

prof. dr hab. inż. Zdzisław Kowalczyk
profesor zwyczajny
Katedra Systemów Decyzyjnych i Robotyki
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki
Politechnika Gdańska
ul. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

1 czerwca 2024

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
DLA RADY NAUKOWEJ DYSCYPLINY
AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA, ELEKTROTECHNIKA
I TECHNOLOGIE KOSMICZNE
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

PhD Thesis: **“Design a novel control system to solve robotic eye surgery challenges”**

Keywords: Robotic eye surgery, Control, Sliding Mode Control, Force estimator, Time-delay

Tytuł rozprawy: **”Projektowanie innowacyjnego systemu sterowania w celu sprostania wyzwaniom zrobotyzowanej chirurgii oka”**

Słowa kluczowe: Robotyczna chirurgia oka, sterowanie, sterowanie ślizgowe, estymator siły, opóźnienie czasowe

Autor rozprawy: **Ali Soltani Sharif Abadi, M.Sc.**

Promotor: **dr hab. inż. Andrzej Ordys**

Promotor pom.: **dr inż. Barbara Pierścioneck**

1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrywane w pracy (teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?

Przedmiotem przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej jest istotne i ważne społecznie oraz ciekawe technicznie zagadnienie projektowania systemów wspierania chirurgii, a w szczególności chirurgii oka.

Podobnie jak w innych przypadkach inżynierii systemów, dziedzina operacji robotycznych podlega ogromnemu postępowi, otwierając nowe możliwości w zakresie precyzji i skuteczności operacji na oczach. Zwłaszcza postęp w dziedzinie fizyki, elektroniki, mechatroniki i technik komputerowych oraz pojawiające się nowe technologie, które mogą znaleźć zastosowanie w konstrukcji kolejnych generacji zrobotyzowanych systemów wspierania operującego chirurga, stanowią olbrzymią motywację dla inżynierów-projektantów do podejmowania nowych wyzwań i wykorzystania najnowszych osiągnięć teoretycznych i praktycznych w tej dziedzinie.

Waga zagadnienia, wynikająca z potrzeby ciągłego zwiększania efektywności i bezpieczeństwa operacji chirurgicznych na oku pacjenta, jest niekwestionowana i stanowi dobre uzasadnienie celowości obranego w niniejszej rozprawie kierunku badań.

Nieuwypuklona formalnie teza rozprawy doktoranta Ali Soltani Sharif Abadiiego dotyczy aktualnych wyzwań w robotycznych systemach chirurgii oczu oraz propozycji ich zaspokojenia poprzez *zaprojektowanie innowacyjnego systemu sterowania usprawniającego pętlę działania chirurga*. Poza podniesioną wyżej istotnością tematyki, w świetle znanych wyników teoretycznych i praktycznych, postawione zadanie wydaje się uzasadnione i aktualne.

Sam tytuł rozprawy rozumiany jako „Projektowanie innowacyjnego systemu sterowania w celu sprostania wyzwaniom zrobotyzowanej chirurgii oka” lepiej by brzmiał w języku angielskim jako „*Designing an innovative control system to meet the challenges of robotic eye surgery*”.

Po krótkich akapitach dotyczących motywacji, celu, zakresu i opisu problematyki rozprawy oraz wskazaniu pięciu własnych przyczynków naukowych, autor charakteryzuje własnych sześć (poza referatami konferencyjnymi) publikacji żurnalowych w zakresie tematyki rozprawy oraz kilkanaście innych.

Głównym celem badań doktoranta było zwiększenie możliwości systemów robotycznych stosowanych w chirurgii oka, zapewnienie lepszej dokładności, bezpieczeństwa i odpowiednich wyników chirurgicznych. Podjęte zadania obejmują precyzyjną manipulację instrumentami, adaptację w czasie rzeczywistym do dynamiki oka pacjenta i minimalizowanie inwazyjności w celu maksymalizacji wskaźników sukcesu chirurgicznego.

