
Prof. dr hab. inż. Roman Śmierzchalski
Politechnika Gdańska
Wydział Elektrotechniki i Automatyki
ul. G. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk
email: roman.smierzchalski@pg.edu.pl

Gdańsk, 09.05.2023 r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej
dla Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport
Uniwersytetu Morskiego w Gdyni**

Tytuł rozprawy: Metoda wyznaczania dynamicznego granicznego obszaru manewrowego dla statku morskiego w sytuacji kolizyjnej

Autor rozprawy: mgr inż. Mateusz Gil

1. Zagadnienie naukowe rozpatrzone w pracy (teza rozprawy), jasność jego sformułowania.

W pracy przedstawiono koncepcję procesu unikania kolizji na morzu, pomiędzy statkami będącymi w ruchu i z przeszkodami stacjonarnymi. Opracowano i przedstawiono metody wyznaczenia dynamicznego granicznego obszaru manewrowego dla statku morskiego w sytuacji kolizyjnej. Zastosowanie metody wyznaczenia dynamicznego granicznego obszaru manewrowego może poprawić jakość podejmowanych decyzji w nawigacji. Wpłynie to na efektywność w procesie unikania kolizji między statkami również w kontekście autonomii, co może podnieść bezpieczeństwo żeglugi na morzu.

Głównym celem pracy było opracowanie i weryfikacja metody pozwalającej na wyznaczenie dynamicznego granicznego obszaru manewrowego dla statku morskiego w sytuacji kolizyjnej, z możliwością jego zastosowania na jednostkach załogowych oraz autonomicznych. W pracy zrealizowano cel główny poprzez wyznaczenie dynamicznego granicznego obszaru manewrowego statku oraz zbadanie efektywności wyznaczonego obszaru za pomocą badań symulacyjnych. Zrealizowanie celu pracy pozwoli na udowodnienie przyjętej w pracy tezy (str. 11) sformułowanej w postaci:

„uwzględnienie charakterystyki sytuacji spotkaniowej statku morskiego, opisującej wzajemne położenie oraz dynamikę ruchu obiektów w warunkach występowania zakłóceń środowiskowych, pozwala na wyznaczenie metodą symulacyjną zobiektywizowanego kryterium wykonalności manewru wymijającego, którym jest graniczny obszar manewrowy statku”.

Prowadzone prace pozwoliły na zweryfikowanie zagadnienia w jaki sposób generować dynamiczne graniczne obszary manewrowe w sytuacji kolizyjnej CADCA (ang. Collision Avoidance Dynamic Critical Area) dla statku morskiego i jak je interpretować na potrzeby nawigacji na morzu, na wskaźnikach nawigacyjnych. W ramach pracy opracowano program symulacyjny wyznaczenia CADCA, wraz z analizą niepewności i minimalizowania wpływu zidentyfikowanych ograniczeń poprzez wprowadzony wskaźnik najmniejszej odległości do zderzenia MDTC (ang. Minimum Distance to Collision). Wskaźnik MDTC dla szeregu scenariuszy pozycjonowania obiektów tworzy bazę zbioru symulacyjnego pozwalającego na skonstruowanie odpowiedniej obwiedni CADCA. Do badań wskaźnika MDTC niezbędne było przygotowanie danych wejściowych, na które składają się składowe trajektorie statku z uwzględnieniem zakłóceń hydrodynamicznych w postaci falowania. Badania oparto o model ruchu statku LaiDyn. Prawidłowość działania metody wyznaczania wielkości i kształtu obwiedni CADCA przeanalizowano eksperymentalnie z wykorzystaniem systemu symulacyjnego. Analizowano wybrane scenariusze nawigacyjne dla dwóch statków w drodze oraz sytuacji spotkania statku i przeszkód stacjonarnych.

Przeprowadzono analizę wariantów sytuacji spotkania z obiektami uwzględniając rozmiar i kształt przeszkody, wzajemne położenie, a także uwzględniano parametry manewrowe statku: prędkość początkową statku, maksymalny kąt wychylenia płetwy sterowej, wartość zmiany kursu. Ponadto w badaniach uwzględniono występujące zakłócenia hydrodynamiczne: wysokość fali, kąt natarcia fali na kadłub.

Opracowana koncepcja obwiedni CADCA pozwala na praktyczne zastosowanie w nawigacji morskiej oraz dalszą rozbudowę systemów decyzyjnych statku.

