

Prof. dr hab. inż. Wojciech MITKOWSKI
Katedra Automatyki i Inżynierii Biomedycznej
AGH al. Mickiewicza 30/B-1
30-059 KRAKÓW
wojciech.mitkowski@agh.edu.pl

Kraków, piątek, 12 września 2014



RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

(na zlecenie RAu /527/2013/2014 z dnia 25.06.2014, Politechnika Śląska, Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki Dziekan_aei@polsl.pl)

TYTUŁ ROZPRAWY:

*Charakterystyki liczbowe dyskretnych układów
hybrydowych. Gliwice 2014, s. 1-123.*

AUTOR ROZPRAWY:

mgr inż. **Michał Niezabitowski**
(Politechnika Śląska w Gliwicach, WAEiI)

PROMOTOR ROZPRAWY:

Prof. dr hab. inż. Adam CZORNIK,
(Politechnika Śląska w Gliwicach, WAEiI).

Praca zawiera 123 strony maszynopisu (skład komputerowy), w tym wstęp, 5 rozdziałów zasadniczych, zakończenie (s. 109) i wykaz literatury (275 pozycji, w tym 1 praca samodzielna Autora [207] oraz 14 współautorskich [84, 85, 86], [208-218]). Zasadnicze oryginalne wyniki znajdują się w rozdziale 5 (s. 45-92) i 6 (s. 93-107).

Cel, zakres i charakter rozprawy.

Praca ma charakter teoretyczny z wyraźnym ukierunkowaniem teorii na zastosowania praktyczne, co jest ważne w naukach technicznych. Cel i zakres pracy omówiono zwięźle we wstępie (s. 5-6)). Na stronie 5 sformułowano tezę pracy („własności dynamiczne dyskretnych układów hybrydowych mogą być scharakteryzowane przez zbiór wykładników charakterystycznych”), jak się wydaje dość oczywistą.

W ostatnich latach można zauważyć (ponownie) zainteresowanie ważną w zastosowaniach klasą dyskretnych układów hybrydowych (również ze względu na szybki rozwój technik komputerowych), czyli układów które są kombinacjami równań różnicowych i odpowiednich funkcji przełączających. Zatem wybór tematu rozprawy jest właściwy. W pracy podano szereg przykładów obiektów i zjawisk rzeczywistych, które można zamodelować za pomocą odpowiednich inkluzji dyskretnych.

W pracy rozważane są zagadnienia dotyczące stabilności (asymptotycznej stabilności) dyskretnych układów hybrydowych. Własności takich układów można badać poprzez analizę dynamiki każdego z podukładów oddzielnie, a następnie uwzględniając wpływ funkcji przełączającej na własności dynamiczne całego układu.

Tego rodzaju sposób analizy dyskretnych układów dynamicznych stosuje się do dwóch klas układów: 1. Dyskretnych układów hybrydowych 2. Klasycznych równań rekurencyjnych

Model układu hybrydowego składa się ze zbioru, na ogół skończonego, równań różnicowych pomiędzy którymi następują przełączenia zgodnie z wartościami sygnału przełączającego. Dobrym modelem całego układu jest dyskretna inkluzja. W literaturze istnieją pewne fragmentaryczne metody badania stabilności i sterowalności takich inkluzji dyskretnych. W recenzowanej pracy własności dynamiczne inkluzji są badane z wykorzystaniem różnego typu charakterystyk liczbowych (wykładników charakterystycznych Lapunowa, Perrona, Bohla). Warto zauważyć, że jeżeli poszczególne równania różnicowe są stacjonarne i liniowe, to dla ustalonej funkcji przełączającej dostajemy model w postaci dyskretnej niestacjonarnej inkluzji liniowej.

Zawartość rozprawy.

Przedstawiona do recenzji praca została podzielona na 7 rozdziałów i wykaz literatury zawierający 275 pozycji. Układ pracy logiczny, ale odczuwalny jest brak streszczenia w języku polskim i dodatkowo np. w języku angielskim.

