

kmdr dr hab. inż. Piotr Szymak, prof. AMW
Katedra Automatyki Okrętowej
Wydział Mechaniczno-Elektryczny
Akademia Marynarki Wojennej
e-mail: p.szymak@amw.gdynia.pl

Gdynia, dn. 30.05.2021 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej

por. mar. mgr inż. Norberta Sigiel

pt.

**Metoda wykrywania i identyfikacji zagrożeń typu UXO w akwenie Morza Bałtyckiego
z wykorzystaniem pojazdów autonomicznych**

wykonana na zlecenie Rady Naukowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych
z dnia 06.05.2021 r.

Zakres tematyczny pracy.

Przedłożona do recenzji w postępowaniu o nadanie stopnia doktora dysertacja Pana por. mar. mgr inż. Norberta Sigiel dotyczy niezwykle istotnego problemu związanego z detekcją i identyfikacją zagrożeń typu UXO (ang. Unexploded Explosive Ordnance) w akwenie Morza Bałtyckiego. Tego typu zagrożenia są w dużej części pozostałością po II wojnie światowej. Szacuje się, iż po zakończeniu tej wojny pozostało ok. 500 tys. ton bojowych środków trujących (BŚT), w tym co najmniej 100 tys. ton na terenie Niemiec. Zgodnie z porozumieniem poczdamskim zawartym w sierpniu 1945: „...wszelka broń, amunicja i środki prowadzenia wojny oraz wszystkie obiekty wyspecjalizowane w jej produkcji będą oddane do dyspozycji państw alianckich lub zostaną zniszczone...”. Skutkowało to zatopieniem w latach 1946 -1948 w wybranych rejonach Morza Bałtyckiego, w szczególności w rejonie Głębi Gotlandzkiej i Bornholmskiej, cieśniny Mały Bełt, jak również Głębi Gdańskiej kilkudziesięciu ton niemieckich bojowych środków trujących. Jak się okazuje, taki sposób pozbywania się BŚT był również praktykowany przez ZSRR w stosunku do własnych zasobów. Akademia Marynarki Wojennej, działając w ramach konsorcjum międzynarodowego już od ponad dziesięciu lat bierze udział w różnych projektach międzynarodowych i krajowych,

mających na celu detekcję i identyfikację zasobów amunicji chemicznej i BŚT zatopionych w Morzu Bałtyckim, a aktualnie opracowania technologii ich unieszkodliwienia. Zgodnie z wynikami projektu międzynarodowego pod kryptonimem CHEMSEA szacuje się, iż potencjalne niebezpieczeństwo do tej pory stwarza 50 tys. ton tego typu niebezpiecznych materiałów. W kwietniu 2021 roku Parlament Europejski przyjął rezolucję wzywającą Unię Europejską do oczyszczenia Morza Bałtyckiego z wraków statków i broni chemicznej z okresu II wojny światowej. Świadczy to o tym, iż poruszany w dysertacji problem badawczy jest istotny i aktualny zarówno w zakresie zastosowań militarnych (przede wszystkim poszukiwanie i niszczenie min morskich), jak i cywilnych (przede wszystkim poszukiwanie i niszczenie zatopionej amunicji chemicznej i BŚT, np. w rejonach planowanych do budowy morskich farm wiatrowych).

Analiza formalna i merytoryczna rozprawy

Rozprawa doktorska Pana por. mar. mgr inż. Norberta Sigiela ma standardowy dla tego typu prac układ. Rozprawa zaczyna się od wykazu skrótów i oznaczeń, streszczenia i wprowadzenia w stan zagadnienia wraz z określeniem tezy, głównego celu badawczego oraz celów szczegółowych rozprawy doktorskiej, które zostały rozwinięte w kolejnych rozdziałach. Wykaz rysunków oraz tabel został umieszczony w zakończeniu pracy przed wykazem literatury. Dla zwiększenia czytelności można by było jeszcze zawrzeć spis symboli użytych w pracy.

