Grzegorz Milewski
Politechnika Krakowska

Kraków, 20.12.2024 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. **Andrzeja Michnika**
pt. „Modularny system sterowania robota rehabilitacyjnego narządów ruchu ze sprzężeniem siłowym"

***Podstawa opracowania:* Pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna Politechniki Śląskiej Prof. dr hab. inż. Roberta Michnika, nr RDIB.002.81.2024 z dnia 25 października 2024r.**

1. Motywacja podjęcia tematu rozprawy doktorskiej i jej zakres

Upośledzenie narządu ruchu, o zróżnicowanej genezie, stanowi główną przyczynę niepełnosprawności zarówno w Polsce jak i na świecie. Nie bez powodu pierwsza dekada XXI wieku została ogłoszona przez Światową Organizację Zdrowia „Dekadą Kości i Stawów". Zapotrzebowanie na usługi rehabilitantów głównie w zakresie kinezoterapii jest aktualnie bardzo duże. Stąd aktualnym stymulatorem dla interdyscyplinarnych środowisk reprezentujących inżynierię mechaniczną, materiałową oraz elektronikę i automatykę jest poszukiwanie nowych rozwiązań projektowych i prototypowych konstrukcji urządzeń biotechnicznych wspomagających pracę rehabilitantów i fizjoterapeutów w realizacji zaprogramowanych, zmiennych osobniczo, dopasowanych do danego schorzenia zakresów ruchów segmentów ciała człowieka.

Mgr inż. Andrzej Michnik w swojej rozprawie doktorskiej podjął się trudnego zadania opracowania koncepcji projektowej oraz wykonania i walidacji prototypowego systemu sterowania zautomatyzowanego urządzenia/robota rehabilitacyjnego o wielu stopniach swobody wykorzystującego sprzężenie siłowe dedykowanego kinezoterapii kończyn górnych człowieka. System zapewnia realizację zadanych parametrów kinematycznych i dynamicznych do odtworzenia złożonych ruchów wielopłaszczyznowych biernych jak i czynnych zbliżonych do osobniczej aktywności naturalnej kończyn górnych. Umożliwia to realizację zróżnicowanych kinematycznie i dynamicznie ćwiczeń rehabilitacyjnych we wszystkich stawach kończyny górnej człowieka.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Rada Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna
wpłynęło dnia 02.01.2025
nr 1 zał. .....

Pracę rozpoczyna wstęp oraz część literaturowa zawierająca przegląd robotów stosowanych w rehabilitacji kończyn górnych i systemów sterowania spotykanych w robotyce. Następnie Autor przedstawia cel i zakres pracy oraz właściwie sformułowaną tezę naukową, co nie zawsze jest standardem w realizowanych aktualnie pracach doktorskich. Najważniejsze merytorycznie dla pracy to rozdziały 4 i 5. W rozdziale 4 Autor formułuje założenia cech konstrukcyjnych prototypu robota rehabilitacyjnego kończyny górnej człowieka ARM-200 posiadającego 7 stopni swobody tworzących aktywne pary kinematyczne umożliwiające podstawowe ruchy zginania-wyprostu, odwodzenia-przywodzenia, supinacji-pronacji oraz rotacji wewnętrznej-zewnętrznej w trzech stawach: barkowym, łokciowym i nadgarstkowym. Urządzenie wyposażone jest w 3 siłowniki zapewniające 3 pomocnicze stopnie swobody poprzez zmianę długości ramienia, przedramienia i wysokości. System sterowania robota wraz oprogramowaniem sterującym procesem rehabilitacyjnym stanowi zasadniczy element merytoryczny rozprawy doktorskiej. Sprzężone moduły systemu realizują zadany tryb pracy i umożliwiają kontrolę pracy napędów urządzenia na podstawie otrzymanych rozkazów i parametrów odczytanych z czujników współpracujących z danym modułem. W rozdziale 5 Doktorant przedstawia z kolei walidację działania poszczególnych układów pomiarowych systemu sterowania oraz badania działania robota w pełnej konfiguracji. Pracę kończą rozdziały 6 i 7 zawierające kolejno podsumowanie i wnioski wynikające z realizacji prac badawczych oraz wskazówki co do dalszych kierunków badań.