Biorąc pod uwagę postawioną tezę oraz cele, określają one istotne zamierzenia Autora. Potencjalne znaczenie przedstawionych w rozprawie obwiedni CADCA i wynikających z nich procedur w systemie decyzyjnym, pozwala na podniesienie bezpieczeństwa na morzu i uważam to, za zadanie aktualne, ważne w nawigacji morskiej. Opracowana koncepcja obwiedni CADCA, weryfikowane symulacyjnie, stanowią istotny wkład Autora w stworzenie oryginalnego sposobu unikania kolizji na morzu.

Zagadnienie rozpatrywane przez Doktoranta zaliczyłbym do problemów wspomagania decyzji w zadaniu kierowania statkiem w szczególności unikania kolizji oraz sekwencyjnego poszukiwania granicznego obszaru manewrowego w sytuacji kolizyjnej z uwzględnieniem warunków nawigacyjnych zbliżonych do rzeczywistych.

2. Charakter rozprawy

W pracy, w kolejnych dobrze podzielonych i dobranych rozdziałach, przedstawiono:

- teoretyczny przegląd aktualnej wiedzy związanej z formułowaniem zadania unikania kolizji w nawigacji morskiej jako problemu badawczego, na tle najczęściej występujących wad do których należą: brak obiektywizacji wskaźników poprzez subiektywny i arbitralny dobór parametrów bezpieczeństwa, brak powiązania wskaźników z manewrem wymijającym, ignorowanie występujących na akwenu zakłóceń środowiskowych, a także pomijanie dynamiki ruchu statku,
- pojęcie koncepcji dynamicznego granicznego obszaru manewrowego CADCA (ang. *Collision Avoidance Dynamic Critical Area*) wraz z definicją, zestawiono dostępne podejścia oraz przykłady zastosowania. Dla rozważanego problemu unikania kolizji w nawigacji omówiono autorską metodę budowy rozszerzonego obszaru manewrowego CADCA w oparciu o wartości najmniejszej odległości do zderzenia MDTC dla zagadnień transportu morskiego,
- badania symulacyjne metody budowy rozszerzonego obszaru manewrowego CADCA w procesie unikania kolizji dla różnych scenariuszy nawigacyjnych i parametrów obiektów. Na podstawie badań oceniono efektywność opracowanej metody,
- analizę wyników podsumowujących pracę i potwierdzających przyjętą tezę pracy.

Rozprawa ma charakter analityczno-teoretyczno-symulacyjny. Przedstawia analizę istniejących metod modelowania obszarów niebezpiecznych w sytuacji kolizyjnej i ich wykorzystania. Od strony teoretycznej badano i opracowano metody tworzenia obszaru manewrowego CADCA. W zakresie symulacyjnym, opierając się na badaniach, w pracy przedstawiono efektywność opracowanej metody dla wybranych scenariuszy nawigacyjnych. W tej części pracy, Autor przeprowadził szereg eksperymentów w warunkach zbliżonych do rzeczywistych.

Podsumowując, pracę można scharakteryzować jako prezentację opracowanej metody tworzenia obszaru manewrowego CADCA z uwzględnieniem warunków ich implementacji w systemach decyzyjnych na statku w warunkach żeglugi na morzu.

3. Analiza źródeł: sformułowanie wniosków wynikających z przeglądu źródeł.

Autor dokonała bardzo obszernego przeglądu źródeł (191 pozycji, w tym książki, artykuły, raporty, dokumentacje techniczne, przepisy) pod kątem stosowanych w rozprawie metod i algorytmów oraz

zdarzeń na morzu. Autor znalazł w przywołanych w rozprawie źródłach metody, które jego zdaniem powinny być zastosowane do projektowania systemów wspomagania decyzji w nawigacji. Szczególną uwagę Autor zwrócił do trzech rodzajów rozwiązań: koncepcji obszaru zabronionego, domeny statku, a także koncepcji obszaru granicznego. Wykazał się także bardzo dobrą znajomością ogólną problematyki unikania kolizji na morzu i analizy rzeczywistych procesów decyzyjnych w nawigacji, a także w zakresie projektowania metod konstruowania obszarów zagrożenia. Autor na podstawie literatury wskazał wady istniejących metod unikania zderzeń statków, do których zaliczył: brak bezpośredniego powiązania wskaźnika bezpieczeństwa z realizacją manewru wymijającego w sytuacji nadmiernego zbliżenia, co powoduje znaczące ograniczenia w praktycznym wykorzystaniu danego rozwiązania, pomijanie geometrii sytuacji spotkaniowej lub uwzględnianie jej w uproszczony sposób, nieuwzględnianie zdolności manewrowych statku oraz wpływu warunków środowiskowych na realizację manewru antykolizyjnego. Przedstawione wady metod według Autora mogą okazać się niemożliwe do ich praktycznego wykorzystania w warunkach operacyjnych, bądź ich użycie przez nawigatora nie będzie w pełni efektywne. Wynikające wnioski z przeprowadzonej analizy były głównym motywem realizowanych badań w pracy i zwrócenia się do koncepcji obszaru granicznego w procesie unikania kolizji.

