

Prof. dr hab. inż. Andrzej Świerniak
Instytut Automatyki
Politechnika Śląska w Gliwicach

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Michała Niezabitowskiego

nt: *Charakterystyki liczbowe dyskretnych układów hybrydowych*

Recenzja przygotowana została na zlecenie Prodziekana Wydziału Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej Dr hab. inż. Joannę Polańską, profesor nadzw. w Politechnice Śląskiej z dnia 25.06.2014 r.

1. Tematyka i zakres rozprawy:

Praca doktorska mgr inż. Michała Niezabitowskiego stanowi podsumowanie prac dotyczących własności różnych wykładników charakterystycznych liniowych układów niestacjonarnych dyskretnych w czasie, ze szczególnym uwzględnieniem układów z przełączeniami, i ich związku z własnościami dynamicznymi tych układów. W szczególności cele, jakie postawione zostały w rozprawie, dotyczą rozszerzenia wyników uzyskanych przez promotora w tym zakresie (p. monografia: Perturbation Theory for Lyapunov Exponents of Discrete Linear Systems) na szerszą klasę wykładników charakterystycznych oraz ich wykorzystanie do specjalnej klasy układów dynamicznych z czasem dyskretnym, w których obok dynamiki procesowej o charakterze ciągłym występują dyskretne zdarzenia o charakterze przełączeń. W tym sensie rozważane układy są systemami hybrydowymi, co usprawiedliwia tytuł rozprawy doktorskiej. Zakres prowadzonych prac był zatem bardzo szeroki, a narzędzia wykorzystywane przy ich realizacji obejmowały zarówno klasyczne jak i niestandardowe metody jakościowej analizy równań i inkluzji różnicowych oparte na wynikach analizy matematycznej, teorii operatorów i algebry oraz analizy macierzowej.

W świetle szeregu publikacji wskazujących na ograniczenia, pułapki i niespełnione nadzieje analizy własności dynamicznych układów hybrydowych oraz niezwykle skromnie rozwiniętej metodologii odpowiednich algorytmów umożliwiających efektywną ocenę własności asymptotycznych tej klasy układów **uwzględniłem wybór tematyki rozprawy za trafny i aktualny, a przyjętą metodologię za jedną z możliwych i wpisującą się w tendencje współczesnej matematycznej teorii układów dynamicznych i układów sterowania.** Nie zmienia to faktu, że czytelnik nie znający zainteresowań i zakresu badań doktoranta mógłby się czuć zawiedziony zawartością pracy i konkretnością przedstawionych rozwiązań. Uwaga ta jeszcze w większym stopniu odnosi się do sformułowanej w pracy tezy: „własności dynamiczne dyskretnych układów hybrydowych mogą być scharakteryzowane przez zbiór wykładników charakterystycznych”. W rzeczywistości autor rozważa tylko układy, w których nie występuje jawnie sterownie, co (z punktu widzenia teorii sterowania) powoduje silne ograniczenie klasy rozpatrywanych własności. Co więcej większość rozprawy (zgodnie z tytułem) poświęcona jest badaniu własności różnych wykładników charakterystycznych niestacjonarnych liniowych układów z czasem dyskretnym, z których tylko niewielka część

może być wykorzystana w analizie różnych typów stabilności (w tym, w skromnym zakresie, również odpornej stabilności), lub też charakteru wzrostu rozwiązania bez próby stworzenia praktycznych prostych kryteriów czy też algorytmów do takiej analizy.

Zdaje sobie jednak sprawę, że z jednej strony doktorant od kilku lat, pracując nad własnościami wykładników charakterystycznych, stara się w pracy zamieścić większość rezultatów, które jego zdaniem mają charakter oryginalny, z drugiej zaś brak konkretnych efektywnych kryteriów dla tego typu problemów jest wspomnianą przeze mnie bolączką szeregu prac z tego zakresu i nie „obciąża” doktoranta.

