Prof. dr hab. inż. Cezary Zieliński
Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Politechnika Warszawska

Warszawa, 5. września 2022 r.

Recenzja
dotycząca wniosku w sprawie **nadania stopnia doktora habilitowanego**
w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych
w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika
dr inż. Joannie Ratajczak
wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Naukowej
Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika,
Politechniki Wrocławskiej

1. Ocena przedłożonego materiału dotyczącego działalności naukowej

Podstawę wniosku habilitacyjnego stanowi osiągnięcie przedstawione w cyklu dziewięciu publikacji powiązanych tematycznie. Zbiorczy tytuł cyklu to: „Jakobianowe algorytmy planowania ruchu dla modeli holonomicznych i nieholonomicznych układów robotycznych bazujące na paradygmacie endogenicznej przestrzeni konfiguracyjnej: analiza teoretyczna, własności, symulacyjne badania porównawcze"

Cykl prac poświęcony jest planowaniu ruchu szerokiej klasy robotów, co czyni rozważania bardzo ogólnymi. Roboty podzielono na holonomiczne i nieholonomiczne, gdyż stosowane metody planowania ruchu dla obu tych kategorii są różne. Szczególnym przedmiotem zainteresowania Habilitantki są metody jakobianowe wykorzystujące koncepcję przestrzeni endogenicznej, która pozwala na zdefiniowanie dla robotów nieholonomicznych odpowiedników znanych z rozważań nad robotami holonomicznymi. W konsekwencji obydwa typy układów robotycznych mogą być traktowane w sposób zunifikowany. Prace te mają charakter teoretyczny, a weryfikowane są symulacyjnie. Aspekt praktyczny tych prac wymaga zmierzenia się ze złożonością matematyczną tworzonych modeli. Skuteczność proponowanych metod weryfikowana była na przykładzie robotów holonomicznych, takich jak: potrójne odwrócone wahadło i Puma-560, oraz nieholonomicznych: manipulator mobilny (składający się z nieholonomicznej platformy i holonomicznego manipulatora do niej przytwierdzonego), kula kinematyczna, robot typu trójkątny smok oraz robot kosmiczny. Należy zwrócić uwagę, że proponowane metody dotyczą robotów redundantnych, gdzie jakobian (ściślej mówiąc: macierz Jacobiego) jest przedstawiany macierzą prostokątną o mniejszej liczbie wierszy niż kolumn. By rozwiązać odwrotne zagadnienie kinematyki dla takich układów, należy w odpowiedni sposób odwrócić jakobian. Duża część prac Habilitantki poświęcona jest różnym metodom wyprowadzenia dynamicznie zgodnej odwrotności jakobianu i porównaniu ich efektów dla generacji trajektorii dla różnych typów robotów. Koncepcję dynamicznie zgodnej odwrotności jakobianu dla robotów holonomicznych wprowadził do literatury robotycznej Oussama Khatib, natomiast Habilitantka wspólnie z Krzysztofem Tchoniem poszerzyła stosowalność tego podejścia także dla robotów nieholonomicznych. Ten rodzaj odwrotności jakobianu jest szczególnie istotny przy zadaniach sterowania siłą lub momentem siły, by siły/momenty złączowe nie przekształcały się na niekontrolowany ruch efektora. W pracy: „Design of inverse kinematics algorithms: extended Jacobian approximation of the dynamically consistent Jacobian inverse", opublikowanej w *Archives of Control Sciences,* Habilitantka