Ogólnie, w swojej dysertacji doktorant zaproponował autorski, specjalistyczny dobór metod projektowania, które zostały zaimplementowane, oraz przeprowadził odpowiednią ich ocenę w środowiskach symulacyjnych. Całość prac została oparta na adekwatnej wiedzy z zakresu robotycznej chirurgii oka oraz osiągalnych dziedzinowych technologii niezbędnych do realizacji tego celu: czujników, członów wykonawczych, robotów-manipulatorów, protokołów komunikacyjnych, obserwatorów stanu i sygnałów, oraz metod projektowania układów automatyki, takich jak sterowanie w dyskretnym czasie skończonym, regulacja PID, sterowanie predykcyjne (MPC), sterowanie z reżimie ślizgowym (ze zmienną strukturą), filtracje wygładzające, strategie adaptacyjne i odporne, gwarantujących odpowiednią jakość sterowania, przy uwzględnieniu zakłóceń sygnałowych oraz niepewności modelowania.

Biorąc pod uwagę techniczno-inżynierskie i medyczne znaczenie rozważanego zagadnienia projektowania systemu zaawansowanego manipulatora chirurgicznego, tematykę rozprawy Pana Ali Soltani Sharif Abadiiego należy zatem zaliczyć do ważnych społecznie oraz naukowo i technologicznie.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono analizę źródeł we właściwy sposób (w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle), świadczący o dostatecznej wiedzy autora? Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Autor rozprawy zastosował bardzo obszerne wprowadzenie do rozprawy w postaci dwóch interesujących rozdziałów. Elementy głębszego wprowadzenia w tematykę rozprawy pojawiają się także na początku kolejnych rozdziałów merytorycznych. Ponadto, uwzględnivszy własny, bogaty dorobek publikacyjny, uznać należy, że doktorant dokonał prawidłowej analizy źródeł naukowych i literatury światowej z tej dziedziny oraz umiejętnie wykorzystał te wyniki we własnych badaniach. Materiał poglądowy dobrze też odzwierciedla rozległą wiedzę zdobytą przez doktoranta.

Części wprowadzające są całkowicie wystarczające. Dobrze określono podjętą tematykę, podano cele badawcze, przyjęte założenia i zakres działania, jak również szczegóły proponowanych składowych rozwiązań. Jasne są zamierzenia opisywanego projektu i ramy badawcze oraz struktura raportu.

Koncepcje własnych, autorskich rozwiązań udokumentowane są wieloma publikacjami. Pominąwszy drobne niedociągnięcia, wnioski zaczerpnięte ze źródeł bibliograficznych nie budzą zastrzeżeń. Również sposób wykorzystania cytowanych pozycji literaturowych w dysertacji jest w ogólności poprawny (czasami brak wszystkich szczegółów bibliograficznych, co może być usprawiedliwione jedynie dla najświeższych prac z roku 2023). Pewne wątpliwości wzbudza sposób prezentacji treści w języku angielskim oraz brak wyróżników omawianych rozwiązań, a zwłaszcza wykazania/uwypuklenia nowatorstwa elementów własnych.

Praca ogólnie liczy 192 strony, merytoryczne rozdziały dysertacji zajmują 50 stron, zaś mało użyteczny, niealfabetyczny spis bibliograficzny obejmuje 253 pozycje, nie uwzględniając pozycji autorskich.

3. Czy autor rozwiązał postawione zadania, czy użył właściwej do tego metody, oraz czy przyjęte założenia są uzasadnione?

W ramach rozważanego zagadnienia projektowego doktorant proponuje autorski system sterowania, projektowany w celu rozwiązania założonego kompleksu racjonalnych celów i zadań stojących przed zrobotyzowanym systemem chirurgii oka.

