Łódź, 26 września 2022 r.

prof. Andrzej Bartoszewicz
Politechnika Łódzka
Instytut Automatyki

Recenzja
osiągnięcia naukowego oraz aktywności naukowej
doktor inżynier Joanny Ratajczak

przygotowana dla Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika
Politechniki Wrocławskiej

Podstawę do opracowania niniejszej recenzji stanowi pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Wrocławskiej oraz przekazana z tym pismem dokumentacja dotycząca postępowania habilitacyjnego doktor inżynier Joanny Ratajczak.

Informacje podstawowe

Pani Joanna Ratajczak urodziła się w kwietniu 1983 roku. W 2007 roku uzyskała na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej dyplom magistra inżyniera. W marcu 2012 roku – za rozprawę pod tytułem „Aproksymacja algorytmów planowania ruchu robotów" – uchwałą Instytutu Informatyki, Automatyki i Robotyki otrzymała stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie automatyka i robotyka.

Pani Joanna Ratajczak od 2012 roku do chwili obecnej pracuje w Politechnice Wrocławskiej. Jej prace naukowe dotyczą przede wszystkim zagadnienia planowania ruchu, dla układów nieliniowych, z ograniczeniami holonomicznymi i nieholonomicznymi, w tym głównie dla układów występujących w robotyce. Była głównym wykonawcą w dwóch projektach Narodowego Centrum Nauki i z powodzeniem współpracowała z najlepszymi polskimi naukowcami pracującymi w obszarze jej zainteresowań.

Ocena istotnej aktywności naukowej Habilitantki

Główny przedmiot zainteresowań naukowych doktor inżynier Joanny Ratajczak stanowią algorytmy planowania ruchu dla układów robotycznych. Wyniki uzyskane w tym zakresie, po otrzymaniu stopnia doktora nauk technicznych, Habilitantka opublikowała w cyklu dziewięciu wartościowych publikacji, które zgłosiła w postępowaniu habilitacyjnym jako swoje osiągnięcie naukowe. Ocenę tego osiągnięcia przedstawiam w następnym punkcie. W tym punkcie recenzji oceniając aktywność naukową Habilitantki stwierdzam, że łączny dorobek publikacyjny Habilitantki po uzyskaniu stopnia doktora jest typowy dla osób ubiegających się o stopień doktora habilitowanego i obejmuje 14 artykułów w czasopismach z listy Journal

RDN AEE/180/2022

Citation Reports, 3 artykuły w innych czasopismach, a także rozdziały w książkach i referaty konferencyjne. Spośród 14 artykułów opublikowanych w czasopismach z listy Journal Citation Reports istotną część stanowią prace wydrukowane w periodykach zasłużenie cieszących się dużym uznaniem w międzynarodowym środowisku automatyków i robotyków, takich jak International Journal of Control, IEEE Transactions on Robotics, Systems & Control Letters, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics czy też Journal of the Franklin Institute.

Prace doktor inżynier Joanny Ratajczak były cytowane przez innych autorów. Według bazy Web of Science prace Habilitantki były cytowane 90 razy, w tym 65 razy przez innych autorów. Jej indeks Hirscha według tej bazy wynosi 6. Z kolei według bazy Scopus łączna liczba cytowań Habilitantki wynosi 133 z uwzględnieniem autocytowań i 79 z pominięciem autocytowań, a jej indeks Hirscha ma wartość 8. Wreszcie według bazy Google Scholar liczba cytowań publikacji Habilitantki wynosi 172 (w tej liczbie zawarte są autocytowania), a jej indeks Hirscha wynosi 9. Wskaźniki te są prawdopodobnie nieco wyższe niż średnia i mediana liczby cytowań i indeksu Hirscha osób ubiegających się o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika. Jednak za główną zaletę dorobku Habilitantki uważam raczej jakość jej badań niż liczbę publikacji i dobre wskaźniki bibliometryczne. W jej dorobku nie znajdziemy na szczęście artykułów publikowanych w tak popularnych ostatnio, wysoko punktowanych czasopismach open access, których wartość jest niewspółmiernie mniejsza niż przypisana im punktacja w wykazie czasopism punktowanych MNiSW. Podsumowując tę analizę stwierdzam, że dorobek publikacyjny doktor inżynier Joanny Ratajczak z powodzeniem wystarcza do nadania jej stopnia doktora habilitowanego i dobrze świadczy o jej aktywności naukowej.