RDN AEE/155/2022

rozwiązała zadanie znane jako powtarzalna kinematyka odwrotna. Polega ono na wyznaczaniu zamkniętych pętli w przestrzeni konfiguracyjnej dla zamkniętych pętli w przestrzeni zadaniowej (operacyjnej). Rozwiązanie polegało na takim doborze funkcji rozszerzających kinematykę prostą, by jak najlepiej aproksymować jakobian dynamicznie zgodny. Ponadto opracowano lagranżowską odwrotność jakobianu i ją też zastosowano w algorytmie planowania ruchu. W tym przypadku wykorzystano narzędzia sterowania optymalnego. Tym razem również pokazano, że algorytm generuje trajektorie gładkie i redukuje zużycie energii. W pracach: „Normal forms and configuration singularities of a space manipulator", opublikowanej w *Journal of Intelligent and Robotic Systems,* oraz „Normal forms and singularities of non-holonomic robotic systems: A study of free-floating space robots", przedstawionej w: *Systems & Control Letters,* zastosowano metodę postaci normalnuych do odwracalnego przekształcenia układu wejściowego do układu o szczególnie prostej postaci. Okazało się, że niemożliwe w rozsądnym czasie obliczeń planowanie ruchu wejściowego jest możliwe dla układów w postaci normalnej. Prowadzone rozważania doprowadziły także do sformułowania dość ciekawego poznawczo i nieoczywistego wniosku, że z punktu widzenia jakobianowych algorytmów planowania ruchu preferowane są manipulatory o parzystej liczbie stopni swobody. Ponadto jednym z istotnych problemów przy planowaniu ruchu robotów jest sposób reprezentacji orientacji. Reprezentacje minimalne niestety cierpią z powodu osobliwości tych reprezentacji. Habilitantka zaproponowała, by stosować reprezentację orientacji w przestrzeni SO(3), co wyeliminowało problem tych osobliwości. Habilitantka współuczestniczyła w opracowaniu teorii będącej podstawą projektowanych algorytmów ruchu holonomicznych i nieholonomicznych robotów oraz w całości je implementowała i testowała symulacyjnie. Sformułowane zasady doboru ich parametrów z pewnością ułatwią robotykom praktykom, zajmujących się tą tematyką, przeniesienie osiągnięć naukowych na grunt przemysłowy i usługowy.

Można powiedzieć, że problem planowania ruchu dla szerokiej klasy robotów został zbadany, przy istotnym udziale Habilitantki, niezmiernie dogłębnie i systematycznie. Wyniki dociekań zostały opublikowane w takich renomowanych czasopismach jak: IEEE Transactions on Robotics, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Nonlinear Dynamics, IMA Journal of Mathematical Control and Information, Journal of Intelligent and Robotic Systems, Systems & Control Letters, International Journal of Control, Archives of Control Sciences. Na podkreślenie zasługuje fakt, że pierwsze trzy czasopisma są najwyżej punktowane na liście ministerialnej. Jedna praca jest autorska, a pozostałe współautorskie, ale wkład własny habilitantki w te prace jest znaczący: w pięć prac dwuautorskich 60%, w jedną 80% i w jedną 40%, a w pracę trójautorską 20%. W latach 2015-2021 co roku publikowała co najmniej jedną ważką pracę, co świadczy o stałym i wytężonym wysiłku badawczym. Oznacza to dużą aktywność naukową w ostatnich latach, co jest dobrą prognozą na przyszłość.

Oprócz publikacji zamieszczonych w zgłoszonym cyklu Habilitantka jest autorką 6 prac przed obroną doktoratu (w tym 2 artykuły w czasopismach z IF) oraz 17 innych: artykułów w czasopismach, rozdziałach w książkach oraz referatów konferencyjnych (w tym 4 artykuły w czasopismach z IF). Zdecydowana większość tych prac poświęcona jest planowaniu ruchu robotów.

Wiele z tych prac było cytowanych – z natury rzeczy te starsze przyciągnęły uwagę większej liczby autorów, a te z ostatnich lat jeszcze nie zdążyły, ale to zapewne się jeszcze zmieni. Liczba cytowań dorobku Habilitantki różni się w zależności od bazy danych, na podstawie której dokonano obliczeń: WOS - 90/65, Scopus - 133/79, Google Scholar - 172/103, gdzie pierwsza liczba wskazuje wszystkie cytowania, natomiast druga nie zawiera autocytowań.