Autor dokonał przeglądu wybranych aspektów projektowych związanych z robotyczną chirurgią oka, do których należą w szczególności: czas operacji, krzywa uczenia, opóźnienie w kanale komunikacyjnym, drżenie ręki chirurga, zakłócenia zewnętrzne, siła przyłożona przez narzędzie chirurgiczne, dokładność śledzenia trajektorii, dostępność systemów robotycznych, metod sterowania, technologii i protokołów komunikacyjnych. Na podstawie przeprowadzonej analizy doktorant określił też konkretne cele i warunki pracy sterownika, na które składają się: (a) niewrażliwość na drgania ręki chirurga, (b) odporność na wiedzę/niepewność modelowania układu i zakłóceń zewnętrznych, (c) istotność modelu siły przyłożonej w regule sterowania, (d) realizowalność projektu w rzeczywistym systemie robotycznym, (e) dokładność robota w warunkach istnienia opóźnienia czasowego w kanale komunikacyjnym, (f) szybkość działania oraz (g) płynność sterowania.

Biorąc pod uwagę, że głównym zadaniem autora było opracowanie robota-manipulatora dla zrobotyzowanej chirurgii oka, który został solidnie zweryfikowany w badaniach symulacyjnych przy użyciu środowiska MATLAB oraz na platformie czasu rzeczywistego i w testach eksperymentalnych na różnych modelach ludzkiego oka, należy uznać, że doktorant rozwiązał postawione zadanie projektowe prezentując raport o silnych znamionach wdrożeniowych.

Na podstawie szczegółowej lektury rozprawy, należy też zauważyć, że autor wykazał się przy tym: znajomością analizowanego problemu, opanowaniem materiału teoretycznego i technicznego, bardzo dobrze rozwiniętym warsztatem naukowym i inżynierskim, umiejętnością doboru założeń badawczych, definiowania kierunków badań, projektowania i implementacji systemów, formułowania wniosków oraz rozwiązywania postawionych zadań, jak również opanowaniem środowisk inżynierskiego projektowania (informatycznego, obliczeniowo-projektowego i symulacyjnego) oraz biegłością w implementacji algorytmów i umiejętnością weryfikacji osiągniętych rezultatów w warunkach symulacyjnych i laboratoryjnych.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Do licznych dowodów kwalifikacji naukowych i inżyniersko-społecznych doktoranta, pozwalających na pracę zarówno indywidualną, jak i zespołową, dochodzi opanowanie przez niego warstwy merytorycznej w zakresie podstaw szeroko rozumianej robotyki medycznej, jak i umiejętności na polu jej implementacji oraz badań eksperymentalnych.

Po przyjęciu najważniejszych założeń systemicznych, doktorant przeszedł do projektu nowatorskiego systemu sterowania zrobotyzowanym układem wspierającym chirurgię oka, który składa się z trzech podstawowych części: głównej/nadrzędnej, podrzędnej oraz kanału komunikacyjnego.

Jak wspomniano w powyższym punkcie 3, (a)-(g), funkcje sterowników zostały projektowane tak, aby były niewrażliwe na szkodliwe zjawiska, takie jak: drżenie rąk chirurga, zakłócenia zewnętrzne, niepewności modelowania oraz opóźnienia czasowe w kanale komunikacyjnym. Odrębnie oceniono zastosowany model siły, wykorzystany w projekcie prawa sterowania. Projektowany układ sterowania oparto na strategii sterowania ślizgowego z wykorzystaniem obserwatora, który szacuje stany układów i jednocześnie model niepewności i zaburzeń zewnętrznych oraz pozwala na użycie obserwowanych stanów układu i oszacowanych zakłóceń w prawie sterowania. Algorytm sterowania realizuje też cel stabilizacji w ustalonym czasie, tzn. gwarantuje górną granicę systemicznego czasu ustalania. Ważnym wynikiem takiego projektu sterowania są pozbawione drgań i płynnie realizowalne sygnały sterujące. Obserwator stanu systemu i obserwator zakłóceń oraz kaskadowe powierzchnie ślizgowe dla prawa sterowania, stanowią kluczowe elementy osiągalności wymaganych funkcji.

