


Centralna Komisja do Spraw  
Stopni i Tytułów

WNIOSEK  
z dnia 10.04.2015  
o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego  
w dziedzinie *Nauki Techniczne* w dyscyplinie *Informatyka*

1. Imię i nazwisko: Piotr Borkowski
2. Stopień doktora/kwalifikacja I stopnia: doktor nauk technicznych nadany uchwałą Rady Wydziału Informatyki Politechniki Szczecińskiej z dnia 05.12.2006
3. Tytuł osiągnięcia naukowego: Zastosowanie matematyki obliczeniowej w wybranych problemach nawigacji morskiej
4. Wskazanie jednostki organizacyjnej do przeprowadzenia postępowania habilitacyjnego: Rada Wydziału Informatyki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego
5. ~~Wnoszę o głosowanie komisji postępowania habilitacyjnego w trybie tajnym~~
6. Przyjmuję do wiadomości, iż wniosek wraz z autoreferatem zostanie opublikowany na stronie internetowej Centralnej Komisji do Spraw Stopni i Tytułów, zgodnie z obowiązującymi przepisami

  
.....  
Podpis Wnioskodawcy

Załączniki:

1. Uwierzytelniona kopia dokumentu stwierdzającego nadanie stopnia doktora
2. Autoreferat przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych w języku polskim
3. Autoreferat przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych w języku angielskim
4. Wykaz opublikowanych prac naukowych lub twórczych prac zawodowych oraz informacja o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki w języku polskim
5. Wykaz opublikowanych prac naukowych lub twórczych prac zawodowych oraz informacja o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki w języku angielskim
6. Oświadczenia Współautorów systemu NAVDEC, który łącznie z wybranymi publikacjami stanowi osiągnięcie naukowe, o którym mowa w art. 16 ust. 2 ustawy
7. Kopie publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe, o którym mowa w art. 16 ust. 2 ustawy
8. Dane personalne i kontaktowe habilitanta

**AUTOREFERAT**  
**do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego**

**1. Imię i nazwisko:**

Piotr Borkowski.

**2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe:**

- 05.12.2006 stopień naukowy: doktor, uczelnia: Politechnika Szczecińska, wydział: Wydział Informatyki, dziedzina: nauki techniczne, dyscyplina: informatyka, specjalność: matematyka obliczeniowa, tytuł rozprawy: Metody syntezy inteligentnego systemu sterowania obiektem dynamicznym na przykładzie zadania stabilizacji kursu statku;
- 25.06.2002 tytuł zawodowy: magister, uczelnia: Uniwersytet Szczeciński, wydział: Wydział Matematyczno-Fizyczny, kierunek studiów: matematyka, specjalność: zastosowania matematyki, tytuł pracy: Prawdopodobieństwo i statystyka w zadaniach na egzamin aktuarialny.

**3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych:**

- 10.2010 - ... Zastępca Dyrektora Instytutu Technologii Morskich w Akademii Morskiej w Szczecinie;
- 10.2010 - 08.2012 Kierownik Zakładu Informatycznych Technologii Morskich w Akademii Morskiej w Szczecinie;
- 09.2008 - 09.2010 Kierownik Zakładu Łączności i Cybernetyki Morskiej w Akademii Morskiej w Szczecinie;
- 01.2007 - ... Adiunkt w Akademii Morskiej w Szczecinie.

**4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy 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 ze zm.):**

Moje osiągnięcie naukowe pt. „Zastosowanie matematyki obliczeniowej w wybranych problemach nawigacji morskiej” obejmuje zrealizowane osiągnięcie technologiczne, którym jest współautorstwo nawigacyjnego systemu wspomaganie decyzji NAVDEC oraz jednotematyczny cykl publikacji:

- [P1] Borkowski P. „Adaptive ship course-keeping system” Archives of Transport System Telematics vol. 7, no. 2, 2014 (19-23);
- [P2] Borkowski P. „Presentation algorithm of possible collision solutions in a navigational decision support system” Scientific Journals Maritime University of Szczecin no. 38(110), 2014 (20-26);
- [P3] Borkowski P. „Ship course stabilization by feedback linearization with adaptive object model” Polish Maritime Research vol. 21, no. 1(81), 2014 (14-19);
- [P4] Borkowski P. „Data fusion in a navigational decision support system on a sea-going vessel” Polish Maritime Research vol. 19, no. 4(76), 2012 (78-85);
- [P5] Borkowski P. „Computational mathematics in marine navigation” Scientific Journals Maritime University of Szczecin no. 21(93), 2010 (20-27);
- [P6] Borkowski P. „Algorithm of the probabilistic assessment of two dynamic objects passing safety” Computational intelligence in applications, Scientific Publishing House of the Szczecin University, Szczecin 2009 (37-50).

Konkurencyjność transportu morskiego w stosunku do innych gałęzi transportu skutkuje wzrostem przewozów drogą morską. Pociąga to za sobą wzrost intensywności ruchu statków, ich tonażu i rozwijanych prędkości. To z kolei wpływa negatywnie na poziom bezpieczeństwa ludzi, statków, ładunków i środowiska. W celu poprawy bezpieczeństwa oraz podniesienia efektywności i konkurencyjności usług transportowych w żegludze morskiej wprowadza się na statkach i w ośrodkach lądowych coraz nowocześniejsze urządzenia i systemy nawigacyjne. Korzyściami stąd wynikającymi są:

- korzyści społeczne związane z ograniczeniem śmierci i kalectwa członków załóg i pasażerów na statkach morskich;
- korzyści materialne związane ze zmniejszeniem strat ładunków, uszkodzeń i zatonięć statków;
- korzyści ekonomiczne związane z obniżeniem ogólnych kosztów eksploatacji i skróceniem czasu rejsu;
- ochrona środowiska i zapobieganie katastrofom ekologicznym, będącym skutkiem kolizji statków przewożących ładunki niebezpieczne.