2. Ocena zawartości pracy. Uwagi krytyczne.

Rozprawa składa się z 7 rozdziałów. Po wprowadzeniu w rozdziale 1 autor poświęca 2 kolejne rozdziały na przedstawienie rozpatrywanej klasy układów dynamicznych i ich modeli, podstawowych pojęć z tego zakresu oraz przykładów rzeczywistych problemów, do których proponowany aparat analizy mógłby być zastosowany. Chociaż w ogólnej ocenie rozdziały te należy uznać za właściwie skomponowane, to nie sposób nie wyrazić również istotnych zastrzeżeń, zarówno formalnych, jak i merytorycznych. Autor z jednej strony widzi potencjał w analizie wykładników charakterystycznych układów niestacjonarnych liniowych jako szerszej klasy układów dynamicznych niż układy hybrydowe, a z drugiej strony jest zafascynowany aparatem inkluzji różnicowych i stara się z nich uczynić podstawową klasę rozpatrywanych modeli. Już na tym etapie przy czytaniu pracy rodzą się pewne wątpliwości interpretacyjne, których nie brakuje również w kolejnych rozdziałach. Dotyczą one, przykładowo, pojęcia dyskretności, które w pracy ma dwojakie znaczenie, mamy bowiem do czynienia z czasem dyskretnym, który determinuje opis w postaci równań czy też inkluzji różnicowych, z drugiej strony mamy do czynienia ze zdarzeniami dyskretnymi, co powoduje przeliczalność (lub skończoność) zbioru macierzy występujących w modelach. Czy zatem stosowana przez doktoranta formuła inkluzji dyskretnej ma być rozumiana jako inkluzji różnicowej ze skończonym (bądź w szczególnych przypadkach przeliczalnym) obrazem odwzorowania punktowo zbiorowego użytego w definicji inkluzji? Dodatkowo autor wprowadza (niepotrzebnie) pojęcie jego zdaniem ogólnej inkluzji dyskretnej (nieliniowej), z którego praktycznie nigdzie nie korzysta (z wyjątkiem opisu zagadnień praktycznych w rozdziale trzecim), a któremu daleko do ogólności (p. definicje w pracach Goebela czy Angeliego i Blimana). Co więcej podana definicja może budzić zastrzeżenia, gdyż odwzorowanie punktowo-zbiorowe i jego dowolny selektor zostały oznaczone identycznie, co prowadzi do nieporozumienia. Należało się skupić na liniowych inkluzjach różnicowych i zdefiniować ich odpowiednią klasę rozważaną w pracy. Autor również wspomina o problemach odporności czy też wrażliwości otrzymanych rezultatów na niepewności parametryczne, nazywane w pracy błędnie niedokładnościami parametrycznymi. Niedokładność może dotyczyć wyniku pomiaru czy też estymacji wybranej wielkości np. parametru. Natomiast autor rozumie przez to niepewność parametrów, zaburzenia macierzy parametrów, czy też niedokładności wyznaczania parametrów. Czy model, w którym zbiór tych zaburzeń nie jest przeliczalny jest nadal inkluzją dyskretną w sensie proponowanym przez autora? Rozdział poświęcony przykładom też nie jest zbyt kompatybilny z resztą pracy. Dwa z przytoczonych przykładów (kodowanie binarne ze zbiorem zabronionym i dynamika układów wieloagentowych), chociaż mogą być modelowane jako problemy z przełączeniami, to, jak wynika również z opisu w pracy, właściwszym narzędziem analizy jest dla nich teoria grafów, której niektóre pojęcia są wprowadzane w tym rozdziale całkowicie niespójnie z resztą pracy. Z drugiej strony autor mówi nie tyle o przykładach, ile o motywacji do prowadzenia badań w zakresie tematyki pracy, a motywacje są oczywiście sprawą indywidualną. Prawdą jest również to, że w literaturze poświęconej inkluzjom różnicowym tematyka systemów wieloagentowych stanowi ważną, jeśli nie dominującą frakcję. Niezbyt

udany jest również podrozdział dotyczący układów z losowymi przełączeniami, tym bardziej, że w tym zakresie promotor ma dość okazały dorobek. Jeśli chce się dla tej klasy problemów stosować aparat inkluzji różnicowych, to należałoby sięgnąć do różnicowych inkluzji stochastycznych (p. np. prace Teela i współpracowników) i w tych ramach umiejscowić rozważane problemy. Z kolei przykład dotyczący elektrowni słonecznych jest jednym z pierwszych analizowanych w literaturze przykładów układów z przełączeniami losowymi (p. praca Swordera i Rogersa pominięta przez doktoranta). Na pograniczu rozdziału wprowadzającego i oryginalnego znajduje się rozdział czwarty dotyczący różnych typów stabilności niestacjonarnych układów z czasem dyskretnym. Oprócz wiadomości literaturowych autor pracy zamieszcza tu wyniki pewnych oryginalnych przemyśleń dotyczących zależności między tymi typami stabilności. Niestety w tej części zawarty jest też istotny błąd nomenklaturowy, który występuje równie w dalszych rozdziałach pracy. Autor stosuje nazwę stabilność potęgowa (i również wzrost potęgowy) na określenie stabilności (odpowiednio wzrostu) wykładniczego. Można by traktować ten błąd jako pomyłkę słowną, gdyby nie fakt, że termin wzrost, czy stabilności wykładniczej jest jednym z podstawowych terminów używanych w teorii układów liniowych. Kolejne rozdziały stanowią już dobrze przedstawiony opis problemów, z którymi musiał się zmierzyć doktorant, przyjętych sposobów ich rozwiązywania, oryginalnych osiągnięć zarówno w zakresie nowych rezultatów dotyczących własności wykładników Lapunowa, Perrona, Bohla (zwłaszcza w tym zakresie autor przedstawił szereg interesujących i nieznanych dotychczas rezultatów), wykładników singularnych (nazywanych przez autora ogólnymi, nie bardzo wiem dlaczego) – rozdział piąty, jak i wykorzystania niektórych z tych własności do oceny stabilności analizowanych układów – rozdział szósty. Oprócz szeregu twierdzeń udowodnionych przez autora, przedstawione są wnioski wynikające z tych twierdzeń i przykłady liczbowe ilustrujące te rezultaty lub stanowiące kontrprzykłady dla pewnych nieprawdziwych hipotez rozszerzających te rezultaty. Niestety autor nie podejmuje w tym zakresie żadnej próby powiązania tych przykładów z realnymi układami rozważanego typu. Jak wspomniałem w pierwszej części mojej recenzji trudno uważać przedstawione rezultaty jako dowód sformułowanej tezy. Duża część rezultatów dotyczy bowiem własności wykładników charakterystycznych nie mających jawnego przeniesienia na własności układów z przełączeniami, co więcej można odnieść wrażenie, że wręcz niektóre z badanych wykładników do takich celów nie mogą być użyte. Szereg zasygnalizowanych problemów we wstępnej części pracy, np. zagadnienia odporności na zaburzenia parametrów, jest niemal nieobecny w rozważaniach szczegółowych.

