

dr hab. inż. Błażej Wróbel, prof. IMPAN i prof. UWr
Instytut Matematyczny Polskiej Akademii Nauk, o. Wrocław
Mikołaja Kopernika 18, 51-617 Wrocław
&
Instytut Matematyczny Uniwersytetu Wrocławskiego
Plac Grunwaldzki 2, 50-234 Wrocław

Recenzja osiągnięć naukowych w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego dr. Guillaume Olive

Osiągnięciem naukowym zgłaszanym do habilitacji jest cykl czterech artykułów naukowych pt. **Sterowalność brzegowa i stabilizacja układów hiperbolicznych równań różniczkowych cząstkowych**. Trzy z tych prac ukazały się w bardzo dobrych czasopiśmie matematycznych: dwie w Journal of Differential Equations i jedna w ESAIM: Control, Optimisation and Calculus of Variations. Jedna z prac ukazała się w prestiżowym czasopiśmie Journal de Mathématiques Pures et Appliquées. Bez wątpienia prace te stanowią cykl powiązanych tematycznie artykułów pod wspólnym tytułem w rozumieniu art. 219 ust. 1. pkt. 2 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

Spośród czterech zgłaszanych prac trzy ([HO21a], [HO21b], [Ho22]) są pracami wspólnymi z Long Hu, zaś jedna ([CHOS21]) pracą wspólną z Jean-Michel Coron, Long Hu i Peipei Shang. Z oświadczeń współautorów wynika że udział dr. Olive we wspólnych projektach był bardzo istotny. Współautor wszystkich prac zgłaszanych do habilitacji - Prof. Long Hu - stwierdza, że habilitant odegrał niezwykle ważną rolę w ich wspólnych pracach. Prof. Hu pisze, że wszystkie prace zgłaszane jako osiągnięcie habilitacyjne były rezultatem niezliczonych prac i dyskusji z dr. Olive. Pozostali autorzy pracy [CHOS21] również stwierdzają, że wkład dr. Olive w jej powstanie był znaczący. Z ich oświadczeń wynika, że wkładem habilitanta było m.in. zaprojektowane transformat całkowitych i dowód istnienia i regularności jąder tych transformat.

1 Omówienie osiągnięcia naukowego

Wszystkie prace zgłoszone jako osiągnięcie naukowe dotyczą sterowalności i stabilizacji liniowych układów hiperbolicznych równań różniczkowych cząstkowych. Sterowanie takim układem równań polega na znalezieniu takiej siły (sterowania), która pozwala na doprowadzenie w skończonym czasie dowolnego stanu początkowego układu do z góry zadanego stanu końcowego. W przypadku gdy możemy osiągnąć dokładnie stan końcowy mówimy o dokładnej sterowalności. W szczególności zerowa sterowalność oznacza możliwość osiągnięcia stanu zerowego. W przypadku gdy możemy osiągnąć stan końcowy tylko w sposób przybliżony mówimy o przybliżonej sterowalności. Przedstawiony cykl prac koncentruje się na sytuacji gdy poszukiwane sterowanie jest zlokalizowane tylko na części brzegu obszaru w którym ewoluuje układ. W tym kontekście mówimy o sterowalności brzegowej.

Ze względu na fakt, że mamy do czynienia z układem równań głównym celem badawczym jest próba sterowania przy użyciu jak najmniejszej liczby sił. Okazuje się, że nawet dobra znajomość sterowalności każdego równania z osobna nie wystarcza do analizy sterowalności całego układu. W tym celu kluczowe jest zrozumienie ich wzajemnych interakcji. Co istotne, pewne problemy sterowania obejmujące układy równań znajdują zastosowanie w naukach fizycznych i chemicznych. W osiągnięciu habilitacyjnym badane są uproszczone modele równań tego samego rodzaju, dla których jednak jest wiele otwartych pytań matematycznych.