Jednakże głównym problemem jaki pojawia się przy projektowaniu wydajnych urządzeń i systemów nawigacyjnych, takich które będą gwarantowały wymienione powyżej korzyści, są trudności przy opracowaniu skutecznych algorytmów realizujących pożądane funkcjonalności. Projektowanie rozwiązań, które będą dostatecznie efektywne, nie będą bazowały na zbyt dużej liczbie uproszczeń, prowadzi do złożoności systemów. Istotny wpływ na stopień złożoności mają następujące czynniki:

- trudność w opisie systemu (modele nie odzwierciedlają w sposób wierny wszystkich składników systemu);
- brak klasycznych metod rozwiązywania problemów nawigacji morskiej w przypadku systemów opisanych złożonymi modelami matematycznymi;
- niepewność (silne zakłócenia działające na obiekty znajdujące się w środowisku morskim spowodowane siłami zewnętrznymi takimi jak wiatr, prąd, czy fala);
- gwałtowna dynamika zmian i związana z nią potrzeba nieustannej adaptacji systemu (przykładem jest zmiana parametrów dynamiki statku na wskutek zmian głębokości wody).

Wymienione trudności wskazują, że większość zagadnień obliczeniowych związanych z nawigacją morską trudno jest traktować analitycznie w sposób klasyczny. Stąd zastosowanie matematyki obliczeniowej do rozwiązywania problemów nawigacji morskiej, a szerzej transportu morskiego wydaje się być nieodzowne. Matematykę obliczeniową rozumie się tutaj jako połączenie tradycyjnego aparatu matematycznego, charakteryzującego się ścisłym rozumowaniem (ścisłymi dowodami) z metodami sztucznej inteligencji, wsparte dodatkowo możliwościami technicznymi współczesnych komputerów. Rozwijana teoria matematyki obliczeniowej, dostarcza narzędzia umożliwiające projektowanie nowych i rozbudowę istniejących algorytmów obliczeniowych, które skuteczniej rozwiązują problemy nawigacji morskiej, służąc w ten sposób rozwojowi cywilizacji w tym zakresie. Poza dostarczaniem algorytmów, matematyka obliczeniowa pełni w nawigacji morskiej jeszcze jedną ważną rolę, doświadczalną. Umożliwia modelowanie i symulację systemów oraz procesów za pomocą eksperymentów obliczeniowych. Pozwala na robienie doświadczeń w sytuacjach zbyt skomplikowanych, by możliwa była uproszczona analiza teoretyczna oraz umożliwia testowanie algorytmów przed ich implementacją w warunkach rzeczywistych. Szerzej ten temat został przedstawiony w publikacji [P5].

Celem naukowym badań wykonanych w pracach wskazanych jako osiągnięcie naukowe było opracowanie i implementacja algorytmów obliczeniowych z zakresu wybranych

problemów nawigacji morskiej, a następnie ich przetestowanie za pomocą eksperymentów obliczeniowych lub weryfikacja we wdrożeniu w warunkach rzeczywistych. Osiągnięte wyniki obejmują:

- [A1] algorytm fuzji danych nawigacyjnych;
- [A2] algorytm probabilistycznej oceny bezpieczeństwa mijania się dwóch obiektów dynamicznych;
- [A3] algorytm predykcji trajektorii ruchu statku własnego i statków obcych;
- [A4] algorytm prezentacji dopuszczalnych rozwiązań sytuacji kolizyjnej;
- [A5] algorytm stabilizacji kursu statku sporządzony w oparciu o regulator linearyzujący sprzężeniem zwrotnym z adaptacją modelu obiektu;
- [A6] adaptacyjny algorytm stabilizacji kursu statku sporządzony w oparciu o bazę wiedzy.

Przez pojęcie fuzji danych rozumie się proces zespolenia danych pochodzących z różnych, często dublujących się źródeł (urządzeń pomiarowych), ale opisujących tą samą wielkość. Uzyskane w ten sposób dane uwzględniają informacje pochodzące od wszystkich sensorów, przez co charakteryzują się większą precyzją od tych danych, które pochodziłyby bezpośrednio z każdego źródła osobno. W opisywanej sytuacji wzrasta również poziom bezpieczeństwa systemu, związany z ewentualnym zanikiem informacji wejściowych, gdyż w przypadku braku danych z określonego źródła (urządzenia), pozostałe gwarantują skuteczność działania. Ma to szczególne znaczenie w systemach czasu rzeczywistego. Poprzez realizację tego procesu uzyskuje się zatem wiarygodniejszą i bardziej dokładną informację. Praktyka pokazuje, że większość morskich jednostek pływających posiada dublujące się, autonomiczne urządzenia dokonujące pomiaru pozycji obiektu własnego (szerokość i długość geograficzną). Nawigator dysponując kilkoma różnymi danymi dotyczącymi aktualnej pozycji obiektu własnego, może mieć utrudnione zadanie podjęcia właściwych decyzji. Z drugiej strony poleganie tylko na pomiarach jednego urządzenia jest rozwiązaniem, które gwarantuje utratę informacji. Z tego względu zasadnym staje się wykorzystanie mechanizmu fuzji danych dla potrzeb syntezy danych nawigacyjnych. W tym celu został zaprojektowany algorytm [A1]. Jego podstawą jest wielosensorowy filtr Kalmana, dzięki któremu przefiltrowane sygnały są ważone za pomocą macierzy krzyżowej kowariancji błędów filtracji, a następnie uzyskuje się uśredniony sygnał wyjściowy. Zaproponowane podejście jest optymalne, gdyż minimalizuje ślad macierzy wariancji błędu estymatora fuzji. Algorytm fuzji danych nawigacyjnych został szczegółowo opisany w pracy [P4]. Przedstawiono tam również wyniki weryfikacji jego działania w warunkach rzeczywistych.