Jak wspomniałem, nie do końca rozumiem, dlaczego autor stara się przekonać czytelnika, że inkluzje różnicowe dyskretne stanowią najbardziej wygodną formę opisu dla analizy układów hybrydowych. W rzeczywistości w większości przypadków korzysta z aparatu analizy różnicowych równań o zmiennych parametrach sięgając po aparat odwzorowań punktowo-zbiorowych stanowiący o sile podejścia inkluzyjnego bardzo rzadko. Wydaje się, że doktorant nie do końca zdaje sobie sprawę z faktu, że stabilność jest w rzeczywistości ciągłością rozwiązania względem warunków początkowych. Sposób zdefiniowania tej ciągłości w przypadku odwzorowań punktowo-zbiorowych stanowiłby o sile modelu inkluzyjnego. Mimo przestudiowania i wykorzystania ogromnej literatury, mniej czy bardziej związanej z tematyką rozprawy, widać właśnie braki w zakresie literatury sensu-stricto zajmującej się inkluzjami różniczkowymi i różnicowymi, a zwłaszcza ich wykorzystaniem w teorii sterowania. Brakuje również porównania wyników dotyczących stabilności z rezultatami uzyskanymi przy wykorzystaniu funkcji Lapunowa (p. np. Goebel 2011, Lorenz 2010, Moreau 2005, Hui et al. 2008), szeroko obecnymi w literaturze dotyczącej inkluzji różniczkowych i różnicowych, czy też nieco mniej popularnych, ale w pewnym sensie

równoważnych rezultatów związanych z wykorzystaniem tzw. tuby Ważewskiego. Ostatni rozdział pracy to syntetyczne podsumowanie uzyskanych wyników.