Indeks Hirscha wyznaczony na podstawie tych baz to: 6 (WOS), 8 (Scopus), 9 (Google Scholar). Te wskaźniki bibliometryczne należy uznać za bardzo dobre. Należy dodatkowo podkreślić, że te dobre wyniki zostały uzyskane pomimo stosowania w tych pracach zaawansowanego aparatu matematycznego, potrzebny do ich zrozumienia, oraz relatywnie krótkiego okresu od chwili opublikowania ostatnich prac. Liczby cytowań świadczą o tym, że prace Habilitantki zostały zauważone przez środowisko zajmujące się pokrewną tematyką.

Podsumowując ocenę przedłożonego materiału dotyczącego działalności naukowej należy podkreślić, że jego waga jest istotna, a liczność i ranga publikacji oraz liczba ich cytowań wskazuje, że Habilitantka ma dobrze opanowany warsztat badawczy, a co więcej jej prace dostrzegane są przez innych badaczy.

2. Ocena dotychczasowego przebiegu kariery naukowej

Dr inż. Joanna Ratajczak uzyskała tytuł zawodowy magistra w 2007 roku, a w 2012 roku stopień doktora, a więc w miarę szybko, biorąc pod uwagę warunki polskie oraz uprawianą dyscyplinę naukową. Obie prace zrealizowała pod kierownictwem prof. dra hab. inż. Krzysztofa Tchonia, z którym nadal współpracowała po uzyskaniu dyplomu doktorskiego. Zgromadzenie w ciągu 10 lat od obrony doktoratu wystarczającego dorobku naukowego, by uzyskać stopień doktora habilitowanego, jest bardzo dobrym dokonaniem.

Od 2012 roku dr Joanna Ratajczak jest zatrudniona na Wydziale Elektroniki (obecnie przemianowanym na Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów) Politechniki Wrocławskiej, jako pracownik naukowo-dydaktyczny. W latach 2012-2015 była asystentem, a od 2015 roku do chwili obecnej jest adiunktem.

Habilitantka podejmowała liczne próby nawiązania współpracy naukowej z naukowcami z innych ośrodków badawczych. Pierwsza próba miała miejsce jeszcze przed uzyskaniem doktoratu w trakcie HYCON-EECI Graduate School on Control zorganizowanej przez European Embedded Control Institute w Gif-sur-Yvette we Francji. Po uzyskaniu doktoratu Habilitantka współpracowała w ramach projektu NCN z Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk. Współpraca dotyczyła robotów kosmicznych. Projektem kierował prof. Jerzy Sąsiadek z Carleton University z Ottawy w Kanadzie. Ponadto nawiązała współpracę naukową z Laboratoire de Mathématiques (LMI) Institut National des Sciences Appliqués (INSA) w Rouen we Francji. Wynikiem tej współpracy był wspólny artykuł z prof. W. Respondkiem opublikowany w Journal of Intelligent and Robotic Systems. Współpraca z wymienionymi instytucjami badawczymi wskazuje, że Habilitantka przejawia istotną aktywność naukową realizowaną wspólnie z innymi instytucjami badawczymi. Najistotniejszym jest, że w wyniku wspomnianej współpracy powstały istotne publikacje.

Habilitantka bierze udział w organizowaniu przez Politechnikę Wrocławską Krajowej Konferencji Robotyki. Jest członkiem Rady Wydziału Elektroniki Politechniki Wrocławskiej oraz zastępcą kierownika Katedry Cybernetyki i Robotyki. Ta działalność świadczy o zaangażowaniu organizacyjnym Habilitantki. Za swą działalność na PWr została wyróżniona 4 Nagrodami Rektora oraz nagrodami programów PRIMUS i SECUNDUS.

Jest recenzentką takich czasopism z listy JCR jak: IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics: Systems, IEEE Robotics and Automation Letters, Journal of Intelligent & Robotic Systems, Robotica, Robotic and Autonomous Systems czy Research Journal of Biotechnology.

Ranga tych czasopism świadczy o jej rozpoznawalności i wysokiej ocenie jej kwalifikacji naukowych. Ponadto recenzowała referaty zgłoszone na kilka konferencji międzynarodowych i krajowych (RoMoCo, MMAR, CDC, MED., IROS, ACC, KKR).

