dr hab. inż. Mariusz Giergiel, prof. AGH
Akademia Górniczo - Hutnicza
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Katedra Robotyki i Mechatroniki
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Kraków, 26-04-2018.

R e c e n z j a

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Stanisława Hożynia
pt. **„Zastosowanie stereoskopowego systemu wizyjnego w procesie sterowania bezzałogowym pojazdem podwodnym"**

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Bogdan Żak, prof. AMW

1. **Wybór tematu, cel i zakres pracy**

Świat podwodny, a szczególnie toń mórz i oceanów stanowi pomimo wielowiekowej działalności człowieka nadal obszar w dużej mierze niezbadany i trudny do eksploracji. Wynika to z faktu ograniczonych możliwości ludzkiego organizmu do funkcjonowania w takim środowisku oraz różnorodnych trudności piętrzących się przed konstruktorami pojazdów podwodnych. W ostatnich latach zaobserwować można znaczny wzrost zainteresowana wykorzystaniem zdalnie sterowanych pojazdów podwodnych zwanych ROV. Prowadzenie czynności inspekcyjnych przy wykorzystaniu takich pojazdów stanowi poważne wyzwanie dla operatora a sytuację utrudnia dodatkowo wpływ zakłóceń środowiskowych oraz wpływ kabloliny na dynamikę pojazdu. W związku z tym istnieje wyraźna konieczność odciążenia operatora od zadań serowania pojazdem, co jest szczególnie istotne w przypadku potrzeby przemieszczania pojazdu w zadanej odległości od obiektu z ustaloną prędkością i kursem.

Pomimo dużego zainteresowania metodami sterowania wizyjnego do realizacji zadań w inspekcjach prowadzonych pod wodą oraz prowadzonymi w wielu ośrodkach pracami badawczymi związanymi z tym zagadnieniem większość istniejących rozwiązań bazuje na wstępnym przygotowaniu analizowanej sceny. Zupełnie nowe możliwości w dziedzinie sterowania ruchem bezzałogowych pojazdów podwodnych przy zadaniach inspekcyjnych obiektów hydrotechnicznych daje wykorzystanie stereoskopowych systemów wizyjnych. W obecnej dobie, zwiększone możliwości obliczeniowe współczesnych komputerów oraz malejące ceny czujników wizyjnych, przy jednoczesnym wzroście ich jakości, pozwalają na praktyczne zastosowanie takich rozwiązań w aplikacjach podwodnych. Jednakże jak do tej pory przeprowadzono niewiele badań związanych z ich wykorzystaniem w systemach sterowania pojazdami microROV.

Dlatego uważam, że jest to istotny i wysoce aktualny problem, a podjęcie tej tematyki przez doktoranta jest uzasadnione i na czasie.

Jako **cel pracy** postawiono opracowanie całościowego systemu automatycznego sterowania ruchem bezzałogowego pojazdu podwodnego na podstawie informacji pozyskanych ze stereoskopowego systemu wizyjnego.

Teza pracy została sformułowana jako: „Zastosowanie stereoskopowego systemu wizyjnego umożliwi automatyzację procesu sterowania ruchem bezzałogowego pojazdu podwodnego przy realizacji zadań utrzymania ustalonej odległości od dna morskiego oraz ustalonej prędkości pływania przy zadanym kursie."

Postawiono przy tym następujące cele cząstkowe:

- opracowanie modelu matematycznego pojazdu podwodnego,
- opracowanie algorytmu pomiaru prędkości bezzałogowego pojazdu podwodnego oraz jego odległości od dna morskiego,
- syntezę regulatora rozmytego,
- badania symulacyjne oraz badania na obiekcie rzeczywistym.

Recenzowana praca doktorska jest dość obszerna, liczy 167 stron tekstu i składa się ze spisu treści, siedmiu ponumerowanych rozdziałów, spisu literatury oraz dodatku zawierającego pięć załączników.

W rozdziale siódmym zaprezentowano podsumowanie oraz wnioski końcowe wynikające z rozprawy, a także możliwe kierunki dalszego rozwoju opracowanego rozwiązania.