Wnioski sformułowane przez Autora na podstawie przeglądu literatury uważam za trafne i właściwe przyjmując koncepcję tworzenia obszaru granicznego w procesie unikania kolizji, co dowodzi, że wykorzystanie tej metody może dać wymierne korzyści oraz wpłynie na poprawę bezpieczeństwa na morzu. Aktualny stan wiedzy potwierdza, że wszystkie dotychczasowe badania w zakresie unikania kolizji na morzu nie wskazują na jednoznaczny i prawidłowo działający system wspomagania decyzji w nawigacji.

Całość rozprawy świadczy o bardzo dobrych poznawczych umiejętnościach Autora oraz szerokiej interdyscyplinarnej wiedzy w zakresie tematyki prezentowanej w pracy.

4. *Rozwiązanie postawionego zagadnienia.*

Autor do rozwiązania postawionego problemu użył metody konstruowania obszaru granicznego w procesie unikania kolizji dla systemu decyzyjnego w żegludze morskiej w celu podniesienia bezpieczeństwa na morzu. Rozwiązywanie problemu łączy w sobie zagadnienie zastosowania różnych metod badawczych:

- wyznaczania dynamicznego granicznego obszaru manewrowego CADCA (ang. *Collision Avoidance Dynamic Critical Area*) dla statku morskiego w sytuacji kolizyjnej,
- symulacyjnego konstruowania wskaźnika *najmniejszej odległości do zderzenia* MDTC (ang. *Minimum Distance to Collision*),
- symulacji opracowanych metod w sytuacjach spotkań statków i obiektów stacjonarnych z wykorzystaniem symulatora nawigacyjnego.

Uważam, że od strony praktycznej przedstawione metody tworzenia dynamicznego granicznego obszaru manewrowego, pomimo tego że został przygotowane i badane tylko dla wybranych scenariuszy, pozwalają na prototypowanie w systemach decyzyjnych na statku

5. *Oryginalność rozprawy, pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy reprezentowanej przez literaturę światową, główne osiągnięcia Autora*

Oryginalnym wkładem Autora jest implementacja metod wyznaczania dynamicznego granicznego obszaru manewrowego CADCA. Skuteczności metody wyznaczania CADCA oraz zbadania dynamicznego charakteru zaproponowanej koncepcji Autor dokonał poprzez przeprowadzenie badań symulacyjnych. Do realizacji badań wybrano przykładowy statek pasażerski typu Ro-Pax. Wykorzystano również przeszkody w postaci statku wycieczkowego w drodze oraz stacjonarne obiekty o regularnym i nieregularnym kształcie. Analizę wyników przeprowadzono dla wybranych scenariuszy symulacyjnych

sytuacji nawigacyjnych oraz parametrów manewru wymijającego oraz zakłóceń hydrodynamicznych w postaci falowania.

Na szczególne podkreślenie zasługują następujące elementy:

- poprawność studiów teoretycznych i analiz naukowo-badawczych nad rozpatrywanym problemem naukowym,
- zaproponowany temat jest aktualny w związku z potrzebami w zakresie wykorzystania w systemach wspomagania decyzji w nawigacji,
- precyzyjne zdefiniowanie przedmiotu badań i celu pracy, wynikających z rozpoznania rozważanych problemów,
- umiejętność korzystania z literatury specjalistycznej oraz formułowania oryginalnych wniosków, co dowodzi dojrzałości naukowej Autora,
- przyjęcie oryginalnego programu badań symulacyjnych,
- możliwość wykorzystania wyników rozprawy do celów praktycznych,
- bardzo staranne i przejrzyste wykonanie pracy.

Spośród wymienionych wyżej elementów rozprawy na szczególną uwagę zasługują:

- autorski system wyznaczania dynamicznego granicznego obszaru manewrowego CADCA (ang. *Collision Avoidance Dynamic Critical Area*) dla statku morskiego w sytuacji kolizyjnej dla statków z załogą jak i w przyszłości jednostek autonomicznych. Opracowana metoda zapewnia wysoką jakość wyznaczania manewrów statku w sytuacji kolizyjnej ze względu na znaczne zróżnicowanie obszarów w zależności od zadanych parametrów brzegowych symulacji,
- sformułowanie ciekawego, dotychczas nie w pełni zbadanego i opisanego w literaturze, problemu algorytmicznej metody wyznaczania dynamicznego obszaru granicznego w oparciu o eksperymenty symulacyjne.