Autor swoje opracowanie przedstawił łącznie na 148 stronach maszynopisu zawierającego tekst, tabele, rysunki, wykaz 64 cytowanych pozycji literaturowych oraz spis rysunków i tabel.

2. Ocena merytoryczna rozprawy

W swojej rozprawie doktorskiej mgr inż. Andrzej Michnik przedstawił własny, złożony modularny system sterowania robota rehabilitacyjnego do kinezoterapii kończyn górnych człowieka wykorzystujący siłowe sprzężenie do realizacji zadanych trajektorii ruchów elementów wykonawczych robota. Opracowana aplikacja komputerowa umożliwia wybór rodzaju danego ćwiczenia, kontrolę stanu robota, szczególnie w zakresie nastaw siły i przemieszczeń kątowych oraz zapewnia akwizycję wyników rehabilitacji. Praca dowodzi, że Doktorant posiada już rozległą i ugruntowaną wiedzę z zakresu modelowania układów wieloczłonowych, elektroniki, automatyki, sterowania i programowania. Prawidłowo potrafi ocenić podjęty przez siebie problem, właściwie sformułować tezę i cele badawcze, do

realizacji których stosuje nowoczesne metody inżynierskie. Do najważniejszych osiągnięć Doktoranta moim zdaniem należy zaliczyć:

- zaprojektowanie własnego rozwiązania konstrukcyjnego robota rehabilitacyjnego kończyn górnych umożliwiającego realizację zarówno ruchów złożonych kończyny jak i ruchów izolowanych w poszczególnych stawach z możliwością zapamiętywania i odtwarzania danych wzorców/trajektorii ruchowych zapewniającego równocześnie bezpieczeństwo kinematyczne i dynamiczne pacjenta; konstrukcja urządzenia zapewnia też możliwość zmiany konfiguracji dla lewej lub prawej strony pacjenta,
- opracowanie algorytmów systemu sterowania, protokołów komunikacji pomiędzy jego elementami oraz metodyki doboru nastaw regulatorów elementów wykonawczych,
- wykonanie i montaż elementów sprzętowych systemu sterowania robota,
- wykonanie badań eksperymentalnych walidujących poszczególne układy systemu sterowania oraz pilotowe testy pracy robota w pełnej konfiguracji,
- na szczególne podkreślenie zasługuje oryginalne rozwiązanie autorskie, chronione udzielonym patentem, zapewniające kontrolę obciążenia w rotacji uchwytu dłoni oraz zginania w stawie nadgarstkowym,
- uwzględnienie w systemie możliwości automatycznej detekcji intencji ruchów w stawach kończyny górnej oraz tworzenia wzorców sterowania określoną trajektorią ruch robota,
- uwzględnienie w konstrukcji robota czujników sił zapewniających bezpieczeństwa pacjenta w treningu biernym, jak również umożliwiających trening czynny dopiero po przekroczeniu zadanej wartości siły,

3. Uwagi krytyczne

Rozprawę doktorska cechuje staranne podejście metodyczne w realizacji podstawowego celu badawczego i jako recenzent nie widzę w tym zakresie istotnych błędów merytorycznych. W punkcie tym przedstawiam więc tylko pewne uwagi krytyczne, po części o charakterze polemicznym, które nasunęły mi się po zapoznaniu się z recenzowaną pracą:

- tytuł pracy jest zbyt ogólny; praca merytorycznie dotyczy systemu sterowania robota rehabilitacyjnego kończyny górnej człowieka i to powinno być wyeksponowane w tytule rozprawy,