Kryterium odległości jest jednym z podstawowych kryteriów oceny bezpieczeństwa w sytuacji spotkań obiektów dynamicznych (np. statków). Z tego względu istotne znaczenie ma dokładność wyznaczenia odległości mijania się tych obiektów. Wyliczenie to obarczone jest błędami urządzeń pomiarowych. Nie uwzględnia również niedokładności związanych z prowadzeniem obiektu, czyli utrzymaniem zadanego kursu i prędkości. Niedokładności te występują zwłaszcza w sytuacji silnych zakłóceń (w przypadku statków np. wiatru, prądu). Precyzja w wyznaczeniu odległości mijania ma istotne znaczenie w nawigacji w wąskich torach, wymuszających wykonywanie manewrów przez obiekty w małych odległościach od niebezpieczeństw. Stąd dokładniejsze oszacowanie rzeczywistej odległości mijania obiektów obcych może istotnie przyczynić się do poprawniejszej oceny sytuacji nawigacyjnej. Wskaźnikiem ilościowym oceny odległości jest prawdopodobieństwo minięcia obiektu obcego w odległości mniejszej/większej od zadanej, np. określonej przez nawigatora jako bezpiecznej. Problem dotyczy zarówno mijania obiektów ruchomych, jak też obiektów stałych. Propozycją rozwiązania omawianego zagadnienia jest zaprojektowany algorytm probabilistycznej oceny odległości mijania się dwóch obiektów dynamicznych [A2]. Przy założeniu, że dane są zmienne losowe opisujące kursy obiektów dynamicznych,

wykorzystując metody i narzędzia rachunku prawdopodobieństwa oraz rozwiązania numeryczne, wyznaczana zostaje funkcja gęstości zmiennej losowej opisującej odległość największego zbliżenia CPA (*Closest Point of Approach*). W oparciu o wyznaczoną funkcję gęstości, obliczane zostaje prawdopodobieństwo minięcia się obiektów w odległości mniejszej od zadanej (np. dopuszczalnej). Zaproponowana metoda umożliwia uwzględnienie niedokładności danych w procesie analizy sytuacji kolizyjnej. Algorytm probabilistycznej oceny bezpieczeństwa mijania się dwóch obiektów dynamicznych został szczegółowo opisany w pracy [P6]. Przedstawiono tam również wyniki weryfikacji jego działania w warunkach symulacyjnych, przy użyciu eksperymentów obliczeniowych.

Dla skutecznego rozwiązywania sytuacji kolizyjnych ważna jest znajomość przyszłych pozycji statku własnego i innych obiektów w zadanym horyzoncie czasowym. Jednym z głównych czynników powodujących błędy w predykcji jest brak wiedzy o podejmowanych przez nawigatorów decyzjach manewrowych (zmiany nastaw steru lub maszyny), co w konsekwencji prowadzi do trudno przewidywalnych zmian kursu statku. Kolejnym istotnym czynnikiem jest nieuwzględnienie w predykcji dynamiki obiektu. W zaproponowanym algorytmie obliczeniowym [A3] odnoszącym się do omawianego zagadnienia, w celu ograniczenia błędów predykcji zastosowano sztuczne sieci neuronowe, uczone w sposób adaptacyjny. Podejście polega na zastosowaniu większej liczby sieci neuronowych uczonych na podstawie ciągów danych o różnych długościach. Sieci uczone na podstawie krótkich ciągów danych pozwalają lepiej aproksymować parametry ruchu dla statków manewrujących. Zadaniem sieci uczonych na podstawie dłuższych ciągów danych jest aproksymacja dla ruchu ustalonego (statki niemanewrujące). Wartości predykowanych parametrów ruchu wyznaczone zostają na podstawie ważonych odpowiedzi poszczególnych sieci. Przyjęto, że wartości wag dla odpowiedzi poszczególnych sieci wyznaczone są na podstawie błędów predykcji w oparciu o aktualne wartości parametrów ruchu statku. Takie podejście jest efektywne w przypadku predykcji trajektorii ruchu obiektów obcych. Dla statku własnego można przyjąć założenie o znajomości zarówno przebiegu przyszłych zmian kursu jak i parametrów modelu dynamiki obiektu, co istotnie wpływa na poprawę wiarygodności predykcji. Zostało to uwzględnione w algorytmie obliczeniowym [A3], gdzie predykcję trajektorii ruchu statku własnego uzyskuje się w wyniku symulacji działania autopilota kursu, opartego o regulator LQR i linowy model dynamiki ruchu statku (model Nomoto).