Po wstępie, w rozdziale 2 wprowadzono definicje podstawowe pojęcia używane w dalszej części pracy. Rozdział 3 (s. 15-33) zawiera przykłady, które uzasadniają potrzebę badania układów hybrydowych. Przedstawiono następujące przykłady praktyczne: nagrywanie magnetyczne (s. 15), problem agentów autonomicznych (s. 23), problem śledzenia celu (s. 27), modelowanie elektrowni słonecznych (s. 29). W rozdziale 4 opisano różne rodzaje stabilności dyskretnej niestacjonarnej inkluzji liniowej. Rozdziały 5 i 6 (s. 45-107) stanowią zasadniczą część pracy. Rozdział 5 zawiera szereg oryginalnych wyników dotyczących wykładników charakterystycznych dyskretnej niestacjonarnej inkluzji liniowej. Natomiast rozdział 6 zawiera propozycje charakterystyk liczbowych dyskretnej inkluzji liniowej wykorzystywanych do analizy stabilności. W rozdziałach 5 i 6 sformułowano również szereg problemów otwartych (s. 87, 92, 107), które mogą stać się przedmiotem przyszłych badań. W zakończeniu dokonano zwięzłego podsumowania uzyskanych wyników.

Poprawność i oryginalność.

Rezultaty przedstawione w pracy były częściowo publikowane wcześniej i zostały uzupełnione i rozwinięte w przedstawionej do recenzji rozprawie doktorskiej. Prezentowane wyniki Autora są przedstawione na tle zagadnień rozważanych w dotychczasowej literaturze przedmiotu (275 pozycji, w tym 1 praca samodzielna Autora [207] oraz 14 współautorskich

[84, 85, 86], [208-218]). Zasadnicze oryginalne wyniki znajdują się w rozdziale 5 (s. 4592) i 6 (s. 93-107).). Praca jest napisana starannie i poprawnie pod względem językowym.

Prace Autora publikowane (numeracja zgodna z numeracją w rozprawie):

[84] A. Czornik, M. Niezabitowski, Lyapunov Exponents for Systems with Unbounded Coefficients, *Dynamical Systems: An International Journal*, 28(2), 140-153 (2013).

[85] A. Czornik, A. Nawrat, M. Niezabitowski, On the Lyapunov exponents of a class of the second order discrete time linear systems with bounded perturbations, *Dynamical Systems: An International Journal*, 28(4), 473-483 (2013).

[86] A. Czornik, M. Niezabitowski, On the spectrum of discrete time-varying linear systems, *Nonlinear Analysis: Hybrid Systems*, 9, 27–41 (2013).

[207] M. Niezabitowski, Zastosowania promienia spektralnego zbioru macierzy, monografia: Postępy Automatyki i Robotyki, KAIR PAN, rozdz. mon. Modelowanie, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 16(2), 274-287 (2011).

[208] M. Niezabitowski, A. Czornik, A. Nawrat, Charakterystyki liczbowe dyskretnych inkluzji liniowych, materiały konferencyjne: Czterdziesta Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Szkoleniowa Zastosowań Matematyki 30.08-06.09.2011 r., Zakopane-Kościelisko (2011).

[209] M. Niezabitowski, A. Czornik, P. Mokry, On a continuity of characteristic exponents of linear discrete time-varying systems, *Archives of Control Sciences*, 22(LVIII)(1), 17–27 (2012).

[210] M. Niezabitowski, A. Czornik, A. Nawrat, Lyapunov Exponents for Discrete Time-Varying Systems, *Advanced Technologies for Intelligent Systems of National Border Security, Studies in Computational Intelligence*, 440, 29-44 (2012).