Wykaz literatury zawiera 48 pozycji, w tym artykuły z krajowych i międzynarodowych czasopism, jak również inne źródła literaturowe, w tym internetowe. Większość pozycji literaturowych spełnia kryterium aktualności, tj. data publikacji z ostatnich kilku lub ewentualnie kilkunastu lat. Pewnym mankamentem przedstawionej do oceny dysertacji jest brak wydzielonej części pracy ze szczegółową analizą literaturową, w szczególności zawierającą aktualny stan wiedzy w zakresie metod wykrywania i identyfikacji zagrożeń typu UXO. Aczkolwiek istnieją w pracy cząstkowe analizy literaturowe rozproszone w różnych jej rozdziałach. Brak szczegółowej analizy literaturowej mógłby być czynnikiem dyskwalifikującym w publikacji w wysoko punktowanym czasopiśmie, dlatego też Doktorant w dalszej swojej aktywności naukowej powinien pamiętać o umieszczaniu wyników tego typu analizy.

W pierwszym rozdziale pracy, por. mar. mgr inż. Norbert Sigiel zawarł analizę różnych czynników środowiska podwodnego pod kątem realizacji rozpoznania dna morskiego, natomiast w rozdziale drugim analizę możliwości operacyjnych autonomicznych pojazdów podwodnych obecnie wykorzystywanych w MW RP. Oba rozdziały stanowią ciekawie zilustrowane, również własnymi materiałami – obrazy sonarowe, wprowadzenie do rozdziału trzeciego poświęconego opisowi metody wykrywania i identyfikacji zagrożeń typu UXO w akwenie Morza Bałtyckiego realizowanej z użyciem pojazdów AUV (ang. Autonomous Underwater Vehicle). Niewątpliwą zaletą opisu metody wykrywania i identyfikacji zagrożeń typu UXO jest skorzystanie przez Autora z własnych doświadczeń w zakresie realizacji poszukiwań obiektów minopodobnych. Stanowi to, poza trafnie zidentyfikowanymi czynnikami mającymi wpływ na skuteczność realizowanych etapów detekcji, klasyfikacji i identyfikacji obiektów minopodobnych, wartość potencjalnych materiałów dydaktycznych dla mniej doświadczonych operatorów systemów AUV w zakresie poszukiwania min morskich.

W czwartym rozdziale Doktorant zawarł opis modeli symulacyjnych potrzebnych do wyznaczenia optymalnej trajektorii pojazdu AUV w celu rozpoznania dna morskiego oraz lokalizacji obiektów typu UXO, w tym model ruchu AUV i modele propagacji fali akustycznej generowanej przez sonar boczny i sonar z syntetyczną aperturą, tj. urządzenia wykorzystywane podczas tego typu zadań podwodnych. Ponadto, w tym rozdziale zawarto proponowany algorytm generowania optymalnej trasy pojazdu autonomicznego, opierający się przede wszystkim na tzw. krzywej prawdopodobieństwa wykrycia obiektów referencyjnych, wyznaczoną dla ww. typów sonarów. W ostatniej części rozdziału zdefiniowano funkcję celu, która będzie wykorzystywana w przedstawionych dalej badaniach. Ponadto, w niniejszym rozdziale zawarto opis aplikacji w środowisku Matlab, generującej w sposób automatyczny plan misji pojazdu AUV. Brakuje w tym rozdziale opisu metody optymalizacyjnej, wykorzystanej do znajdowania optymalnej trasy AUV, w szczególności w zakresie sposobu przeszukiwania przestrzeni rozwiązań, jak i sposobu wyboru rozwiązań podczas kolejnych iteracji algorytmu. Brak ww. informacji nie pozwala jednoznacznie stwierdzić, czy znalezione przez algorytm rozwiązanie jest rozwiązaniem optymalnym w sensie globalnym, czy też lokalnym. Problemem utykania algorytmów optymalizacyjnych w minimach/maksimach lokalnych jest dość często występującym problemem.