Opracowany sterownik został poddany kompleksowej ocenie w badaniach symulacyjnych w pakiecie MATLAB-Simulink. W celu przetestowania podstawowych cech w działaniu systemu sterowania, zastosowano dwa wybrane scenariusze, które dotyczą typowego zastosowania zrobotyzowanego systemu chirurgii oka do operacji na rogówce. Modelując odrębnie części nadrzędną/zadającą i podrzędną/wykonawczą, zasympulowano urządzenie zadające (*joystick*) oraz robota z manipulatorem 3-DOF. W symulacjach uwzględniono opóźnienie czasowe w kanale telekomunikacyjnym (dwukierunkowe łącze typu *master-slave*). Zaprojektowany przez doktoranta system sterowania charakteryzuje się dużą dokładnością (reakcji/transmisji sterowania) przy spełnieniu oczekiwanych wymagań (m.in. odporności i braku drgań).

Do symulacyjnego przebadania całości systemu w czasie rzeczywistym użyto też cyfrowego symulatora czasu rzeczywistego (RTDS), który pozwolił na ocenę reakcji systemu w zdefiniowanych przez doktoranta scenariuszach. Badania przeprowadzone w czasie rzeczywistym potwierdziły spełnienie wymagań ilościowych i jakościowych postawionych przed systemem sterowania manipulatorem chirurgicznym.

Doktorant porównał wdrożoną przez siebie metodę z dwiema innymi metodami, które również należą do klasy kontrolerów ślizgowych opartych na obserwatorze, z technikami stabilizacji skończonej i asymptotycznej. Przy eksperymentalnej weryfikacji kontrolera ruchu wykonywano w oparciu o dwa sposoby modelowania oka ludzkiego.

Zaproponowane kompleksowe podejście zostało sprawdzone praktycznie w eksperymentach z użyciem rzeczywistej manipulacji robotycznej 6-DOF w ramach zdalnego systemu chirurgicznego. Sterownik został zaimplementowany na tym robocie wykorzystując funkcjonalności systemu operacyjnego ROS (*Robot Operation System*). W badaniach wykazano, że proponowane podejście projektowe charakteryzuje się

bardzo dużą dokładnością śledzenia pożądaných trajektorii (robot śledził pożądanę punkty trajektorii dokładnie, płynnie, bez drgań i szybko).

Na swojej drodze projektowania, zgodnie zamierzonymi celami badawczymi rozprawy doktorskiej, jej autor, Pan Ali Soltani Sharif Abadi, osiągnął kilka oryginalnych wyników, dotyczących naukowo-badawczych aspektów rozprawy, które można w skrócie opisać jako:

- (1) W części dotyczącej studium literaturowego – przekrój najważniejszych wyzwań i zagadnień związanych z robotyczną chirurgią oka, z uwzględnieniem systemów robotycznych, dostępnych technologii, czasu trwania operacji, stosowanych protokołów komunikacyjnych i systemów sterowania, a także wymagań stawianych systemom sterowania stosowanym w robotycznej chirurgii oka.
- (2) W części odnoszonej do zawartości teoretycznej – zaprojektowanie autorskiego układu sterowania zrobotyzowanym systemem chirurgii oka pracującym w zadanych warunkach: Doktorant opanował materiał oraz zaprojektował układ sterowania w trybie ślizgowym w oparciu o obserwator, który jest odporny na niepewności, zakłócenia, drgania rąk chirurga i opóźnienia czasowe w kanale telekomunikacyjnym. Gwarancję stabilizacji w zadanym czasie wykazano w oparciu o funkcję Lapunowa, uwzględniając w projekcie kontrolera siłę przykładaną do ludzkiego oka podczas operacji na nim.
- (3) W części symulacyjnej – ocena projektowanego sterownika w środowisku Matlab-Simulink oraz na symulatorze czasu rzeczywistego: Zrobotyzowany system chirurgii oka wraz z projektowanym sterownikiem został poddany symulacji na platformie Simulink/MATLAB, a następnie system ten został uruchomiony na symulatorze czasu rzeczywistego. Wyniki badawcze uzyskano dla dwóch scenariuszy naśladujących rzeczywiste warunki chirurgii oka.
- (4) W części eksperymentalnej – badania praktyczne oparte na rzeczywistym manipulatorze 6-przegubowym: Badany projekt układu sterowania został zaimplementowany na manipulatorze robotycznym. W zakresie kontroli i dokładności dotarcia do wymaganych punktów zaproponowany sterownik okazał się konkurencyjny w stosunku do dwóch innych znanych rozwiązań.