Ogólna postać rozważanych układów równań to

$$\frac{\partial y}{\partial t}(t, x) + \Lambda(x) \frac{\partial y}{\partial x}(t, x) = M(x)y(t, x). \quad (1)$$

Powyżej $t \in (0, T)$ to zmienna czasowa zaś $x \in (0, 1)$ to zmienna przestrzenna. Stan w czasie t dany przez $y(t, x)$ jest funkcją o wartościach wektorowych w \mathbb{R}^n , gdzie $n \geq 2$ oznacza liczbę równań układu. Symbol Λ oznacza macierz diagonalną $n \times n$ daną przez $\Lambda = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_n)$. Zakładamy, że pierwsze $m \geq 1$ prędkości λ_j , $j = 1, \dots, m$ jest ujemne, zaś ostatnie p prędkości λ_j , $j = m + 1, \dots, m + p$, jest dodatnie. Wówczas stan układu y można rozłożyć na składowe odpowiadające prędkościom ujemnym $y_- \in \mathbb{R}^m$ oraz dodatnim $y_+ \in \mathbb{R}^p$. Macierz M wymiaru $n \times n$ jest nazywana wewnętrzną macierzą sprzężenia. To ona jest odpowiedzialna za interakcje między równaniami układu.

Dla poprawnego postawienia powyższego układu równań podaje się warunki brzegowe: przy $x = 1$ dla y_- i przy $x = 0$ dla y_+ . Warunki te są postaci

$$y_-(t, 1) = u(t) \quad \text{i} \quad y_+(t, 0) = Qy_-(t, 0).$$

Macierz Q jest wymiaru $p \times m$ i łączy równania układu na brzegu $x = 0$. Ta macierz jest nazywana macierzą sprzężenia brzegowego. Funkcja u jest nazywana sterowaniem; ponieważ u jest określona na brzegu $x = 1$ mamy do czynienia ze sterowaniem brzegowym. Znalezienie odpowiedniej funkcji u dla zadanego problemu jest zasadniczo głównym celem badawczym prac habilitacyjnych. Dąży się do tego, aby przy dowolnym warunku początkowym $y(0, x) = y^0(x)$ dało się dojść, przy odpowiednim wyborze funkcji u , do z góry zadanego warunku końcowego y^1 . W niektórych sytuacjach poszukuje się funkcji sterowania u w formie zamkniętej pętli $u(t) = F(y(t, \cdot))$, gdzie F jest operatorem liniowym, zwanym prawem sprzężenia zwrotnego.

Przejdę teraz do opisu każdej z prac wchodzącej w skład osiągnięcia naukowego. Odniesienia do cytowań i twierdzeń są podawane wg polskiej wersji autoreferatu.

1.1 Praca [CHOS21]

W tej pracy autorzy badali uogólnienie (1) do układów zależnych od czasu, mianowicie gdy macierze Λ , M i Q mogą zależeć od czasu, zaś czas początkowy $t^0 \geq 0$ jest dowolny. Zakładając odpowiednią regularność parametrów Λ , M , Q , pokazano, że taki uogólniony układ jest stabilizowalny w skończonym czasie T większym niż pewna liczba zależna od parametrów układu. Stabilizowalność oznacza tutaj istnienie takiego prawa sprzężenia zwrotnego F , że dla każdego warunku początkowego y^0 rozwiązanie układu zależnego od czasu z warunkiem $u(t) = F(y(t))$ zeruje się tożsamościowo dla $t \geq T$. Otrzymany rezultat zawiera jako przypadek szczególny wcześniejsze wyniki w sytuacji niezależnej od czasu otrzymane przez J. Auriol i F. Di Meglio [ADM16] oraz J.M. Coron, L. Hu i G. Olive [CH017].

Dowód wykorzystuje transformacje całkowite Volterry i Fredholma z jądrami zależnymi od czasu. Podobna metoda była użyta we wcześniejszej pracy habilitanta [CH017], ale z jądrami całkowitymi niezależnymi od czasu. Udowodnienia istnienia potrzebnych jąder zależnych od czasu w [CHOS21] wymagało przewyciężenia poważnych trudności technicznych.