Działania nawigatora na statku zależą od zaistniałych warunków, podczas braku zagrożeń (sytuacja bezpieczna) wykonuje on standardowe czynności związane z utrzymywaniem kursu lub ewentualną zmianą w punktach zwrotu. W przypadku, gdy sytuacja nawigacyjna zostanie zakwalifikowana jako kolizyjna i przynajmniej jeden obiekt obcy ma pierwszeństwo drogi, zgodnie z przepisami MPDM (Międzynarodowe Prawo Drogi Morskiej), nawigator powinien wyznaczyć manewr bezpieczny, tj. rozwiązujący daną sytuację. Może to być manewr kursem i/lub prędkością, dla którego rozminiecie się ze wszystkimi obiektami obcymi, nastąpi nie bliżej niż na zadaną odległość minimalną. Dla celów wspomaganie podejmowania decyzji nawigatora w tym zakresie został opracowany algorytm [A4]. Opierając się na wzorach służących do obliczania parametrów spotkania obiektów dynamicznych oraz na technikach numerycznych wyznaczone zostają zakresy dopuszczalnych rozwiązań sytuacji kolizyjnej, wraz z rozwiązaniem rekomendowanym, a następnie są one prezentowane w formie graficznej. Klarowna i zrozumiała dla nawigatora odpowiedź, ma szczególnie istotne znaczenie dla procesu wspomaganie decyzji nawigacyjnych w sytuacjach zagrożeń kolizją. Omawiany algorytm został szczegółowo opisany w pracy [P2]. Przedstawiono tam również wyniki weryfikacji jego działania w warunkach rzeczywistych.

Przedstawione dotychczas algorytmy dotyczyły głównie problematyki analizy, oceny i rozwiązania sytuacji nawigacyjnej. Jednak równie istotną tematyką w zakresie zagadnień

obliczeniowych związanych z nawigacją morską jest automatyzacja procesów sterowania ruchem statków. Jednym z klasycznych zadań z tego obszaru jest problem automatycznej stabilizacji kursu statku. Polega on na automatycznym utrzymywaniu statku na kursie zadanym, w warunkach zakłóceń zewnętrznych (fala, wiatr, prąd), jak również na automatycznym sprowadzaniu statku na kurs zadany (np. po jego wcześniejszej zmianie). Stabilizacja kursu statku ma szczególne znaczenie, gdyż nieoptymalne sterowanie płetwą sterową, wiąże się ze stratą średniej prędkości, nakładaniem drogi, wydłużeniem czasu rejsu oraz większym zużyciem paliwa, co w konsekwencji pociąga wzrost ogólnych kosztów eksploatacji. Problemem może być również przeciążenie maszyny sterowej prowadzące do jej awarii. A co najważniejsze, niekontrolowane myskowanie, szczególnie na torach o wzmożonym ruchu, wpływa negatywnie na poziom bezpieczeństwa, podwyższając ryzyko zajścia kolizji. Propozycją rozwiązania omawianego zagadnienia jest zaprojektowany algorytm stabilizacji kursu statku sporządzony w oparciu o regulator linearyzujący sprzężeniem zwrotnym z adaptacją modelu obiektu [A5]. Algorytm zakłada tylko częściowo znaną strukturę modelu matematycznego obiektu. W celu bieżącej aproksymacji nieznanych funkcji modelu wykorzystano neuro aproksymatory oparte na gaussowskich, bazowych funkcjach radialnych GaRBF. Opracowane podejście należy do nowej generacji metod sterowania adaptacyjnego. Omawiany algorytm został szczegółowo opisany w pracy [P3]. Przedstawiono tam również wyniki weryfikacji jego działania w warunkach symulacyjnych, przy użyciu eksperymentów obliczeniowych.

Alternatywą dla algorytmu [A5] jest adaptacyjny algorytm stabilizacji kursu statku sporządzony w oparciu o bazę wiedzy [A6]. Integralną częścią bazy wiedzy jest komputerowy model dynamiki ruchu statku, zbudowany na podstawie odpowiednio dobranego zbioru sygnałów zarejestrowanych z wejścia i wyjścia obiektu. Ze względów praktycznych, sygnały mogą być zastąpione danymi uzyskanymi z matematycznego modelu obiektu. Omija się w ten sposób trudności, które występują przy opracowywaniu klasycznych algorytmów sterowania, w przypadku złożonego oraz nieliniowego modelu. Istotną częścią bazy wiedzy jest trójwymiarowa kostka danych, w której zapisana jest informacja niezbędna do procesu wyznaczania kolejnych decyzji sterujących. W omawianym przypadku, problem adaptacji systemu sprowadza się do bieżącej identyfikacji matematycznego modelu obiektu, co umożliwia dostrajanie komputerowego modelu dynamiki ruchu statku oraz aktualizację trójwymiarowej kostki danych. Do tego celu wykorzystano neuro aproksymatory, analogicznie jak w algorytmie [A5]. Opracowany algorytm dotyczy zadania stabilizacji kursu statku, jednak przedstawiona metodyka może być w prosty sposób poszerzona i wykorzystana, także do syntezy wielozadaniowego autopilota trajektorii. Wydaje się, że w kontekście zaproponowanego podejścia, możliwe jest rozszerzenie nie tylko zadań, ale również obiektów sterowania, które można tu rozpatrywać. Stąd zaproponowana metodyka reprezentuje nową gałąź inteligentnych systemów sterowania. Omawiany algorytm został szczegółowo opisany w pracy [P1]. Przedstawiono tam również wyniki weryfikacji jego działania w warunkach symulacyjnych, przy użyciu eksperymentów obliczeniowych.