Spis literatur liczy 158 pozycji i warto zaznaczyć, że obejmuje on głównie pozycje nowe, opublikowane w ostatnich latach.

Dodatek zawiera pięć załączników. W załączniku A zaprezentowano klasyczne podejście do modelowania ruchu pojazdu podwodnego typu ROV. Załącznik B przedstawia przykładowe obrazy, wykorzystane na potrzeby analizy metod wyznaczania i dopasowywania punktów charakterystycznych. W załączniku C umieszczono skrócony opis aplikacji, opracowanej na potrzeby wyznaczania położenia pojazdu w basenie laboratoryjnym, podczas gdy załącznik D przedstawia główne założenia aplikacji do sterowania pojazdem podwodnym. W załączniku E przedstawiono dane techniczne pojazdu VideoRay Pro 4, wykorzystanego na potrzeby realizacji pracy.

Szkoda jedynie, że Autor nie zamieścił na początku pracy spisu ważniejszych oznaczeń. Taki spis, aczkolwiek nie jest konieczny, to jednak niewątpliwie ułatwiłby studiowanie rozprawy.

Praca napisana jest kompetentnie i rzeczowo, problem jest najpierw sformułowany, następnie poddany dyskusji i wreszcie podsumowany wraz z prezentacją jasno podanych wniosków tam gdzie to niezbędne. Nie budzi przy tym wątpliwości kolejność prezentacji poszczególnych zagadnień, zarówno tytuł jak i podział na rozdziały dobrany został właściwie. Tekst jest poprawny pod względem językowym, materiał ilustracyjny został właściwie dobrany, stosowana w pracy terminologia jest prawidłowa. Warto zaznaczyć wysoki potencjał aplikacyjny wynikający z uzyskanych efektów rozprawy.

Nowatorstwa i oryginalności pracy można upatrywać w opracowaniu parametrycznego modelu matematycznego pojazdu podwodnego wraz z określeniem czynników negatywnie wpływających na jego dokładność, opracowaniu algorytmu pomiaru prędkości bezzałogowego pojazdu podwodnego oraz jego odległości od dna morskiego oraz dokonaniu syntezy regulatora rozmytego dla pojazdu microROV.

Rozdział pierwszy stanowi wprowadzenie, w którym uzasadniono celowość podjętego w rozprawie problemu badawczego oraz sformułowano cel i tezę pracy, a także cele cząstkowe.

W rozdziale drugim przedstawiono opracowany parametryczny model pojazdu podwodnego typu microROV oraz dokonano oceny jego poprawności na podstawie testów laboratoryjnych z wykorzystaniem obiektu rzeczywistego.

W trzecim rozdziale opisano właściwości optyczne środowiska wodnego z naciskiem położonym na metody kompensacji ich negatywnego wpływu na jakość obrazowania obserwowanej sceny. Na podstawie przeprowadzonej analizy literatury zaproponowano rozwiązania sposobu kalibracji zestawu stereowizyjnego, jak również zwiększenie liczby wykrywanych punktów charakterystycznych przy jednoczesnej minimalizacji złożoności obliczeniowej algorytmów cyfrowego przetwarzania obrazów.

Rozdział czwarty zawiera prezentację najważniejszych technik cyfrowego przetwarzania obrazów, które wykorzystane zostały podczas realizacji pracy. Przedstawiono tutaj również wyniki badań eksperymentalnych, które przeprowadzono w celu wyznaczenia najbardziej efektywnych metod cyfrowego przetwarzania obrazów w perspektywie kompensacji wpływu środowiska wodnego na jakość zobrazowania obserwowanej sceny oraz dokonano analizy metod wyznaczania i dopasowania punktów charakterystycznych.