1.2 Praca [HO21a]

W tym artykule zbadany został minimalny dokładny czas sterowalności układów postaci (1). Układ (1) jest dokładnie sterowalny w czasie T , jeśli dla dowolnego warunku początkowego y^0 i dowolnego warunku końcowego y^1 istnieje sterowanie u dla którego $y(T, \cdot) = y^1$. W pracy [HO21a] autorzy podali warunek konieczny i dostateczny na to aby układ (1) był dokładnie sterowalny w skończonym czasie; jest tak wtedy i tylko wtedy gdy $\text{rank } Q = p$. W tej sytuacji

podano także jawny wzór na minimalny czas T w którym układ jest dokładnie sterowalny. Jest to ciekawy wynik, który znacznie uogólnia wcześniejszą pracę N.Weck [Wec82] (przypadek $M = 0$). Dodatkowo, jawny wzór na minimalny dokładny czas z [HO21a] jest łatwiejszy do obliczenia w praktyce.

Dowód składa się z dwóch głównych kroków. Po pierwsze trzeba przeanalizować przypadek bez sprzężenia zwrotnego, gdy $M = 0$. W tym przypadku istotny jest odpowiedni rozkład macierzy sprzężenia brzegowego Q . Drugim, znacznie trudniejszym krokiem, jest pokazanie, że minimalny czas sterowania nie zależy od M . Strategia dowodu jest podobna do tej z pracy D.L. Russell [Rus78]; ogólny układ jest analizowany jako perturbacja układu z $M = 0$. Jednak argumenty z [Rus78] nie były wystarczające w [HO21a] i ich uzupełnienie wymagało nowych idei.

1.3 Praca [HO21b]

W tej pracy badana była zerowa sterowalność układów postaci (1). Mówimy, że układ (1) jest zerowo sterowalny w czasie T , jeśli dla dowolnego warunku początkowego y^0 istnieje sterowanie u dla którego $y(T, \cdot) = 0$. W pracy [HO21b] uzyskano pełną charakteryzację zerowej sterowalności w czasie T w przypadku dwóch równań $n = 2$ ($m = p = 1$) gdy macierz sprzężeń Q jest zerowa. Charakteryzacja ta jest zależna od współczynników $\lambda_1(\xi)$, $\lambda_2(\xi)$ macierzy diagonalnej $\Lambda(\xi)$ oraz od współczynnika $m_{2,1}$ wewnętrznej macierzy sprzężenia M . Jest to pierwszy wynik dotyczący zerowej sterowalności w którym podany jest warunek konieczny. Mimo, że warunek na T jest dość skomplikowany, to jest jawny i w wielu sytuacjach można go policzyć.

Dowód składa się z trzech głównych kroków i jest zaawansowany technicznie. Szczególnie interesujący jest dowód warunku koniecznego, który wykorzystuje twierdzenie Titchmarsh'a o splocie.

1.4 Praca [HO22]

W ostatniej pracy z cyklu zbadane zostały najmniejsze i największe wartości jakie może przyjmować minimalny czas zerowego sterowania dla wszystkich wewnętrznych macierzy sprzężenia M . Podano wzory na te wielkości, bez dodatkowych założeń na macierz sprzężenia brzegowego Q . We innych pracach, np. J.M. Coron i H-M. Nguyen [CN19] i [CN21a] były potrzebne założenia na Q . Z [HO22] otrzymujemy także zerowy czas sterowania T , który nie jest wystarczający dla żadnego układu (1). Podobnie jak w poprzednich pracach z cyklu w konkretnych przypadkach podane wzory są łatwe do wyliczenia. Co warto podkreślić, praca [HO22] uogólnia wszystkie wcześniejsze wyniki dostępne w literaturze.