Doktor inżynier Joanna Ratajczak recenzowała artykuły dla różnych periodyków naukowych. Najbardziej znane z tych czasopism to prawdopodobnie IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics: Systems. Habilitantka była także powoływana do recenzowania referatów zgłoszonych na międzynarodowe konferencje, w tym konferencje najwyższej światowej rangi, takie jak IEEE Conference on Decision and Control i American Control Conference. Doktor inżynier Joanna Ratajczak wypełnia też swoje obowiązki dydaktyczne na Politechnice Wrocławskiej. Nie pełniła wprawdzie obowiązków promotora pomocniczego w żadnym przewodzie doktorskim, ale wypromowała 23 inżynierów i 10 magistrów. Jedna z prac dyplomowych wykonana pod opieką Habilitantki, uzyskała pierwszą nagrodę w konkursie organizowanym przez Oddział Stowarzyszenia Elektryków Polskich we Wrocławiu.

Aktywność naukowa Habilitantki jest dobrze oceniana zarówno na jej macierzystej Uczelni, jak i na szerszym forum. Doktor inżynier Joanna Ratajczak była laureatką kilku nagród Rektora Politechniki Wrocławskiej oraz była dwukrotnie nagradzana na konferencjach za wyróżniające się referaty naukowe.

Uważam, że całość działalności badawczej doktor inżynier Joanny Ratajczak należy ocenić zdecydowanie pozytywnie. Wykazuje ona właściwą aktywność naukową i konsekwentnie rozwija swoje prace badawcze. W moim przekonaniu ta aktywność oraz dorobek uzyskany przez Habilitantkę spełniają wymagania stawiane kandydatom do uzyskania stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika.

Ocena osiągnięcia naukowego

Jako swoje osiągnięcie naukowe, stanowiące podstawę ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika, pani doktor inżynier Joanna Ratajczak przedstawiła cykl dziewięciu publikacji pod wspólnym tytułem „Jakobianowe algorytmy planowania ruchu dla modeli holonomicznych i nieholonomicznych układów robotycznych bazujące na paradygmacie endogenicznej przestrzeni konfiguracyjnej: analiza teoretyczna, własności, symulacyjne badania porównawcze", w skład którego wchodzą następujące prace:

1. Joanna Ratajczak: Design of inverse kinematics algorithms: extended Jacobian approximation of the dynamically consistent Jacobian inverse. Archives of Control Sciences, vol. 25, nr 1, 2015, str. 35–50. doi: 10.1515/acsc-2015-0003.

2. Joanna Ratajczak i Krzysztof Tchoń. Dynamically consistent Jacobian inverse for mobile manipulators. International Journal of Control, vol. 89, nr 6, 2016, str. 1159–1168. doi: 10.1080/00207179.2015.1124144.

3. Krzysztof Tchoń i Joanna Ratajczak. Dynamically consistent Jacobian inverse for non-holonomic robotic systems. Nonlinear Dynamics, vol. 85, nr 1, 2016, str. 107–122. doi: 10.1007/s11071-016-2672-x.

4. Joanna Ratajczak i Krzysztof Tchoń. On dynamically consistent Jacobian inverse for non-holonomic robotic systems. Archives of Control Sciences, vol. 27, nr 4, 2017, str. 555–573. doi: 10.1515/acsc-2017-0033.

5. Joanna Ratajczak i Krzysztof Tchoń. Dynamic non-holonomic motion planning by means of dynamically consistent Jacobian inverse. IMA Journal of Mathematical Control and Information, vol. 35, nr 2, 2018, str. 479–489. doi: 10.1093/imamci/dnw058.