Z zaprezentowanego raportu wynika duża sprawność doktoranta w prowadzeniu innowacyjnych prac badawczo-projektowych uwzględniających elementy teoretyczne i praktyczne narzędzia inżynierskie niezbędne do modelowania i projektowania systemów robotycznych wspierających chirurgię oka.

Uwzględniając wymienione wyżej oryginalne przyczynki naukowo-badawcze oraz fakt zaistnienia autora w licznych publikacjach, specjalistycznych dla szeroko rozumianej automatyki, elektroniki i elektrotechniki:

(Int. J. of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery, Wiley/70 pkt; J. of Nonlinear Analysis: Hybrid Systems, IFAC/140 pkt; Int. J. of Robust and Nonlinear Control, Wiley/140 pkt; Int. J. of Automotive Technology, Springer/100 pkt; J. of Advanced Control for Applications: Engineering and Industrial Systems, Wiley/20 pkt; jak również: Int. J. of Control, Automation and Systems, Springer/100 pkt; J. of Automatic Control and Computer Science, Springer/20 pkt; Archives of Control Science, PAN/100 pkt; Asian Journal of Control, Wiley/70 pkt; Discrete Dynamics in Nature and Society, Hidavi/40 pkt),

uważam, że Pan Ali Soltani Sharif Abadi osiągnął cel rozprawy doktorskiej i wykazał się wiedzą i umiejętnością rozwiązywania problemów naukowych w projektowaniu systemów robotycznych, które stanowią podstawę współczesnej chirurgii oka.

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?

Na podstawie lektury przedmiotowej rozprawy można powiedzieć, że doktorant posiadał wysoką umiejętność korzystania z teorii i technik zaczerpniętych z literatury oraz wnoszenia własnych opracowań, jak również dostateczną zdolność zwięzłego i jasnego przedstawiania uzyskanych wyników.

Przegląd literaturowy i spis literatury zostały dobrze opracowane. Całość raportu dostatecznie dokumentuje wkład doktoranta i uzyskane przez niego wyniki. Ogólnie praca prezentuje się wiarygodnie. Zewnętrzna struktura i redakcja pracy jest akceptowalna. Zazwyczaj autor dostarcza przeglądu niezbędnych podstaw i dokonuje wprowadzenia. Przedstawione treści często jednak nie są należycie wyważone (często pobieżne, częściowe, niejasne lub nie uderzające w punkt, co jest mało zrozumiałe, przy dużym doświadczeniu publikacyjnym doktoranta). Poszczególne merytoryczne rozdziały i cała praca zostały należycie podsumowane.

Porządek rzeczy wewnątrz poszczególnych rozdziałów posiada w miarę odpowiednią strukturę. Raport przygotowano w języku angielskim. Zastosowany w raporcie język techniczny jest ogólnie zrozumiały, ale nie zawsze jasny i zwięzły. Długość zdań jest zwykle dobrze dobrana. Paragrafy mają akceptowalne rozmiary (choć mogą też zajmować nawet 1/3 lub aż do 1/2 strony).

Główna część badawczo-laboratoryjna jest obszerna (strony 48-152) i dobrze dokumentuje wykonaną pracę, wyniki końcowe i skuteczność rozwiązania.