Analiza orzecznictwa komisji badania wypadków morskich wskazuje, że jedną z głównych przyczyn wypadków na wodzie są błędy ludzkie. Eliminowanie lub ograniczenie błędów ludzkich, a przez to zapewnienie możliwie wysokiego poziomu bezpieczeństwa nawigacyjnego jest możliwe tylko dzięki wprowadzeniu na statki narzędzi, które obok funkcji informacyjnych będą wypracowywały podpowiedzi rozwiązań sytuacji kolizyjnych wraz z niezbędnymi komentarzami. Jednakże do tej pory żaden z istniejących na rynku systemów nie realizował takich funkcjonalności. Ograniczało to znacznie zakres wspomagania decyzji, a tym samym skuteczność w zapobieganiu kolizjom. Wypełnieniem tej luki jest nawigacyjny system wspomagania decyzji NAVDEC (produkowany przez Sup4Nav Sp. z o.o. - spółka spin out Akademii Morskiej w Szczecinie), który jest pierwszym na świecie inteligentnym

urządzeniem w pełni rozwiązującym sytuację kolizyjną na wodzie. Jest informatycznym systemem czasu rzeczywistego obsługiwany przez nawigatora. Ma za zadanie obserwację statku własnego i otoczenia oraz rejestrację informacji o sytuacji nawigacyjnej. Na tej podstawie przeprowadza (proces przetwarzania) analizę i ocenę oraz w przypadku sytuacji kolizyjnej wyznacza proponowane rozwiązania (decyzje), uwzględniając aktualnie obowiązujące przepisy. Główne innowacyjne funkcjonalności systemu NAVDEC realizowane są w oparciu o specjalistyczne algorytmy obliczeniowe, w tym algorytmy [A1], [A3] i [A4].

Prawidłowe funkcjonowanie systemu NAVDEC wymaga współdziałania ze standardowymi urządzeniami i systemami montowanymi na statku (aktualnie bardzo często spotykanymi również na jednostkach rekreacyjnych): log, żyrokompas, ARPA (*Automatic Radar Plotting Aids*), GNSS (*Global Navigational Satellite System*), AIS (*Automatic Identification System*), ENC (*Electronic Navigational Chart*), dzięki którym pozyskiwane są aktualne dane nawigacyjne. Podobnie jak system ECDIS (*Electronic Chart Display and Information System*) system NAVDEC realizuje funkcje informacyjne - prezentuje na wspólnym ekranie informacje batymetryczne z mapy elektronicznej, obraz sytuacji nawodnej uzyskanej z radaru śledzącego, informacje o pozycjach obiektów uzyskane z systemu AIS i odbiorników GNSS oraz wyznacza i przedstawia nawigatorowi parametry ruchu i parametry zbliżenia obiektów.

Podstawą dla skutecznego rozwiązywania sytuacji kolizyjnych są informacje o aktualnych i przyszłych parametrach ruchu statku własnego oraz innych obiektów. Dokładność prezentowanych nawigatorowi informacji ma istotne znaczenie dla prawidłowej oceny sytuacji i podejmowanych przez niego decyzji. Stąd system NAVDEC realizuje fuzję danych dotyczących obiektu własnego (algorytm [A1]) oraz integrację danych dotyczących obiektów obcych otrzymanych z alternatywnych źródeł (radar śledzący, AIS). Równie pomocną funkcją jest precyzyjna predykcja trajektorii ruchu statku własnego i statków obcych (algorytm [A3]).

Kolejną innowacyjną funkcjonalnością, którą realizuje system NAVDEC jest analiza i ocena sytuacji nawigacyjnej w stosunku do wszystkich lub wybranych obiektów w zadanej odległości. Stanowi to jeden z etapów procesu decyzyjnego, który do tej pory był realizowany głównie przez nawigatora. Dzięki systemowi NAVDEC nawigator na bieżąco informowany jest o kwalifikacji sytuacji spotkania zgodnie z zasadami MPDM.

W przypadku, gdy sytuacja jest zakwalifikowana jako kolizyjna nawigator wyznacza manewr bezpieczny, tj. rozwiązujący daną sytuację, określa rodzaj manewru (manewr kursem, manewr prędkością) oraz jego parametry: moment rozpoczęcia i wartość/wartości kursu lub prędkości. Może to być np. wyznaczenie kursu bezpiecznego dla którego minięcie obiektu obcego nastąpi w zadanej odległości, uznanej przez nawigatora za bezpieczną. System NAVDEC jako jedyne narzędzie na świecie realizuje tę funkcję automatycznie. Uwzględnia przy tym MPDM, zasady dobrej praktyki morskiej, kryteria stosowane przez ekspertów nawigatorów. Obok konkretnej propozycji rozwiązania, wyznaczane są te wszystkie, które są zgodne z przepisami (możliwe zakresy zmiany kursu lub zmiany prędkości - algorytm [A4]). Dodatkowo nawigator otrzymuje objaśnienia (uzasadnienia) wyznaczonego, proponowanego, manewru. Jest to realizowane w stosunku do wszystkich obiektów obcych, jak również do wybranych.