[211] M. Niezabitowski, A. Czornik, A. Nawrat, A. Szyda, On the Lyapunov and Bohl exponent of timevarying discrete linear system, *Proceedings of the 20th Mediterranean Conference on Control & Automation (MED)*, Barcelona, Hiszpania, 03-06.07, 2012, 194-197 (2012).

[212] M. Niezabitowski, A. Czornik, Wykładniki Lapunowa układów liniowych z nieograniczonymi współczynnikami, Materiały konferencyjne: Czterdziesta Pierwsza Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Szkoleniowa Zastosowań Matematyki, 04.09-11.09.2012, Zakopane-Kościelisko (2012).

[213] M. Niezabitowski, A. Czornik, O parametrycznej zależności wykładników Lapunowa dyskretnych układów liniowych, Materiały konferencyjne: XVIII Krajowa Konferencja Automatyzacji Procesów Dyskretnych w Zakopanem 19-22.09.2012, Analiza procesów dyskretnych, I, 41-48 (2012).

[214] M. Niezabitowski, A. Czornik, A. Nawrat, Estimation of solution of discrete linear time-varying system, *Studies in Computational Intelligence, Vision Based Systems for UAV Applications*, 481, 311-326 (2013).

[215] M. Niezabitowski, A. Czornik, Controllability and stability of switched systems, *Proceedings of the 18th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics, Międzyzdroje, Polska, 26-29.08.2013*, 16-21 (2013).

[216] M. Niezabitowski, J. Klamka, A. Czornik, Stability and controllability of switched systems, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences - Technical Sciences*, 61(3), 547-555 (2013).

[217] M. Niezabitowski, A. Czornik, J. Klamka, About the number of the lower Bohl exponents of diagonal discrete linear time-varying systems, *Proceedings of the 11th IEEE*

International Conference on Control & Automation June 18-20, 2014, Taichung, Taiwan, (2013).

[218] A. Czornik, M. Niezabitowski, On the stability of Lyapunov exponents of discrete linear systems, Proceedings of European Control Conference 2013, 2210-2213 (2013).

Za oryginalny dorobek Autora można uznać:

1. Monograficzne opracowanie rezultatów dotyczących charakterystyk liczbowych układów dyskretnych różnych typów (głównie rozdział 5 i 6).
2. Twierdzenie 42 (s. 53, [218]), które podaje warunki wystarczające dla stabilności wykładników Lapunowa, rozumianej jako niewrażliwość na małe zakłócenia parametrów układów.
3. Przykład układu (przykład 47, s. 56), którego zbiór wykładników Perrona tworzy cały odcinek.
4. Twierdzenie 51 (s. 59), w którym zebrano własności wykładników Perrona.
5. Lemat 59 (s. 65) i twierdzenie 60 (s. 66), dotyczące wykładników Bohla. Również twierdzenie 68 (s. 75, [217]) o różnych dolnych wykładnikach Bohla oraz twierdzenia 76 (s. 88) i 77 (s. 77) oraz wynikające z nich wnioski (odpowiednio na s. 89 i 92), które zawierają nierówności pomiędzy wykładnikami Bohla układu zakłóconego i wykładnikami ogólnymi układu oryginalnego.
6. Twierdzenie 90 (s. 98), o równoważności absolutnej asymptotycznej stabilności i potęgowej stabilności.
7. Przykład 95 (s. 99), w którym wykazano nieprawdziwość pewnego wyniku literaturowego stwierdzającego, że markowska asymptotyczna stabilność jest równoważna temu, że dolny uogólniony promień spektralny jest mniejszy od jedności.
8. Przedstawienie przykładów zastosowań praktycznych: nagrywanie magnetyczne (s. 15), problem agentów autonomicznych (s. 23), problem śledzenia celu (s. 27), modelowanie elektrowni słonecznych (s.29)

Elementy oceny i inne uwagi, w tym również krytyczne:

- Układ pracy logiczny, ale odczuwalny jest brak streszczenia w języku polskim i dodatkowo np. języku angielskim. Formułowanie myśli precyzyjne w postaci twierdzeń, definicji, przykładów, wniosków (łącznie jest ich w rozprawie 109). Szkoda, że nie zastosowano osobnej numeracji twierdzeń, definicji, przykładów, wniosków.
- Słabszą stroną rozprawy jest brak głębszego powiązania otrzymanych rezultatów z przedstawionymi przykładami technicznymi. Również, być może, system pojęciowy jest „zbyt rozbudowany”.
- Dobra analiza dotychczasowych prac z zakresu stabilności układów dyskretnych (zob. np. s. 59, 88).
- Rozprawa zawiera nowe rezultaty (przedstawione w 8 punktach powyżej) Autora w stosunku do istniejących wyników, które można znaleźć w literaturze. Rezultaty Autora są ciekawe poznawczo (np. uwagi o hipotezie skończoności, s. 96, 107).
- Autor przedstawił szereg problemów otwartych, które czekają na rozwiązanie (zob. np. s. 87, 92, 105).

- o Przedstawiony przez Autora ciąg twierdzeń uzasadnia sformułowaną na s. 5 tezę rozprawy.
- o Brakuje rozważań o sterowaniu i stabilizacji poprzez sprzężenie zwrotne.

Uwagi szczegółowe:

- o s. 7; (2.1), może lepiej $n \geq n_0$. Potem rozważa się stabilność jednostajną. (2.1) to układ jednorodny (bez sterowania). (2.2) – co będzie gdy $A(n)$ są nieodwracalne; może komentarz.
- o s. 10; może wyróżnić przypadek $p=2$.
- o s. 11; może wypisać wzór na normę spektralną. Na dole strony 11 – wartość własną macierzy zdefiniować jako pierwiastek równania charakterystycznego.
- o s. 12; może dopisać przypadek, gdy promień spektralny jest równy normie.
- o s. 21; we wzorze na normę występują wyznaczniki, czy tak? – dodać komentarz.
- o s. 35; góra – Twierdzenie Hurwitza – komentarz, jak twierdzenie jest powiązane ze stabilnością, zwłaszcza układów dyskretnych. Styl.
- o s. 35; góra – styl „charakterystyk ... nazywanych również charakterystykami ...”
- o s. 52; Lemat 39 – „górnik”. Styl, ...?
- o s. 110; dodać streszczenia.

Wnioski końcowe.

Powyższe uwagi mają w większości charakter redakcyjny oraz dyskusyjny i nie podważają istoty pracy, którą oceniam wysoko. Jednak powyższe uwagi powinny być skomentowane przez Doktoranta na obronie rozprawy.

Rozprawa dotyczy fundamentalnych problemów asymptotycznej stabilności dyskretnych układów liniowych niestacjonarnych. Praca jest napisana starannie, jasno, precyzyjnie i zawiera oryginalne wyniki Autorki w stosunku do rezultatów uzyskanych w dotychczasowej literaturze przez innych autorów. Autor zna literaturę przedmiotu - wykaz literatury zawiera 275 pozycji, w tym 15 pozycji Autora (14 jako współautor) rozprawy. Wykazał się bardzo dobrą znajomością teorii stabilności i umiejętnościami w prowadzeniu badań naukowych. Część wyników była wcześniej publikowana i obecnie została rozwinięta w przedstawionej rozprawie, właściwie o charakterze monograficznym

Biorąc powyższe pod uwagę uważam, że przedstawiona przez Pana mgr inż. Michała Niezabitowskiego praca spełnia odpowiednie warunki stawiane rozprawom doktorskim i **stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony**. Ze względu na publikowanie rezultatów w dobrych czasopismach, uzyskanie nowych wyników w teorii stabilności układów dyskretnych i wskazanie możliwości zastosowań praktycznych, po głębokim namyśle, **sugeruję wyróżnienie rozprawy doktorskiej**

W. Mitkowski

Wojciech Mitkowski