- praca nie ma typowego dysertacyjnego charakteru cechującego rozprawy doktorskie, w szczególności dotyczy to następujących aspektów:
  - przegląd literaturowy (rozdz. 1 i 2) przedstawiony jest na dużym poziomie ogólności, głównie w zakresie systemów sterowania spotykanych w robotyce; na tej podstawie trudno sobie wyrobić jednoznaczną opinię o oryginalnych/nowatorskich cechach przedstawionego przez Doktoranta systemu sterowania robotem manipulatorem rehabilitacyjnym; przedstawiony skromny wykaz pozycji bibliograficznych praktycznie nie zawiera odniesień do najnowszych artykułów z uznanych wysoko indeksowanych czasopism naukowych (a wystarczyło tylko w dowolnej bazie danych, chociażby wyszukiwarce Google Scholar, wpisać frazę ... modular system for rehabilitation robot with force feedback ... by otrzymać dziesiątki pełno tekstowych aktualnych artykułów z tej dziedziny),
  - w nawiązaniu do powyższej uwagi brak jest dyskusji własnych rozwiązań na tle osiągnięć innych Autorów, co jest standardem w pracach naukowo-badawczych; co prawda Doktorant powołuje się na dwa udzielone patenty RP (poz. 40 i 41 w wykazie piśmiennictwa) dotyczące sterowania i kontroli siły przy zginaniu w stawie nadgarstkowym, ale stanowi to tylko pojedyncze odniesienie w całym systemie,
- brak jest w rozprawie rozdziału określającego poziom gotowości technologicznej (ang. Technology Readiness Level – TRL) zrealizowanego projektu badawczego, co w rozprawach doktorskich realizowanych w trybie tzw. doktoratu wdrożeniowego jest standardem; co prawda Doktorant wielokrotnie aplikacyjnie odwołuje się z przedstawionym układem sterowania do prototypu robota ARM-200 opracowanego w Sieci Badawczej Łukasiewicz – Krakowskim Instytucie Technologicznym i wcześniejszych swoich doświadczeń w Instytucie Techniki i Aparatury Medycznej w Zabrzu (robot ARM-100), ale nie jest to tożsame podejście,
- walidacja poszczególnych układów pomiarowych systemu sterowania przeprowadzona jest prawidłowo i pokazuje wysoką dokładność pomiarową oraz mały błąd względny dla poszczególnych torów; natomiast z punktu widzenia recenzenta, który zajmuje się również m.in. badaniami doświadczalnymi brak jest podania podstawowych warunków eksperymentu, tzn. liczby pomiarów i

to w szczególności testowania robota w pełnej konfiguracji – pkt. 5.5, 5.6, 5.7; prosiłbym Autora o komentarz do tej uwagi,

- program sterujący robota rehabilitacyjnego jest aplikacją uruchamianą w systemie Microsoft Windows 10; jak wygląda kwestia konfiguracji oprogramowania do kolejnych wersji systemu Windows?
- jak wyglądałaby modyfikacja systemu i sprzężenia siłowego ale pracującego w czasie rzeczywistym?
- praca jest napisana starannie edycyjnie więc moje uwagi szczegółowe odnoszą się tylko do nielicznych zauważonych nieścisłości:

  - występujące błędy w wykazie niektórych cytowanych pozycji literaturowych (braki wydawcy, roku wydania, stron, czy błędy dotyczące właściwego odniesienia do źródła literaturowego),

  - brak wykazu stosowanych skrótów i akronimów, co byłoby dużym ułatwieniem dla czytelnika.

4. Wniosek końcowy

Jako recenzent stwierdzam, że przedstawiona do oceny rozprawa doktorska zawiera cenne aspekty praktyczne i poznawcze, a jej podstawowy cel został zrealizowany, tzn. opracowano metodę sterowania robotem rehabilitacyjnym ze sprzężeniem siłowym dedykowanym kończynie górnej człowieka.

Opiniowana praca doktorska, będąca pracą o charakterze konstrukcyjnym realizowaną w oparciu o ścieżkę tzw. doktoratu wdrożeniowego, odpowiada wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim (Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce - Dz. U. z 2018r., poz. 1669, art. 187, pkt. 3).

Praca jest własnym rozwiązaniem postawionego zadania badawczego i niewątpliwie stanowi autorski przyczynek naukowy mgra inż. Andrzeja Michnika w zakresie rozwoju algorytmów numerycznych w procesie sterowania rehabilitacyjnymi robotami medycznymi .

Rozprawę doktorską mgr inż. Andrzeja Michnika można sklasyfikować w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej Inżynieria Biomedyczna.

Podsumowując stwierdzam, że opiniowana praca odpowiada wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim określonym w § 6 ust. 3 rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 roku. W nawiązaniu do przepisów Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668, z późn. zm.) oraz

„Regulaminu w zakresie nadania stopnia doktora" (Uchwała Nr 43/2023 Senatu Politechniki Śląskiej) wnoszę o jej przyjęcie i dopuszczenie Autora do publicznej obrony przed Radą Naukową Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna Politechniki Śląskiej.

Podpisał Grzegorz Milewski (podpis odręczny)