Ogólnie omawiana praca doktorska, dotycząca innowacyjnej dziedziny robotyzacji chirurgii oka o ważnych społecznie perspektywach zastosowania, została przedstawiona w silnym kontekście wdrożeniowym i pod względem merytorycznym/systemicznym prezentuje się bardzo dobrze.

Podsumowanie pracy jest powierzchowne. Problemy otwarte dotyczą głównie zagadnień medycznych. Propozycje dalszych badań wydają się mało ekscytujące.

6. Jakie są inne słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Doceniając merytoryczne walory rozprawy, doktorantowi należy wytknąć słabą jakość przekazu, która może wynikać z pośpiechu lub z przesadnej samodzielności ambitnego doktoranta o szerokich horyzontach naukowych. Choć intencje autora są zwykle możliwe do odczytania, nie zawsze wiadomo do czego autor zmierza i dlaczego. Często autor nie podaje argumentów dla sposobu prowadzenia dyskusji. W pracy pojawiają się też nieciągłości, nieinformacyjności, niedomówienia i niejasności, oraz inne potknięcia. Poniżej ograniczę się jedynie do zasygnalizowania ogólniejszych lub bardziej technicznych niedociągnięć.

W wielu miejscach pracy mowa jest o modelach matematycznych różnych procesów/obiektów. Jednak autor zupełnie pominął kwestię poziomu ich wierności (replikatywnej, predykcyjnej i strukturalnej). Podobnie należałoby bardziej pieczołowicie rozróżniać dwa ważne pojęcia: odporności i niewrażliwości („*robustness against uncertainty*” and “*insensitivity to disturbances and tremors*”).

Brak jest należytego wykładowego/metodologicznego wprowadzenia do zagadnień z zakresu teorii sterowania. Podniosłoby to wartość pracy dla kolejnego badacza, doktoranta, czy studenta – również dla dobra doktoranta, o którym nie wiadomo, czy miał okazję do prezentacji plenarnych lub akademickich.

W zakresie ogólnej metodologii budowy zrobotyzowanego systemu chirurgii oka jako zespołu zorkiestrowanych części (nadrzędnej, podrzędnej i kanału komunikacyjnego, ...), oczywiście – jak twierdzi doktorant („system powinien spełniać wymagania narzucone na poszczególne części”) – docelowy układ może spełniać wymagania stawiane poszczególnym częściom, jednak przy standardowym toku rozumowania zwykle dzieje się odwrotnie, ponieważ najważniejsza jest funkcjonalność całości systemu a jego poszczególne części stanowią jedynie środek do osiągnięcia tego celu (ponadto to właśnie środowisko, czy pętla sterowania, warunkują efektywną charakterystykę danego komponentu i decydują o jego użyteczności).

Dychotomiczna numeracja publikacji własnych jest zupełnie niepotrzebna (przy zastosowanej analizie można było skorzystać ze wspólnego spisu literatury, ewentualnie z uwypukleniem autora, pracy lub osobnym spisem bogatej bibliografii własnej).

Największy (względnie) niedosyt pozostawia sposób przedstawienia wyników teoretycznych, a właściwie ich ukrycia, ponieważ walory wykładowe raportu, szczególnie w zakresie teorii sterowania, nie zostały należycie ukształtowane. Brakuje też tu odpowiedniego, konkretnego odniesienia do własnych innowacji. Powierzchny opis poszczególnych publikacji (nawet z ogólnikowym odniesieniem do niektórych rozdziałów) podany na wstępie niewiele wnosi. Zamiast tego w toku głównym rozprawy (i we wprowadzeniu do merytorycznego rozdziału 3) publikacje takie powinny być przywołane indywidualnie (a nie w bloku cytowań innych) i rzetelnie streszczone, zwłaszcza pod względem wyróżników udziału własnego i wprowadzonych koncepcji innowacyjnych i biorąc pod uwagę że główny wynik *Master Part & Slave Part* (strony 53-55) pochodzi z obcych prac, a dalej – aż do końca tego fundamentalnego rozdziału – brak jest jakichkolwiek referencji lub objaśnienia. Należałoby też lepiej wyjaśnić sposób „uwzględnienia” lub skompensowania opóźnień w kanale komunikacyjnym.