W ostatnim rozdziale por. mar. mgr inż. Norbert Sigiel przeprowadził badanie skuteczności opracowanej metody poprzez jej porównanie z dotychczas stosowaną metodą

opierającą się przede wszystkim na pracy operatorów systemu walki przeciwminowej. Na uwagę zasługuje fakt, iż testy zostały przeprowadzone w warunkach rzeczywistych podczas misji poszukiwania min przy użyciu AUV Hugin. Automatyczne generowanie planu misji wpływa na zmniejszenie liczby wprowadzanych parametrów, a w konsekwencji również błędów popełnianych przez operatorów. Ponadto, opracowana metoda automatycznego generowania planu misji nie jest uzależniona bezpośrednio od poziomu wyszkolenia operatorów oraz ich aktualnych predyspozycji psychofizycznych. Uzyskane wyniki badań eksperymentalnych pokazują następujące zalety opracowanej metody zaimplementowanej w aplikacji w środowisku Matlab w stosunku do wcześniej stosowanej metody opierającej się na pracy operatora: (1) skrócenie całkowitego czasu misji od 7 do 11%, (2) skrócenie czasu planowania misji od 74 do 76%, przy zachowaniu jednakowych parametrów planowania. Przyjęty sposób dystrybucji pasów poszukiwania zapewnił możliwość detekcji oraz klasyfikacji kilkunastu obiektów występujących w obszarze Zatoki Gdańskiej, w tym torped z okresu II wojny światowej.

Przedstawione w recenzowanej dysertacji analizy oraz wyniki badań własnych zakończone zostały jednostronicowym podsumowaniem, w którym Doktorant dowodzi osiągnięcia założonych celów, wskazując jednocześnie kierunek dalszych badań, tj. przetestowanie opracowanej metody na większej liczbie różnych typów obiektów minopodobnych, co w praktyce pozwoliłoby by na uzyskanie satysfakcjonującej odpowiedzi na pytanie odnośnie właściwości generalizacyjnych opracowanej metody. Pewnym niedosytem w zakresie podsumowania jest brak odniesienia się do poszczególnych celów pracy, zdefiniowanych w wprowadzeniu.

Podsumowując wyniki analizy formalnej i merytorycznej dysertacji należy stwierdzić, iż poruszone aspekty tej analizy zostały przedstawione w sposób poprawny, przechodząc do kolejnych zagadnień zgodnie z zasadami sztuki inżynierskiej, a przedstawione rozważania teoretyczne i zaimplementowana w aplikacji Matlab metoda automatycznego generowania planu misji AUV poparte są wynikami badań eksperymentalnych w środowisku rzeczywistym. Szczególną uwagę należy zwrócić na to, iż Doktorant umiejętnie poradził sobie z problemem interdyscyplinarności prezentowanych w niniejszej pracy zagadnień, stanowiących połączenie badań i analiz z obszaru inżynierii mechanicznej (modelowania ruchu AUV, jak i dwóch typów sonaru), nawigacji i hydroakustyki, oraz wykazał się umiejętnością programowania w środowisku MATLAB.

Uwagi dyskusyjne

Recenzowana dysertacja Pana por. mar. mgr inż. Norberta Sigiela stanowi logiczną i spójną całość oraz napisana jest poprawnym językiem technicznym. Jednakże Autor nie ustrzegł się w niniejszym opracowaniu pewnych błędów językowych i edytorskich oraz niefortunnnych sformułowań do których w szczególności należy zaliczyć:

- Brak w pracy odniesienia do źródeł literaturowych [9] i [10];
- Użycie określenia ilość (np. na str. 16, 66, 67,) zamiast liczba w odniesieniu do rzeczowników policzalnych;
- Nie stosowanie zasad zapisów matematycznych, w szczególności:
 - brak zapisu zmiennych za pomocą czcionki pochylonej, np. równanie 1.1, 1.2, 1.3, tabela 3.13, itp.
 - niekonsekwencja zapisu zmiennych z użyciem lub bez indeksu dolnego, np. równanie 3.8,
 - zapis zmiennych za pomocą całych wyrażeń, np. *Dokładność kątowa pomiaru odległości* w równaniu 2.1, *Wielkość obiektu* w równaniu 3.1, itp.
- Str. 24 – Równanie 1.1. zawierające prawo Snelliusa zostało zapisane błędnie;
- Str. 58 – Brak rozwinięcia skrótu DRMS;
- Str. 93 – Wielkość *SDNE* została przetłumaczona z języka angielskiego jako standardowy błąd nawigacyjny pojazdu. Wydaje się, że powinno być w tym miejscu odchylenie standardowe zamiast błąd standardowy. Ma to swoje istotne znaczenie liczbowe;
- Str. 136 – Zdefiniowano funkcję celu, natomiast brakuje istotnych danych nt. użytej metody optymalizacyjnej, w szczególności: Ile iteracji jest potrzebne do znalezienia rozwiązania globalnego? Co z problemem utknięcia algorytmu w minimum lokalnym?
- Str. 137 – Brak interpretacji wyników badań zaprezentowanych na Rys. 4.28. Dlaczego efektywność jest duża dla prędkości 1,5 m/s, następnie mocno zmniejsza się, aby później powoli rosnać. Co z badaniami dla większych prędkości ruchu niż 3 m/s?
- Str. 139 – Niekonsekwencja w użytych oznaczeniach dla powierzchni rejonu podlegającego rozpoznaniu: równanie 5.1 w porównaniu do równania 4.50;
- Str. 142 – Brak interpretacji uzyskanych wyników zaprezentowanych w Tabeli 5.1, w szczególności dla parametrów o nr 5, 6 i 7, których wartości planowane różnią się od wykonanych odpowiednio o 50%, 80% i 11%.

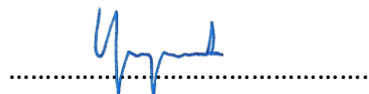
- Str. 146 – Brak interpretacji uzyskanych wyników zaprezentowanych w Tabeli 5.1, w szczególności dla parametrów o nr 4, 5 i 7, których wartości planowane różnią się od wykonanych odpowiednio o 350%, 80% i 11%. Jak na podstawie tak dużych rozbieżności można stwierdzić, iż opracowana metoda dostrojona w badaniach symulacyjnych została zweryfikowana pozytywnie w badaniach rzeczywistych?
- Str. 153 – W podsumowaniu napisano, iż konfrontacja wyników badań symulacyjnych i rzeczywistych pozwoliła na „optymalizację programu generującego trasę pojazdu w oparciu o uzyskane rezultaty”, natomiast brak jest w tekście pracy opisu ww. udoskonaleń w opracowanej aplikacji.

Wnioski końcowe

Rozprawa doktorska Pana por. mar. mgr inż. Norberta Sigiela dotyczy niezwykle aktualnych i ważnych zagadnień z wielu obszarów tematycznych, począwszy od zagadnień z inżynierii mechanicznej, aż po nawigację i hydroakustykę wraz z elementami programowania i automatyki. Ta interdyscyplinarność przeprowadzonych analiz i badań w warunkach rzeczywistych w połączeniu z użytecznością uzyskanych wyników badań wpływa korzystnie na finalną ocenę recenzowanej pracy. Niewątpliwie Doktorant zdaje sobie sprawę ze złożoności poruszanych problemów, stwierdzając w podsumowaniu o potrzebie przebadania opracowanej metody na innych typach obiektów minopodobnych. Świadczy to o chęci dalszego rozwoju naukowego oraz o umiejętności krytycznego podejścia do realizowanych badań, co stanowi dobrą prognozę na przyszłość. W tym świetle przedstawione przeze mnie uwagi krytyczne nie wpływają na pozytywny odbiór recenzowanej rozprawy doktorskiej. Jednocześnie mam nadzieję, iż część z postawionych przeze mnie pytań i uwag zostanie potraktowana jako sugestia i zachęta do podjęcia dalszych zaawansowanych badań naukowych.

Reasumując stwierdzam, iż rozprawa doktorska por. mar. mgr inż. Norberta Sigiela, zatytułowana „Metoda wykrywania i identyfikacji zagrożeń typu UXO w akwenie Morza Bałtyckiego z wykorzystaniem pojazdów autonomicznych” spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki

(Dz. U. Nr 65, poz. 595 wraz z późniejszymi zmianami). Wnoszę zatem o dopuszczenie rozprawy doktorskiej por. mar. mgr. inż. Norberta Sigiela do publicznej obrony.

A handwritten signature in blue ink is positioned above a horizontal dotted line. The signature is stylized and appears to be the name 'Norbert Sigiela'.