Proponowane rozwiązania, uzupełnione objaśnieniami nie wyręczają nawigatora, ale ułatwiają podjęcie mu decyzji. Jednym z kierunków rozwoju systemu NAVDEC jest wprowadzenie możliwości pełnego zautomatyzowania procesu sterowania ruchem statku - realizacja wypracowanego przez system manewru. Tą funkcjonalność zapewni moduł wykonawczy systemu połączony z maszyną sterową, silnikiem głównym, telegrafem oraz śrubą nastawną. Planuje się, że w ramach tego modułu będzie zaimplementowany autopilot

kursu (algorytmy [A5] i [A6]). Innym istotnym rozszerzeniem systemu NAVDEC jest uwzględnienie w procesie oceny sytuacji nawigacyjnej oraz wypracowania manewru niedokładności związanych z wyznaczeniem odległości mijania się statków (algorytm [A2]).

System NAVDEC to produkt, który znajduje szerokie zastosowanie na jednostkach pływających i w ośrodkach lądowych, zarówno jako samodzielny system jak i moduł istniejących systemów nawigacyjnych. Główne obszary zastosowań to:

- wspomaganie decyzji nawigacyjnych w sytuacjach kolizyjnych - statkowy system wspomagania decyzji instalowany na mostku nawigacyjnym:
  - na jednostkach komercyjnych (np. statki handlowe),
  - na jednostkach rekreacyjnych (np. jachty morskie);
- wspomaganie decyzji nawigacyjnych w sytuacjach kolizyjnych - element systemów nadzoru i kontroli ruchu statków w ośrodkach lądowych (np. VTS, VTMS, VTMS);
- analiza i ocena wypadków nawigacyjnych w żegludze morskiej - system przeznaczony dla ekspertów komisji badania wypadków morskich;
- weryfikacja umiejętności kadr oficerskich w zakresie MPDM - system przeznaczony dla armatorów;
- szkolenie kadr oficerskich dla żeglugi w zakresie MPDM - moduł symulatorów nawigacyjnych (np. manewrowych, ECDIS).

Dotychczas system NAVDEC zdobył uznanie i został dostrzeżony zarówno w środowisku naukowym jak i sektorze biznesu. Główne wyróżnienia to:

- uzyskanie drugiego miejsca w kategorii „University Challenge” konkursu European Satellite Navigation Competition 2014;
- uzyskanie statusu finalisty konkursu „Polski Wynalazek 2014” organizowanego przez Telewizję Polską oraz Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego;
- uzyskanie wyróżnienia w konkursie „Busole Biznesu” za rok 2013 w kategorii „Innowacja roku”;
- reprezentowanie Polski na stoisku MNiSW podczas największych na świecie targów technologii informatycznych CeBIT 2013 w Hanowerze.

Więcej informacji na temat systemu NAVDEC i jego komercjalizacji można znaleźć na stronie: [www.navdec.com](http://www.navdec.com).

Zaprezentowane wdrożenie jest dowodem na to, że przedłożone do oceny osiągnięcie naukowe oprócz aspektów badawczych i poznawczych posiada znaczący potencjał aplikacyjny.

## **5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych:**

Moja działalność naukowa ukierunkowana jest na zastosowanie matematyki obliczeniowej, w tym metod sztucznej inteligencji w wybranych problemach nawigacji morskiej. W szczególności wiąże się ona z opracowywaniem, implementacją i testowaniem algorytmów obliczeniowych z zakresu automatycznego sterowania ruchem obiektów pływających, pozycjonowania obiektów pływających, predykcji ruchu obiektów pływających oraz algorytmów analizy, oceny i rozwiązania sytuacji nawigacyjnej. Do najważniejszych wspomnianych algorytmów należą (w wykazie nie uwzględniono algorytmów wskazanych jako osiągnięcie wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, a przedstawionych w poprzednim punkcie):

- algorytm predykcji trajektorii ruchu statków manewrujących działający w oparciu o moduł automatycznej komunikacji międzysatkowej [Borkowski P. Polish Journal of



- Environmental Studies vol. 18, no. 5A, 2009 (15-20)];
- algorytm wyznaczania bezpiecznego kursu na podstawie probabilistycznej oceny sytuacji nawigacyjnej [Pietrzykowski Z., Borkowski P. Polish Journal of Environmental Studies vol. 17, no. 4C, 2008 (9-13)];
  - algorytm predykcji trajektorii ruchu statku z wykorzystaniem predykcji liniowej na podstawie estymowanych poprzez aproksymację wielomianową parametrów ruchu [Pietrzykowski Z., Borkowski P. Monographs series no. 122, Scientific Publishing House of the Kazimierz Pułaski Technical University of Radom, 2008 (479-486)];
  - algorytm stabilizacji kursu statku sporządzony w oparciu o metodę reżimu ślizgu [Zwierzewicz Z., Borkowski P. Zeszyty Naukowe AM w Szczecinie nr 11(83), 2006 (413-424)];
  - algorytm stabilizacji kursu statku z wykorzystaniem regulatora LQR oraz identyfikacji modelu dynamiki obiektu w oparciu o ciągłą wersję metody najmniejszych kwadratów [Zwierzewicz Z., Borkowski P. Zeszyty Naukowe AM w Szczecinie nr 2(74), 2004 (431-442)];
  - algorytm wielokryterialnej prezentacji/wyszukiwania danych uwzględniający kryteria ciągle i dyskretne (zaimplementowany w rzeczywistym systemie informatycznym rejestracji usług medycznych przez NetStream Poland, w ramach projektu „Staż sukcesem naukowca” realizowanego przez Poznański Akademicki Inkubator Przedsiębiorczości, 09.2012 - 02.2013).