Dla zachowania płynności przekazu, cały ekstremalnie „wzorzysty fragment (str. 56-68) warto byłoby przenieść do Dodatku, pozostawiając tu tylko szkic rozumowania, merytoryczny opis metody i procedur oraz użyteczny dla czytelnika komentarz.

W publikacjach technicznych, należy zachować ostrożność w zakresie symboliki zastosowanej we wzorach matematycznych i używać pełnego opisu albo ostrzec czytelnika o uproszczeniach typu $m = m(\theta_1, \dots)$.

W zakresie językowym, raport nie daje wrażenia solidnie skomponowanej pracy (język czasami niezgrabny, rozwlekły a mało precyzyjny, nietypowy dla standardów opracowania inżynierskiego). Wypomnieć też należy liczne drobne niedociągnięcia w logice wywodu lub precyzji przekazywanych myśli (np. mówi się o „*a novel and different*” or „*other methods*”, bez konkretnego ich wskazania lub wykazania różnic/innowacyjności). W niektórych przypadkach, poza stylem niedopracowanym, powtórzeniami i dwuznacznością, pojawiają się też fragmenty opisu nadmiernie skrótowego (co szczególnie razi wobec nietreściwych myśli i powtórzeń). W raporcie potykamy się też o niestandardowe definicje (np. „robota”) oraz niedociągnięcia terminologiczne (typu „*well-controlled sensor*” czy „*off-line self-tuning*”) albo inne niejasne lub mało popularne nazwy („*strongly predefined time SMC*”), które wymagałyby lepszego wprowadzenia.

Oczekując dalszego rozwoju doktoranta, przekazuję powyższe szczegółowe uwagi, które powinny przysłużyć się uzyskaniu wyższej jakości raportów i prezentacji w naukowych i dydaktycznych pracach oraz publikacjach podoktorskich, którą można osiągnąć poprzez zwiększenie nacisku na kompletność informacji, logikę wywodów, poprawność stylu, spójność matematyczną, jasność wypowiedzi i dbałość o przemyślaną strukturę raportu i stosowanie dobrych praktyk.

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Konkludując, rozprawa dotyczy systemów robotyki, a w szczególności wyzwań związanych z robotyczną manipulacją wykonywaną przez chirurga w trakcie operacji na oku. Zaprojektowany kompleksowo system oparty został m.in. na strategii sterowania ślizgowego (SMC) oraz estymatorze siły i obserwatorze stanu. Wyniki uzyskane w symulowanych, eksperymentalnych scenariuszach wykazały poprawność rozwiązania i ogólnie możliwości doskonalenia wydajności robotycznych systemów chirurgii oka.

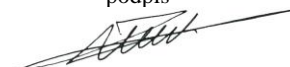
Wyniki pracy w postaci zweryfikowanego rozwiązania inżynierskiego, opartego na zaawansowanych metodach sterowania, mają duże znaczenie dziedzinie nauk technicznych. Krytyczne uwagi redakcyjno-edytorskie nie wpływają na wysoką ocenę zakresu oraz oryginalnych osiągnięć naukowo-badawczych doktoranta, zawartych w recenzowanej rozprawie, oraz pozytywną ocenę pracy, która całkowicie spełnia wymagania (wdrożeniowej) rozprawy doktorskiej.

Rozległość zagadnienia, zakres prac, licznosc publikacji własnych na wysokim poziomie naukowym oraz techniczne rozwiązania zastosowane w proponowanym rozwiązaniu stanowią bardzo silną stronę rozprawy doktorskiej Pana Ali Soltani Sharif Abadiego nad robotem wspomagającym chirurgię oka.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- (a) nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim,
- (b) wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania,
- (c) spełniająca całkowicie wymagania,
- (d) spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem,**
- (e) wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie.

podpis



ZKowalczyk