6. Krzysztof Tchoń i Joanna Ratajczak. General Lagrange-type Jacobian inverse for nonholonomic robotic systems. IEEE Transactions on Robotics, vol. 34, nr 1, 2018, str. 256–263. doi: 10.1109/TRO.2017.2754520.

7. Krzysztof Tchoń, Witold Respondek i Joanna Ratajczak. Normal forms and configuration singularities of a space manipulator. Journal of Intelligent and Robotic Systems, vol. 93, nr 3-4, 2019, str. 621–634. doi: 10 . 1007 / s10846 - 018 - 0883 - 8.

8. Joanna Ratajczak i Krzysztof Tchoń. Normal forms and singularities of non-holonomic robotic systems: A study of free-floating space robots. Systems and Control Letters, vol. 138, 2020, str. 1–9. doi: 10.1016/j.sysconle.2020.104661.

9. Joanna Ratajczak i Krzysztof Tchoń. Coordinate-free Jacobian motion planning: A 3-D space robot. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, vol. 52, nr 8, 2022, str. 5354–5361. doi: 10.1109/TSMC.2021.3125276.

Prace oznaczone numerami od jeden do sześć oraz dziewięć dotyczą problemu planowania trajektorii, dla nieliniowych układów sterowania, najczęściej z ograniczeniami nieholonomicznymi, a w szczególności dla układów występujących w robotyce. Z kolei prace siódma i ósma poświęcone są otrzymaniu form normalnych dla pewnej klasy układów nieholonomicznych.

W pierwszych pięciu pracach cyklu autorzy (Joanna Ratajczak i Krzysztof Tchoń) zajmują się problemem odwracalności kinematycznej (ang. inverse kinematic problem) i

proponują rozwiązanie problemu planowania trajektorii przy użyciu dynamicznie spójnej odwrotności jakobianowej (ang. dynamically consistent Jacobian inverse). Przez spójność rozumie się niedopuszczenie do działania na przestrzeni operacyjnej sił z jądra dualnej odwrotności jakobianowej. Ta metoda została zaproponowana przez O. Khatiba (Khatib O.: Motion/force redundancy of manipulators. 1990 Japan-USA Symposium on Flexible Automation, str. 337–342, 1990 oraz Khatib O.: Inertial properties in robotic manipulation: an object-level framework. The International Journal of Robotics Research, vol. 14, nr 1, str. 19–36, 1995) i zastosowana dla wielu typów układów (roboty, w tym również roboty mobilne, roboty humanoidalne, układy biomechaniczne). Systematyczne użycie tej metody dla układów z ograniczeniami nieholonomicznymi (danymi przez ograniczenia Pfaffa typu $A(q)\,\dot{q} = 0$ jest zasługą i ważnym wkładem doktor Joanny Ratajczak i profesora Krzysztofa Tchonia w rozwiązanie problemu planowania trajektorii.

W pracy oznaczonej numerem jeden doktor Joanna Ratajczak i profesor Krzysztof Tchoń rozpatrują dynamicznie spójną odwrotność jakobianową jako aproksymacyjny problem wariacyjny (dekompozycja Choleskyego i metoda Ritza) i stosują otrzymane rozwiązanie do płaskiego manipulatora z trzema ramionami oraz do manipulatora Puma 560. W następnej pracy metoda dynamicznie spójnej odwrotności jakobianowej jest zastosowana do nieholonomicznego układu składającego się z monocykla (ang. unicycle) z manipulatorem o dwóch ramionach na pokładzie.

