozprawy są ilustrowane przykładami symulacyjnymi z zakresu robotyki.

Struktura wewnętrzna pracy, stosowana terminologia, kolejność poszczególnych rozdziałów i podrozdziałów są właściwe. Pod względem redakcyjnym praca napisana jest stosunkowo starannie z nielicznymi błędami literowymi. Praca ma charakter interdyscyplinarny i zawiera rezultaty zarówno z obszaru Automatyki i Robotyki, jak i Informatyki.

W okresie ostatnich kilku lat ukazało się wiele prac dotyczących sterowania minimalno-energetycznego w układach niecałkowitego rzędu zarówno ciągłych jak i dyskretnych, co wiąże się ściśle z problematyką sterowalności takich układów. Rezultaty tych prac mogą znaleźć zastosowanie do sterowania ramienia robota. Uwagi dotyczące tej problematyki byłyby uzupełnieniem rozważań rozdziału 7. Ponadto przeprowadzone badania symulacyjne opisane w rozdziale 7 zawierają stosunkowo mało wyników badań, co utrudnia porównanie działania układów regulacji.

Podsumowując uważam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymagania odnośnej Ustawy Sejmowej i wnioskuję o dopuszczenie Pana mgr inż. Piotra Ducha do publicznej obrony rozprawy doktorskiej przed Komisją Rady Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej.

Jerzy Klamka