Uważam, że rozprawa zawiera oryginalne rozwiązania i nowatorskie wyniki.

6. *Słabe strony rozprawy.*

Mimo wykorzystania dotąd niestosowanych, oryginalnych rozwiązań do wyznaczania dynamicznego granicznego obszaru manewrowego CADCA, rozprawa posiada pewne niedociągnięcia po części dyskusyjne.

W wypadku wyznaczania dynamicznego granicznego obszaru manewrowego CADCA, skupiono się w pracy na scenariuszach obejmujący spotkania dwóch statków w ruchu i omijania przeszkód stacjonarnych o różnej konfiguracji. Interesujące byłoby zbadanie obszaru manewrowego CADCA dla większej liczby sytuacji nawigacyjnych. W warunkach rzeczywistych mogą występować sytuacje spotkania większej liczby statków w ruchu lub połączenie występowania ograniczeń statycznych i statków w ruchu. Rozwinięciem zagadnienia byłoby badanie obwiedni dla sytuacji spotkania większej liczby obiektów ruchomych i stacjonarnych. Należy przeanalizować w jaki sposób proponowana metoda będzie określała graniczny obszar manewrowy w takich sytuacjach, czy wypadkowy wynik metody będzie pewnego rodzaju superpozycją rozwiązań w tym wypadku wypadkowej obwiedni.

Drugim istotnym zagadnieniem, które należy rozpatrzyć w metodzie jest uwzględnienie w badaniach symulacyjnych CADCA zmiany strategii jednego ze statków będących w ruchu.

Uwagi szczegółowe:

Strona 10 - „W ciągu ostatniej dekady z różnych przyczyn utracono na świecie łącznie 876 statków o pojemności brutto powyżej 100” brak określenia jednostek „ 100 BRT”.

Strona 11 co rozumiemy pod pojęciem „pomijanie geometrii sytuacji spotkaniowej”?

Strona 11 zdaniem recenzenta teza pracy jest pierwotna w stosunku do celu pracy. Aby potwierdzić, udowodnić tezę należy zrealizować cele pracy. Analizując chronologicznie poszczególne rozdziały pracy stanowią one po części cele cząstkowe celu głównego prowadzącego do udowodnienia metodą symulacyjną tezy pracy.

Strona 12 co oznacza **zewnętrzny** model ruchu statku, który został wykorzystany do dostarczania danych wyjściowych?

Strona 14 powinno być „pozwalających na poprawę stanu bezpieczeństwa na morzu”.

Strona 15 nieprawidłowe potoczne sformułowanie „spotkanie dwóch statków **leżących** na kursach przecinających się (prawidło 15).

Strona 19 „odpowiada zarówno za współrzędne płaskie” chyba dotyczy współrzędnych w płaszczyźnie poziomej, współrzędne płaskie odnoszą się do terminów geodezyjnych.

Strona 26 w sformułowaniu „Skonstruowaniu i zwizualizowaniu obwiedni dynamicznego granicznego obszaru manewrowego” jak należy rozumieć „obwiedni **dynamicznego** granicznego obszaru”, czy zmiennego w czasie, należy to wyjaśnić.

Strona 26 co rozumiemy pod pojęciem „**wysokopoziomowa** struktura metody wyznaczania ograniczenie obszaru manewrowego” czy dotyczy to procedury?

Strona 26 „ Danymi wejściowymi wykorzystywanymi w symulatorze CADCA są trajektorie statku **dostarczone przez zewnętrzne źródło danych** o ruchu jednostki na fali nieregularnej” co rozumiemy przez **zewnętrzne źródło danych**, charakterystyki zachowania się statku na fali określa się na podstawie modelu, czy to dotyczy fali nieregularnej czy znacznej jak wcześniej w pracy podano (str. 13)?

Strona 27 „ pozwalający na zasymulowanie ruchu jednostki w sześciu stopniach swobody” zwykle przy sterowaniu na kursie wystarczającym jest model o trzech stopniach swobody.

Strona 27 „Metoda wyznaczania CADCA oraz oprogramowanie symulacyjne zostały zaprojektowane w taki sposób, by wyłącznie odczytywać i przetwarzać trajektorie statku wraz z uwzględnieniem zachowania jego kadłuba na fali” – jak należy rozumieć „odczytywać i przetwarzać trajektorie” zdaniem recenzenta trajektorii się nie przetwarza.

Strona 28 „ powtórzenie tej czynności dla obszernego zbioru parametrów brzegowych” sformułowanie obszernego zbioru nic nie wnosi do treści.