Ponadto wykonane przeze mnie prace badawcze obejmują m.in.:

- współpracowanie koncepcji zintegrowanego systemu wspomagania decyzji nawigacyjnych w sterowaniu ruchem statków [Pietrzykowski Z., Borkowski P., Wojejsza P. Communications in Computer and Information Science series no. 329, Springer, 2012 (284-292)];
- analizę zastosowania wybranych metod kryptografii i steganografii w integracji podsystemów bezpieczeństwa informacyjnego portów morskich [Ochin E., Dobryakova L., Pietrzykowski Z., Borkowski P. Scientific Journals Maritime University of Szczecin no. 26(98), 2011 (80-87)];
- modelowanie generowania falowania morskiego w oparciu o widmo rzędnej fali [Borkowski P., Zwierzewicz Z. Roczniki Informatyki Stosowanej Politechniki Szczecińskiej nr 6, 2004 (43-48)];
- analizę systemów sterowania inteligentnego na przykładzie zadania stabilizacji kursu statku [Zwierzewicz Z., Kijewska M., Borkowski P. Materiały VIII Sesji Naukowej Informatyki w Szczecinie, 2003 (429-432)].

Wyniki przeprowadzonych przeze mnie badań naukowych zostały opublikowane w 33 pracach, z czego 2 to monografie, 3 to artykuły w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports, zaś 4 to publikacje znajdujące się w bazie Web of Science. Aktualny indeks Hirscha według bazy Web of Science wynosi 3, zaś według bazy Google Scholar 6. Rezultaty swoich badań przedstawiałem również na konferencjach naukowych, głównie międzynarodowych, gdzie wygłosiłem 10 referatów oraz zaprezentowałem 2 postery. Część z prac badawczych wykonałem w ramach projektów naukowych finansowanych ze środków europejskich i krajowych m.in.:

- „ESABALT Enhanced situational awareness to improve maritime safety in the Baltic” Projekt badawczy w ramach Międzynarodowego Programu BONUS, 03.2014 - 02.2016 (wykonawca);
- „Opracowanie oraz implementacja algorytmu wielokryterialnej prezentacji danych na przykładzie bazy podmiotów medycznych w oparciu o narzędzia matematyki

obliczeniowej” Projekt badawczo-wdrożeniowy, Poznański Akademicki Inkubator Przedsiębiorczości, 19/ED2/SSNSz/2012, 09.2012 - 02.2013 (kierownik);

- „Opracowanie nawigacyjnego systemu wspomagania decyzji na statku morskim” Projekt badawczy własny MNiSW nr NN509175933, 10.2007 - 10.2009 (wykonawca).

Innowacyjność oraz duży potencjał wdrożeniowy prowadzonych przeze mnie badań skutkowało złożeniem zgłoszeń patentowych (obecnie trwa procedura przyznania patentów):

- „A method and system of navigational decision support in the process of safe vessel navigation” Międzynarodowe zgłoszenie wynalazku w ramach procedury PCT nr PCT/PL2010/000112, 08.11.2010 (współtwórca);
- „Sposób i układ wspomagania decyzji nawigacyjnych, w procesie bezpiecznego prowadzenia obiektu pływającego” Zgłoszenie wynalazku w Urzędzie Patentowym RP nr 389638, 26.11.2009 (współtwórca).

Moja działalność w zakresie współpracy naukowej zwłaszcza międzynarodowej obejmuje m.in.:

- udział w konsorcjum naukowym: Finnish Geodetic Institute, Furuno Finland Oy, Akademia Morska w Szczecinie, SSPA Sweden AB w ramach projektu ESABALT, 03.2014 - 02.2016;
- współpracę z Hochschule Furtwangen w zakresie zorganizowania wizyty studyjnej w ramach projektu „Informatyka - kierunek zamawiany w Akademii Morskiej w Szczecinie”;
- recenzowanie w prestiżowym czasopiśmie Ocean Engineering (IF2013: 1,337);
- recenzowanie w projekcie „Grant Plus” realizowanym przez Województwo Dolnośląskie, kierowanym do doktorantów;
- staż naukowy w firmie NetStream Poland w zakresie wdrażania nowoczesnych technologii IT, w ramach projektu „Staż sukcesem naukowca” realizowanego przez Poznański Akademicki Inkubator Przedsiębiorczości, 09.2012 - 02.2013;
- członkostwo w Polskim Towarzystwie Informatycznym;
- członkostwo w Radzie Programowej projektu „ICT Business to Education” realizowanego przez Szczeciński Park Naukowo-Technologiczny, 08.2012 - 11.2015.

Obok działalności naukowej należy wspomnieć o osiągnięciach dydaktycznych i popularyzujących naukę. W tym zakresie na pierwszym miejscu wypada wymienić to, że jestem jednym z głównych inicjatorów i organizatorów kierunku studiów Informatyka, uruchomionego w 2010 roku na Wydziale Nawigacyjnym Akademii Morskiej w Szczecinie. Pełniąc funkcję pełnomocnika Dziekana ds. utworzenia wspomnianego kierunku studiów oraz będąc jednym z głównych autorów dokumentów niezbędnych do uzyskania ww. uprawnień, w tym programu nauczania, znacząco przyczyniłem się do stworzenia unikalnej w skali kraju oferty edukacyjnej o specjalności Informatyka Morska.