Habilitantka brała udział w projekcie realizowanym w ramach 7 Programu Ramowego Komisji Unii Europejskiej (LIREC). Uzyskała grant promotorski z NCN, a ponadto stypendium z POKL. Była kierownikiem projektu finansowanego z dotacji na rozwój młodych naukowców. Była też głównym wykonawcą w dwóch projektach finansowanych przez NCN w ramach konkursów Opus. Ponadto była głównym wykonawcą w 12 projektach statutowych Politechniki Wrocławskiej. Liczność projektów, w których brała udział, dowodzi jej dużej aktywności badawczej. Nawiązywała też współpracę z podmiotami komercyjnymi, takimi jak KGHM ZANAM, Cloud Best czy Intec Automation.

Podsumowując dotychczasowy przebieg kariery naukowej Habilitantki można orzec, że nie odbiega on od oczekiwań stawianych wobec skutecznego aspiranta do stopnia doktora habilitowanego.

3. Opieka naukowa i osiągnięcia dydaktyczne

Habilitantka, jako pracownik dydaktyczny Politechniki Wrocławskiej, prowadziła: wykłady, ćwiczenia oraz zajęcia laboratoryjne. Wykładała: Cyfrowe Przetwarzanie Obrazów i Sygnałów oraz Mathematical Methods of Automation and Robotics, Do tych i wielu innych zajęć opracowała materiały dydaktyczne, a w szczególności oprogramowanie. Była promotorem 23 prac inżynierskich oraz 10 prac magisterskich. Na podkreślenie zasługuje fakt, że zajęcia oraz dyplomy prowadzi zarówno w języku polskim jak i angielskim. Ponadto zaangażowana była w opracowanie planu studiów kierunku Automatyka i Robotyka, a w szczególności kart trzech nowych przedmiotów.

Podsumowując ten aspekt kariery Habilitantki, należy stwierdzić, że przejawia Ona właściwe zaangażowanie w proces kształcenia przyszłych inżynierów i magistrów.

4. Podsumowanie

Zgodnie z artykułem 219 ustęp 1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* stopień doktora habilitowanego nadaje się osobie, która:

1) posiada stopień doktora;

2) posiada w dorobku osiągnięcia naukowe albo artystyczne, stanowiące znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny, w tym co najmniej:

a) 1 monografię naukową wydaną przez wydawnictwo, które w roku opublikowania monografii w ostatecznej formie było ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. A, lub

b) 1 cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. B, lub

c) 1 zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne lub artystyczne;

3) wykazuje się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

Dr inż. Joanna Ratajczak uzyskała stopień doktora nauk technicznych w 2012 roku, nadany jej przez Radę Instytutu Informatyki, Automatyki i Robotyki Politechniki Wrocławskiej, a więc spełnia wymaganie wyartykułowane w Art.219 ustęp 1 punkt 1.

Habilitantka przedstawiła cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. B. Podkreślić należy, że prace zawarte w cyklu są bardzo spójne tematycznie, a ranga uzyskanych wyników jest wysoka.

Dr inż. Joanna Ratajczak współpracowała z dwoma instytucjami naukowymi: Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk oraz Laboratoire de Mathématiques (LMI) Institut National des Sciences Appliqués (INSA) w Rouen we Francji. Na podkreślenie zasługuje to, że w pierwszym przypadku podjęta współpraca zaowocowała istotnymi publikacjami dotyczącymi robotów kosmicznych, a w drugim przypadku wspólną publikacją w bardzo renomowanym czasopiśmie. Ta działalność wyczerpuje wymagania Art.219 ustęp 1 punkt 3.

5. Wniosek końcowy

Ponieważ materiał załączony przez dr inż. Joannę Ratajczak do wniosku w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika spełnia wszystkie wymagania wyartykułowane w artykule 219 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce,* **wnioskuję o nadanie** dr inż. Joanna Ratajczak **stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika.**