Strona 28 Rys. 6. „Układ obiektów” – odpowiednim byłoby „Sytuacji nawigacyjnej obiektów lub pozycji wyjściowej”

Strona 28 „prędkość postępową” postępowy to jest ruch, w tym wypadku „prędkość wzdłużna lub wypadkowa”.

Strona 29 „rozmieszczane **możliwie blisko siebie** wokół przeszkody” nic nie wnosi do treści.

Strona 29 „gdyż przyjęta **rozdzielczość kątowna**” czego?

Strona 29 „wzajemnych **układów obiektów**” uwaga dot. Strona 28 Rys. 6.

Strona 30 Rys. 8 proponuję uzupełnienie lub zmianę nieprecyzyjnych opisów np. „.... **środkami** statku i **celu**”, „zwiększyć **kąt**”, jaki „ zwróć **układy** początkowe,, niestosowne określenie.

Uwagi dotyczą również Rys. 12 na str. 35

Strona 31 „co może wynikać z **rozpiętości** kątowej początkowego pozycjonowania obiektów” co rozumiemy pod pojęciem **rozpiętości**?

Strona 31 „jest dodatkowym rozwiązaniem optymalizacyjnym mającym na celu redukcję czasu obliczeń” – na jakiej podstawie?

Strona 32 Rys. 9 co oznacza „odległość realizacji **skutkująca rozwinięciem**”?

Strona 32 „pozwalającego na uniknięcie zderzenia i całkowite rozwiązanie sytuacji spotkaniowej” co rozumiemy pod pojęciem całkowite rozwiązanie?

„Właściwa symulacja rozpoczyna się od wybrania pojedynczego układu początkowego” co oznacza „właściwa”?

Strona 34 „średnio 1 263 **cofnieć** co zrealizowano w czasie 74,1 s.” niewłaściwe sformułowanie.

Strona 34 „układ współrzędnych płaskich” powinno być układ współrzędnych w płaszczyźnie poziomej.

Mimo kilku uwag, należy podkreślić, że praca została przygotowana bardzo starannie od strony edytorskiej i redakcyjnej. Schematy są czytelne i logicznie zaprezentowane. Praca po uwzględnieniu uwag merytorycznych po części dyskusyjnych i szczegółowych, może stanowić istotny materiał wydawniczy.

7. *Przydatność rozprawy dla nauk technicznych i praktyki*

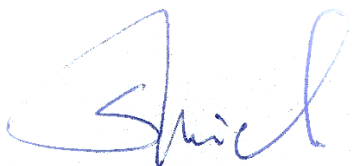
Proponowana metoda wyznaczania dynamicznego granicznego obszaru manewrowego CADCA, może przyczynić się do zwiększenia bezpieczeństwa na morzu, a także znacznie przyspieszyć i ułatwić proces podejmowania decyzji szczególnie w sytuacjach zagrożenia kolizyjnego. Ponadto uwzględniając zastosowanie procedur, możliwe będzie zmniejszenie lub wyeliminowanie błędów przy podejmowaniu decyzji. Przedstawione w pracy problemy w sposób istotny rozwijają systemy wspomagania decyzji w zakresie bezpieczeństwa na morzu.

Uważam, że rozprawa doktorska **mgr. inż. Mateusza Gila** jest oryginalna i wartościowa, swoją treścią przedstawia wartość dodaną w dyscyplinie naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport, a ponadto, co ważne, przy nieznacznych modyfikacjach koncepcja metody może być zastosowana w praktyce w szerszym zakresie.

8. *Wniosek końcowy*

Podsumowując, stwierdzam, że pomimo drobnych niedociągnięć, po części dyskusyjnych, opiniowana rozprawa doktorska **mgr. inż. Mateusza Gila** spełnia wszystkie wymagania aktualnie obowiązującej Ustawy i związanych z nią rozporządzeń, odnoszących się do rozpraw doktorskich, czyli stanowi prawidłowe i oryginalne rozwiązanie dobrze postawionego problemu naukowego. Autor wykazał się wiedzą z zakresu tworzenia dynamicznego granicznego obszaru manewrowego CADCA. Zademonstrował przekonująco swoje umiejętności teoretyczne i praktyczne w dziedzinie tworzenia systemów wspomagania decyzji w sytuacji kolizyjnej. Dobre wyniki uzyskane w symulacjach, są przesłankami potwierdzającymi efektywność proponowanych metodologii i tezę pracy. Rozprawa plasuje się w dyscyplinie naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport.

Wnoszę o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.



Roman Śmierchalski