Istotnym wsparciem w procesie tworzenia, a następnie rozwoju kierunku studiów Informatyka było pozyskanie środków unijnych w kwocie około 5 mln zł. Środki te otrzymano dzięki projektom przygotowanym i kierowanym przeze mnie:

- „Informatyka - kierunek zamawiany w Akademii Morskiej w Szczecinie” projekt finansowany z Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki (budżet 1 780 501,80 zł), realizowany przez Akademię Morską w Szczecinie, 07.2012 - 10.2015;
- „Cała Naprzód! Rozwój nowego kierunku studiów na Wydziale Nawigacyjnym oraz promocja zawodów związanych z branżą morską” projekt finansowany z Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Programu Operacyjnego Kapitał

Ludzki (budżet 2 965 741,43 zł), realizowany przez Akademię Morską w Szczecinie, 03.2010 - 07.2014.

Finansowanie projektów objęło m.in.: doposażenie sprzętowe, działania promocyjne, program stypendialny połączony ze wsparciem w postaci zajęć wyrównawczych, płatnych staży, szkoleń specjalistycznych oraz wizyt studyjnych. Szczególnie ważnym działaniem była pomoc dla osób niesłyszących i niedosłyszących. Osoby te uzyskały możliwość studiowania dzięki zatrudnieniu surdopedagoga i tłumacza języka migowego uczestniczącego na wszystkich zajęciach dydaktycznych. Podjęte działania wewnętrzuczelniane oraz współpraca z Polskim Związkiem Głuchych doprowadziły do tego, że obecnie osoby z wadą słuchu studiuje nie tylko na roczniku objętym wsparciem projektowym, ale również na pozostałych. Jest to pierwsza tego typu inicjatywa w obszarze szkolnictwa wyższego w Polsce.

Kierunek studiów nie mógłby prawidłowo funkcjonować bez odpowiedniej bazy kadrowo-infrastrukturalnej. W tym zakresie brałem czynny udział w zmianie struktury organizacyjnej Wydziału Nawigacyjnego Akademii Morskiej w Szczecinie. Byłem współorganizatorem utworzonego w 2010 roku Instytutu Technologii Morskich i organizatorem Zakładu Informatycznych Technologii Morskich wchodzącego w skład ww. Instytutu. Jednostki te stanowią główne zaplecze dla kierunku studiów Informatyka. Obecnie pełnię funkcję Zastępcy Dyrektora Instytutu oraz pełnomocnika Dziekana ds. kształcenia na wymienionym kierunku studiów.

Równie istotnym osiągnięciem z obszaru dydaktyki i popularyzacji nauki jest zainicjowanie i organizacja corocznego ogólnopolskiego konkursu informatycznego dla uczniów szkół ponadgimnazjalnych „Interaktywny produkt IT”, prowadzonego pod patronatem Ministerstwa Administracji i Cyfryzacji, Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz Polskiego Towarzystwa Informatycznego. Partnerami konkursu są firmy z branży IT m.in.: Microsoft, Tieto, Unizeto. Jestem pomysłodawcą i organizatorem konkursu. We wszystkich dotychczasowych edycjach pełniłem rolę przewodniczącego Komitetu Organizacyjnego konkursu oraz przewodniczącego Kapituły Konkursowej. Celem konkursu jest popularyzacja branży IT i zachęcenie młodzieży do rozwoju i kształcenia w kierunku zawodów związanych z tą specjalnością, co w konsekwencji prowadzi do wzrostu potencjału nauki w zakresie IT w Polsce. Konkurs IpIT to nowatorska w skali kraju inicjatywa otwierająca nowe możliwości dla młodych twórców i pasjonatów nowoczesnych technologii. Innowacyjność konkursu polega przede wszystkim na szerokim spectrum możliwości twórczych, jakie stoją przed uczestnikami. Projektem konkursowym jest dowolny interaktywny produkt IT, wykonany w dowolnie wybranej technologii, użytkowany stacjonarnie lub publikowany w sieci internetowej. Skala oddziaływania konkursu (w dotychczasowych trzech edycjach konkursu brało udział około 1200 osób, rozdano nagrody o wartości ponad 60 000 zł.) wskazuje, że inicjatywa ta ma znaczący wpływ na budowę społeczeństwa informacyjnego i popularyzację nauki w zakresie IT w Polsce.

Za działalność naukową, dydaktyczną i organizacyjną zostały przyznane mi następujące wyróżnienia, nagrody i odznaczenia:

- Medal Komisji Edukacji Narodowej, 27.08.2014;
- tytuł „Zachodniopomorski Nobel 2013” w dziedzinie nauk o morzu za współpracowanie i współwdrożenie systemu NAVDEC;
- dyplom finalisty konkursu „Polski Wynalazek 2014” organizowanego przez Telewizję Polską oraz Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego za współautorstwo systemu NAVDEC;
- Srebrna Odznaka Honorowa Gryfa Zachodniopomorskiego, 18.02.2014;
- nagroda Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej za najlepszą książkę o tematyce transportowej wydaną w roku akademickim 2011/2012;

- nagrody indywidualne Rektora Akademii Morskiej w Szczecinie za wybitną działalność organizacyjną w roku 2009, 2010, 2012, 2013;
- nagroda zespołowa Rektora Akademii Morskiej w Szczecinie za wybitną działalność naukową w roku 2009;
- nagroda indywidualna Rektora Akademii Morskiej w Szczecinie za wybitną działalność naukową w roku 2008.