Na uwagę i wysoką ocenę zasługuje trzecia praca, w której w sposób systematyczny porównano trzy sposoby podejścia do metody dynamicznie spójnej odwrotności jakobianowej: pierwszy geometryczny, drugi przy użyciu bilansu sil (założenie, że siły wewnętrzne wpływają tylko na ruch w endogenicznej przestrzeni konfiguracyjnej) oraz trzeci oparty o optymalizację układu z ograniczeniami (użycie mnożników Lagrangea). Diagramy komutujące, które ilustrują podejście geometryczne, pozwalają na głębszą analizę, zaś przeprowadzone rachunki dowodzące równoważności trzech sposobów pomagają zrozumieć ich równoważność. W tej pracy metoda dynamicznie spójnej odwrotności jakobianowej jest zastosowana do płaskiego manipulatora holonomicznego z trzema ramionami, dla nieholonomicznego robota Pioneer 2DX typu monocykla oraz dla toczącej się kuli. Parametryczna wersja dynamicznie spójnej odwrotności jakobianowej jest zaproponowana w czwartej pracy cyklu i rozwiązana za pomocą metody geometrycznej, dla której wszystkie komutujące diagramy (wprowadzone w poprzedniej pracy), a także odwrotność jakobianowa i momenty, zależą od s rzeczywistych parametrów. Metoda została zastosowana do problemu planowania trajektorii dla robota "trident snake". Piąta praca poświęcona jest zastosowaniu metody dynamicznie spójnej odwrotności jakobianowej do rozwiązania problemu planowania trajektorii dla toczącej się kuli i robota "trident snake". W następnej, szóstej pracy cyklu autorzy Joanna Ratajczak i Krzysztof Tchoń proponują nowy typ odwrotności jakobianowej. Nazywają ją uogólnioną odwrotnością jakobianową, badają jej osobliwości i stosują do problemu planowania trajektorii dla robota przestrzennego (ang. space robot).

Praca siódma i jej rozszerzenie stanowiące pracę ósmą są poświęcone formom normalnym dla pewnej klasy układów nieholonomicznych. W pierwszej z tych prac autorzy (Krzysztof Tchoń, Witold Respondek i Joanna Ratajczak) proponują formy normalne dla

swobodnego manipulatora przestrzennego (ang. free-floating space manipulator) skonstruowanego w Centrum Badań Kosmicznych PAN. Otrzymano cztery formy normalne (po dwie wokół punktów równowagi i poza nimi) odpowiadające zerowej (dwie formy) lub niezerowej (dwie formy) wartości momentu pędu. Zerowy moment pędu daje liniowe ograniczenie nieholonomiczne, tzn. układ jest liniowy względem sterowań (geometrycznie jest to dystrybucja) i formy normalne dla manipulatora pokrywają się z klasycznymi formami normalnymi dla dystrybucji: forma Pfaffa-Darboux poza punktami równowagi i forma Martinet wokół punktów równowagi (Respondek W. i Zhitomirski M.: Feedback classification of nonlinear control systems on 3-manifolds. Mathematics of Control, Signals, and Systems, vol. 8, 1995, str. 299-333). Niezerowy moment pędu odpowiada afinicznemu ograniczeniu nieholonomicznemu, tzn. układ jest afiniczny względem sterowań (geometrycznie jest to dystrybucja afiniczna) i formy normalne dla manipulatora pokrywają się z klasycznymi formami normalnymi dla form różniczkowych: forma Pfaffa-Darboux dla 1-form poza punktami równowagi i forma Martinet dla 1-form wokół punktów równowagi (Respondek W. i Zhitomirski M.: Feedback classification of nonlinear control systems on 3-manifolds. Mathematics of Control, Signals, and Systems, vol. 8, 1995, str. 299-333). Doprowadzanie układu do formy normalnej pozwala na skuteczne policzenie konfiguracji osobliwych robota, które są opisane w pracy.

Ósma praca, współautorstwa Joanny Ratajczak i Krzysztofa Tchonia, stanowi kontynuację pracy siódmej i poświęcona jest przypadkowi ogólnemu swobodnego robota przestrzennego składającego się z płaskiego statku kosmicznego z manipulatorem o k stopniach swobody na pokładzie. Autorzy proponują formy normalne dla niezerowego momentu pędu (tzn. afinicznego układu sterowania) poza punktami równowagi. Odpowiadają one klasycznym formom normalnym Darboux dla 1-form różniczkowych w przestrzeni $k + 1$-wymiarowej, zob. (M. Zhitomirski i W. Respondek: Simple germs of corank one affine distributions, Banach Center Publications, vol. 44, 1998, str. 269-276). Podobnie jak w pracy siódmej, sprowadzenie układu do formy normalnej pozwala na skuteczne opisanie konfiguracji osobliwych robota. W pracy nie rozpatrzono punktów równowagi ani zerowej wartości momentu pędu, co wydaje się interesującym, choć trudnym, tematem do dalszych badań.