Dowód głównych wyników z [HO22] składa się z kilku kroków. Początkowo przekształca się układ (1) do równoważnych układów, które mają prostsze własności sprzężenia. Używa się do tego m.in. tzw. metody backstepping z wcześniejszych prac L. Hu, R. Vazquez, F. Di Meglio, M. Krstic [HDMVK16], [HVDMK19]. Kluczowym krokiem jest pokazanie, że macierz sprzężeń brzegowych Q można zawsze zastąpić macierzą Q^0 , która jest kanoniczną formą Q . Całość rozumowania jest zaawansowane technicznie i obszerna.

2 Dodatkowe Uwagi

Dr Guillaume Olive uzyskał stopień doktora w 2013 roku na Uniwersytecie Aix-Marseille we Francji. Od tego czasu był zatrudniony na kilku posadach, głównie typu postdoc: na Sorbonne Université (2014-2015), Uniwersytecie Kalifornijskim w San Diego (2015-2016), Uniwersytecie w Bordeaux (2016) i Uniwersytecie Jagiellońskim (2018-2021). Od września 2021 pracuje na stanowisku adiunkta na Uniwersytecie Jagiellońskim. Jest obecnie kierownikiem grantu Sonata

Narodowego Centrum Nauki (2021-2024). Bez wątplenia habilitant wykazuje się istotną aktywnością naukową w więcej niż jednej uczelni.

Całkowity dorobek Habilitanta składa się z 14 prac opublikowanych w dobrych, bardzo dobrych, a nawet prestiżowych czasopismach. Prawie wszystkie z prac dr. Olive powstały po obronie doktoratu. Wskaźniki cytowań dr. Olive podane w wykazie osiągnięć to: 189 Web of Science, 198 Scopus, 154 MathSciNet. Wskaźnik cytowań sprawdzony na dzień sporządzania recenzji w Google Scholar wynosi 448. Moim zdaniem są to bardzo dobre wyniki na tym etapie kariery naukowej.

Habilitant wygłosił referaty na wielu konferencjach naukowych i brał udział w kilku 1-2 tygodniowych pobytach naukowych (między innymi w ETH i na Uniwersytecie Tokijskim). Wykazał się także dorobkiem dydaktycznym; prowadził kursy dla studentów we Francji i w Chinach.

3 Ocena osiągnięcia naukowego

Moim zdaniem recenzowana habilitacja cechuje się bardzo dobrym poziomem naukowym. Zastosowane metody są zaawansowane matematycznie zaś rachunki są technicznie wymagające. Przedstawione rozumowania wymagały pomysłowości i bardzo dobrej znajomości poruszanych zagadnień. Tematyka rozprawy habilitacyjnej jest intensywnie rozwijana i istotna. W samym autoreferacie jest przedstawionych wiele pytań otwartych, które mogą stanowić inspiracje do przyszłych badań. Podsumowując, nie mam wątpliwości, że przedstawione osiągnięcie naukowe stanowi znaczny wkład habilitanta w rozwój dyscypliny matematyka.

Pewnym mankamentem opisu osiągnięcia naukowego jest nie do końca precyzyjnie określony wkład habilitanta. Nie wszystkie oświadczenia współautorów opisują go wystarczająco dokładnie. Zdaję sobie sprawę, że uzyskanie oświadczeń, które precyzyjnie wskazałyby 'wydzielone zagadnienie' i 'indywidualny wkład osoby ubiegającej się o stopień doktora habilitowanego' nie zawsze jest możliwe. Z tego powodu uważam załączone wyjaśnienia za wystarczające. Na marginesie, uważam, że pomocne w ocenie byłoby wskazanie przez samego habilitanta jego wkładu w prace wspólne. W tym przypadku jest to o tyle istotne, że żadna z prac z cyklu nie jest samodzielnego autorstwa habilitanta.

4 Konkluzja

Uważam, że osiągnięcie habilitacyjne Dr. Olive spełnia wymagania określone w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Zdecydowanie popieram wniosek o nadanie Dr. Guillaume Olive stopnia doktora habilitowanego.

Błażej Wróbel

