

dr hab. inż. Mariusz Wąż – prof. AMW
Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej
Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego
Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni

Gdynia, 04.09.2017r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Dariusza TOMASZEWSKIEGO

p.t. „Doskonalenie metod pozycjonowania z wykorzystaniem zintegrowanych pomiarów INS/GPS”

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach oczekiwania w stosunku do systemów nawigacyjnych znacznie wzrosły. Do prowadzenia bezpiecznej nawigacji wymagane jest posiadanie systemów, które niezależnie od zewnętrznych źródeł informacji dostarczać będą ciągłą i bardzo dokładną pozycję. Powszechnie stosowane, dokładne, systemy satelitarne nie mogą spełnić wymogu autonomiczności. Autonomiczne systemy, bazujące na metodzie zliczeniowej, z zadawalającą dokładnością krótkoterminową, nie spełniają niestety wymogów dokładnościowych. Rozwiązaniem tego problemu jest łączenie systemów w jeden spójny system zintegrowany. Integracja systemów pozycjonujących oraz nawigacyjnych jest jednym z głównych zainteresowań naukowców prowadzących badania nad poprawą dokładności, ciągłości, wiarygodności i niezawodności w procesie wyznaczania pozycji. Potwierdza to aktualność i słusność podjętej tematyki w recenzowanej pracy doktorskiej Pana mgr. inż. Dariusza Tomaszewskiego. Należy podkreślić, że wszystkie poruszane zagadnienia w rozprawie, a w szczególności przedstawione badania weryfikacyjne, mają duże znaczenie naukowe i praktyczne.

2. Układ pracy

Opiniowana dysertacja składa się ze wstępu, sześciu rozdziałów, podsumowania i wniosków, literatury, spisów: tabel rysunków, wykresów i schematów oraz streszczeń w języku polskim i angielskim. Już na samym początku zaznaczę, że w pracy brak jest wykazu stosowanych skrótów i oznaczeń, co znacznie utrudnia zrozumienie, analizę i swobodne poruszanie się po analitycznej części pracy. Wykonanie i umieszczenie takiego wykazu ustrzegło by Doktoranta od popełnienia pomyłek w jednoznacznym oznaczeniu wielu analizowanych wartości i stosowanych zmiennych. Wspomnę jeszcze o tym w dalszej części swojej recenzji.

We wstępie Doktorant dość obszernie wprowadza w problematykę badawczą rozprawy. Opisuje zalety i ograniczenia stosowania systemów satelitarnych. Prezentuje współczesne

wymagania użytkowników powszechnie dostępnych systemów nawigacyjnych, którzy oczekują od tych systemów nie tylko wyznaczenia współrzędnych pozycji ale także dodatkowych informacji takich jak orientacja przestrzenna odbiornika, która może być wykorzystana w wielu algorytmach i aplikacjach nawigacyjnych, oraz dane mapowe pozyskiwane z internetowych baz danych.

We wstępie Doktorant zawarł także główną tezę rozprawy oraz założoną hipotezę. Następnie opisuje zrealizowane zadania. Na kolejnych stronach prezentuje układ pracy.

W rozdziale pierwszym, drugim i trzecim zaprezentowany został stan istniejącej wiedzy. Rozdziały te, nazwane przeze mnie jako „odtwórcze”, według mojej oceny są zbytnio rozbudowane. Nie licząc wstępu, spisu literatury, tabel, rysunków, wykresów i schematów oraz streszczeń zajmują one ok. 40 procent całości pracy.

W rozdziale pierwszym zaprezentowany został system nawigacji satelitarnej GPS. Przedstawiona została struktura systemu, źródła błędów nawigacji satelitarnej oraz sposób wyznaczania pozycji i prędkości odbiornika. Tak jak wspomniałem wyżej, jest to wiedza powszechnie dostępna, bogato opisana w literaturze przedmiotu, co potwierdzone jest także w pracy i według mojej oceny może być znacznie uszczuplona. Nie wpłynie to na wartość dysertacji. Uwaga ta dotyczy także kolejnych dwóch części pracy, czyli rozdziału drugiego i trzeciego.

Rozdział drugi, p.t. „Budowa systemu nawigacji inercyjnej INS”, poza opisem zasady działania oraz budowy systemu, definiuje układy odniesienia w jakich realizowane są wyznaczenia INS, charakteryzuje błędy pomiarowe systemów, opisuje sposoby eliminacji błędów systematycznych, a także prezentuje algorytm wyznaczania pozycji i prędkości.