Problem planowania trajektorii dla robota, którego przestrzenią konfiguracyjną jest grupa robotów, jest rozpatrywany w pracy oznaczonej numerem dziewięć. Zaproponowano niezależny od współrzędnych lagranżowski opis dynamiki robota na grupie rotacji. Wychodząc z zasady zachowania momentu pędu, zaproponowano problem planowania trajektorii, którego skuteczność potwierdzono za pomocą symulacji komputerowych.

Podsumowanie oceny osiągnięcia naukowego: Przedstawione prace dotyczą badań odwrotności kinematycznej dla nieliniowych układów sterowania i rozwiązania problemu planowania trajektorii, przy użyciu metody dynamicznie spójnej odwrotności jakobianowej. Rozwinięcie tej metody i jej szerokie zastosowanie do różnych klas nieliniowych układów sterowania, w szczególności do manipulatorów i układów w robotyce, jest ważnym osiągnieciem naukowym doktor Joanny Ratajczak, uzyskanym we współpracy z profesorem Krzysztofem Tchoniem. Sformalizowanie metody wymagało, po pierwsze, szerokiej wiedzy matematycznej, którą doktor Joanna Ratajczak wykazała się w swoich pracach zaliczonych do

omawianego cyklu. W szczególności wymagało wiedzy z algebry i analizy funkcjonalnej: endogeniczna przestrzeń konfiguracyjna jest rozpatrywana w cyklu jako przestrzeń funkcyjna $L^2[0, T]$, czyli przestrzeń Hilberta sterowań całkowalnych z kwadratem na odcinku $[0, T]$. Głębokie jest też zrozumienie metod geometrycznych używanych w nieliniowej teorii sterowania: przestrzenie styczne i kostyczne, operatory muzyczne, dystrybucje geometryczne i formy różniczkowe. Po drugie, wykonane rachunki wymagają dobrej znajomości obliczeń symbolicznych, zaś zaprezentowane symulacje użycia zarówno metod numerycznych, jak i symulacji komputerowych. Po trzecie, uzyskane wyniki dowodzą głębokiego zrozumienia fizycznych i inżynierskich aspektów rozpatrywanych układów (użycie praw zachowania, analiza ograniczeń nieholonomicznych, bilans sił dla metody dynamicznie spójnej odwrotności jakobianowej itp.).

Podstawowym wkładem doktor Joanny Ratajczak w robotykę jest rozwinięcie i zastosowanie metody dynamicznie spójnej odwrotności jakobianowej do planowania trajektorii dla wielu konkretnych manipulatorów i układów robotycznych. Otrzymane wyniki, plasujące się na pograniczu robotyki i nieliniowej teorii sterowania są ważne, trudne i wymagające interdyscyplinarności, której dowiodła doktor Joanna Ratajczak w swoich badaniach. Jednocześnie otwierają one kierunki dla prowadzenia dalszych badań w przyszłości. Biorąc pod uwagę wyżej wymienione walory, cykl prac doktor Joanny Ratajczak oceniam bardzo dobrze.

Podsumowując ocenę osiągnięcia naukowego w formie przedstawionego cyklu publikacji stwierdzam, że z pewnością wypełnia ono wymagania dotyczące osiągnięć naukowych stanowiących podstawę do nadania stopnia doktora habilitowanego.

Wniosek końcowy

Stwierdzam, że omówiona powyżej aktywność naukowa doktor inżynier Joanny Ratajczak spełnia kryteria określone w Ustawie w odniesieniu do wymagań dotyczących habilitacji. Również przedstawione przez Habilitantkę osiągnięcie naukowe wnosi istotny wkład do rozwoju dyscypliny naukowej automatyka, elektronika i elektrotechnika. W związku z tym z przekonaniem wnoszę o nadanie pani doktor inżynier Joannie Ratajczak stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika.

A. Bartoszewicz