3. Ocena redakcji prac. Uwagi szczegółowe.

Praca napisana jest w sposób na ogół poprawny stylistycznie i redakcyjnie. Autor wyraźnie formułuje cele i zadania badawcze (gorzej jak wspomniałem z tezą), w miarę jasno opisuje proponowane metody i rezultaty, precyzyjnie przedstawia wyniki teoretyczne jak i przykłady obliczeniowe (z wyjątkiem wspomnianych wyżej niedoróbek). Język pracy jest w większości poprawny zarówno formalnie jak i merytorycznie, choć zdarzają się takie poważne potknięcia, jak wspomniana powyżej stabilność potęgowa. Zarówno dobór źródeł, jak i sposób korzystania musi budzić uznanie ze względu na zakres przestudiowanej literatury, choć również w tym zakresie występują wspomniane przez mnie braki i niekonsekwencje. Do wspomnianych już zarzutów dodałbym niefrasobliwość w ferowaniu wyroków na temat reprezentatywności wybranych dość przypadkowo źródeł (np. prace doktorskie Jurgasia i Theysa należą, zdaniem doktoranta, do najbardziej reprezentatywnych prac poświęconym systemom wieloagentowym), czy też odsyłanie czytelnika do całej listy artykułów dotyczących zagadnień w małym stopniu związanych z tematyką pracy. Niestety rozprawa posiada szereg właśnie tego typu sformułowań, które mogą być stosowane przy pisaniu monografii, czy podręcznika, ale nie podnoszą wartości rozprawy doktorskiej. Tego typu mankamentów jest więcej. Autor często nie wskazuje, które ze sformułowanych i udowodnianych twierdzeń, są całkowicie oryginalne, które stanowią przeróbkę analogicznych rezultatów uzyskanych dla nieco odmiennych typów modeli, a które są powtórzeniem znanych twierdzeń nieco inaczej sformułowanych. Wszystkie tego typu wyniki nazywa twierdzeniami, a wydaje się, że część należałoby raczej nazwać lematami czy też wnioskami z twierdzeń. W pracy doktorant używa pierwszej osoby liczby mnogiej, np. pisząc „wprowadzamy delicje inkluzji...”, „dokonamy zwięzłej oceny...” itp. Nie odpowiada mi również, stosowany często w monografiach, ale niewygodny w czytaniu rozprawy przez recenzenta, sposób numerowania przedstawianych definicji, twierdzeń, przykładów. Autor przyjął wspólną numerację dla nich, co powoduje, że mamy na końcu pracy twierdzenie 108, wniosek 109, przykład 101 itd., a trudno policzyć, ile twierdzeń, przykładów itp. jest w pracy i zorientować się, jak mają się do siebie. W mojej opinii, to duża wada redakcyjna pracy. Nie przekonuje mnie również definiowanie pojęć poprzez twierdzenie dotyczące równoważności pewnych własności tychże pojęć. Przykładowo, moim zdaniem, z faktu, że pewna własność stanowi warunek konieczny i wystarczający określonej stabilności rozważanej klasy układów nie wynika, że może być ona uważana za definicję tejże stabilności. Do edycji pracy na ogół nie mam istotnych zastrzeżeń. Nie mniej jednak znalazłem w pracy pewną liczbę błędów gramatycznych, frazeologicznych, literówek, czy też niedoróbek stylistycznych (nie wspominam tu o przytoczonych już przeze mnie błędach terminologicznych, takich jak stabilność potęgowa, niedokładność parametryczna, itp.).

Oto przykłady:

Str. 7 $B(n,m) = 1$

str. 8 wszystkich takich ciągów... takich

str. 11 największy moduł jej wartości własnych

str. 15 Zanim jednak przejdziemy.... podamy czytelnikowi wiele odsyłaczy...mogą być modelowane dyskretnymi inkluzjami.

str. 19 Połączenie z dyskretnymi inkluzjami liniowymi...

str., 23 programowanie agentowe jest... i polega na tworzeniu agentów.

str. 24 cały układ ewoluuje w dyskretnych odstępach czasu
str. 25 litera „t” oznacza zmienną czasową, poprzednio oznaczała stan sprzężony
str. 27 My zastosowanie...przedstawimy...
str. 27 ...podzielić na następujące pasma...
str.35 ...dobrze znana, Twierdzenie Hurwitza, to...
str. 35... Zajmowano się nią w pracach takich...
str. 45... gdy jest on liczbą zawarty jest w poniższym.
str. 49 indeks „r” powinno być „s”
str. 51 przecinki po górnym indeksie „L”
str. 72 Dolne wykładnik... podobnie jak górne wykładnik
str. 79 starszy górszy wykładnik
str. 105 ...wykładnik Perrona nie mają...
str. 109 ...może być modelowany...
str. 109 ...dranicą dolną...
str. 111...differentiale...

Nieporozumieniem jest również wykorzystanie niektórych źródeł internetowych o charakterze wykładów, przykładowo odwołał się do takiego źródła w przypadku twierdzenia Banacha-Steinhaus'a psuje dobre wrażenie dotyczące znajomości literatury matematycznej przez doktoranta.

4. Wniosek końcowy.

Mimo uwag dyskusyjnych i wskazania pewnych niedoróbek uważam, że przedstawiona praca w pełni **spełnia wszystkie wymagania Ustawy o stopniach i tytułach naukowych i stanowi oryginalny wkład autora w rozwój matematycznej teorii sterowania i układów dynamicznych**, a tym samym rozwój dyscypliny automatyka i robotyka. Stawiam zatem **wniosek o dopuszczenie mgr. inż. Michała Niezabitowskiego do publicznej obrony doktorskiej w dyscyplinie naukowej automatyka i robotyka**. Nieco większe opory mam, oceniając możliwość wyróżnienia pracy. Z jednej strony liczba przedstawionych wyników, poziom matematyczny pracy, a także fakt, iż duża część wyników pracy została opublikowana w dobrych czasopiśmie i przedstawiona na liczących się konferencjach przemawia za takim wnioskiem. Z drugiej jednak, wspomniana przeze mnie niefrasobliwość w formułowaniu i przedstawianiu rezultatów, i brak konsekwencji w wielu fragmentach pracy taki wniosek osłabia. Skłaniam się zatem do **warunkowego postawienia wniosku o wyróżnienia** uzależniając go od sposobu referowania wyników pracy i przebiegu obrony.