W rozdziale piątym opisano stworzony stereoskopowy system wizyjny wraz z przeprowadzoną analizą wpływu jego parametrów wewnętrznych na własności pomiarowe. Duży nacisk położono na etap kalibracji kamer, z uwagi na fakt, że warunkuje on poprawność działania stworzonego systemu. Zaprezentowano tutaj także opracowany algorytm wyznaczania prędkości pojazdu w oparciu o śledzenie punktów charakterystycznych na kolejnych obrazach analizowanej sceny.

Rozdział szósty zawiera opis czynności przeprowadzonych podczas syntezy układów regulacji, jak również wyniki badań symulacyjnych oraz badań na obiekcie rzeczywistym. Uzyskane wyniki odniesiono do opracowanej na potrzeby realizacji pracy metody referencyjnej.

2. Poprawność metodyki badań i analiza wyników

W pracy przedstawiono wyniki zarówno badań analitycznych, symulacyjnych jak i eksperymentalnych. Udowodniono słuszność zaproponowanego podejścia oraz co ważne jego praktyczną użyteczność. Zastosowana metodyka badań jest prawidłowa, analiza wyników badań przeprowadzona została w sposób właściwy co świadczy o dużym zasobie wiedzy, inwencji, pracowitości i rzetelności naukowej autora.

Należy szczególnie podkreślić widoczny duży nakład pracy autora przy wykonywaniu rozprawy i dobre ujęcie problematyki zawierającej badania teoretyczne, symulacyjne oraz badania doświadczalne. Takie kompleksowe rozwiązanie jest niewątpliwie dużym osiągnięciem i zasługuje na uznanie.

3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Uwagi jakie nasuwają się po lekturze pracy są dwojakiego rodzaju. Po pierwsze są to **uwagi ogólne i redakcyjne.** Pomimo, że rozprawa jest dość starannie przygotowana to zawiera jednak szereg różnorodnych usterek redakcyjnych i edytorskich, których wymienienie w tym miejscu nie wydaje się celowe, zwłaszcza że na ogół nie utrudniają one lektury i nie umniejszają merytorycznej wartości pracy. Szczegółowe uwagi w tym zakresie w liczbie ponad trzydziestu przekazałem Autorowi do wykorzystania przy ewentualnych publikacjach.

W sensie merytorycznym natomiast pojawiają się raczej **uwagi dyskusyjne** niż krytyczne:

- Przedstawiona w rozdziale drugim definicja modelowania nie jest jedyna możliwą. Warto uzasadnić dlaczego zastosowano właśnie takie podejście.
- Dlaczego w pojeździe ROV prezentowanym w rozdziale drugim zdecydowano się wykorzystywać silniki krokowe a nie inny rodzaj napędu?
- Jak ma się dokładność lokalizacji pojazdu do błędu położenia, o którym mowa w rozdziale drugim na stronie 25?

- Co oznacza, że punkty o których mowa w rozdziale czwartym na stronie 55 posiadają cechy stabilne?
- W pracy często pojawia się określenie satysfakcjonujący odnośnie błędów, na przykład błędów walidacji czy błędów pomiarowych. Stwierdzenia takie należało by jednak uzasadnić.
- Jak dobrano liczbę reguł i funkcję przynależności, o których mowa w rozdziale szóstym?

4. Podsumowanie

Omawiana rozprawa zawiera wartościowe wyniki badań i świadczy ona o tym, że Autor potrafi postawić zagadnienie i rozwiązać je na drodze teoretycznej oraz zweryfikować doświadczalnie, a wyniki badań zanalizować i wyciągnąć poprawne wnioski. Jego wywody są jasne a wyniki rozprawy mogą być użyteczne z naukowego, technicznego jak i praktycznego punktu widzenia. Rozprawa ze względu na jej poziom oraz wagę poruszanego tematu zasługuje na wyróżnienie.

Biorąc pod uwagę całość pracy należy stwierdzić, że Autor rozwiązał istotny problem nowoczesnej tematyki naukowej związanej z dyscypliną mechanika. Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Stanisława Hożynia spełnia warunki określone w aktualnie obowiązującej ustawie w sprawie warunków i trybu przeprowadzania przewodów doktorskich i może być przedmiotem publicznej obrony.