Rozdział trzeci, zatytułowany „Techniki integracji systemów nawigacji INS/GPS”, poprzez opis ograniczeń systemów satelitarnych i inercyjnych potwierdza potrzebę realizacji integracji tych systemów i przedstawia dwie architektury integracji: luźną oraz ścisłą. Rozdział ten zawiera także opis filtru Kalmana.

Kolejne trzy rozdziały pracy przedstawiają zbudowany, autorski, zintegrowany system nawigacyjny wykorzystywany do pomiarów weryfikujących poprawność przyjętych założeń przy tworzeniu algorytmu integracji systemów pomiarowych.

Rozdział czwarty poświęcony jest opisowi konstrukcji odbiornika INS/GPS. Zawarto w nim także szczegółowe badania dotyczące poszczególnych jego komponentów. To przede wszystkim testy urządzeń oraz prezentacja otrzymanych wyników ze szczegółowym ich opisem. Zauważyłem, że w rozdziale tym brak jest podrozdziału 4.2. Istnieje natomiast podrozdział 4.2.1, który z kolei dzieli się na trzy kolejne podrozdziały. Traktuje to jako zwykłe niedopatrzenie ze strony Doktoranta. Podobnie jak w rozdziale piątym gdzie Doktorant dokonał podziału 5.1.2 tylko na jedną część składową 5.1.2.1. co wydaje się być zbędne przy braku kolejnych części, oraz w rozdziale szóstym gdzie omyłkowo podrozdział 6.4 oznaczony został jako 6.1.

Rozdział piąty to szczegółowy opis opracowanego algorytmu integracji systemów satelitarnego oraz INS. Rozdział ten stanowi główną część rozprawy. Zaproponowano

zastosowanie prostego algorytmu nawigacji inercyjnej AHRS (Attitude and Heading Reference System) przeznaczonego do dynamicznych pomiarów orientacji przestrzennej i kursu jako metody do poprawy początkowej orientacji zewnętrznej urządzenia. W kolejnym etapie opisane zostało działanie systemu zintegrowanego z zaimplementowanym algorytmem opartym na filtrze Kalmana. Bardzo ciekawym rozwiązaniem jest przedstawiony w tym rozdziale algorytm dopasowania pozycji do mapy a następnie prezentacja wyników wyznaczania pozycji zintegrowanego systemu wspomagane algorytmem dopasowania Map Matching (INS/GPS/MM).

Szósty, ostatni rozdział, to przede wszystkim wyniki badań przeprowadzonej analizy porównawczej opracowanych algorytmów wyznaczania pozycji. Doktorant zaprezentował 4 scenariusze testowe różniące się częstotliwością pozyskania pozycji z systemu GPS.

W podsumowaniu i wnioskach, Doktorant przeprowadza szczegółową analizę wykonanych badań. Analizuje końcowe wyniki przeprowadzonych scenariuszy pomiarowych, które dowodzą słuszność postawionych założeń i poprawność opracowanych algorytmów a także stwierdza, że zastosowany w pracy schemat obliczeń znacznie poprawia dokładność tradycyjnie stosowanej nawigacji satelitarnej.

Rozprawę uzupełnia wykaz literatury. Na uwagę zasługuje jej dobór i bogactwo. Spis literatury zawiera 128 pozycji, które są ściśle związane z tematem rozprawy. W tak bogatym zestawieniu znalazłem niestety tylko jedną pozycję literatury, w której doktorant jest współautorem.

3. Ocena rozprawy

Główna teza rozprawy brzmi następująco: „Modyfikacja algorytmów pozycjonowania zintegrowanego, opartego na wykorzystaniu średniej klasy sensorów inercyjnych typu MEMS, pozwoli na poprawę dokładności rozwiązania nawigacyjnego względem tradycyjnie wykorzystywanych metod”. Hipoteza zakłada, że nawet przy znacznym zmniejszeniu liczby obserwacji GPS, możliwe jest utrzymanie odpowiedniej dokładności nawigacji poprzez zastosowanie integracji wyników otrzymanych ze zbudowanego systemu zintegrowanego INS/GPS z wynikami algorytmu przyciągania pozycji do wybranych typów elementów mapy wektorowej. Zgodnie z metodologią badań postawiona teza powinna być zdaniem zawsze prawdziwym, niezależnie od dokonanych w nim uwarunkowań. To główne przesłanie pracy. Dlatego też moim zdaniem teza powinna być lekko zmodyfikowana i powinna brzmieć: „Modyfikacja algorytmów pozycjonowania zintegrowanego, opartego na wykorzystaniu średniej klasy sensorów typu MEMS, poprawia dokładność rozwiązania nawigacyjnego względem tradycyjnie wykorzystywanych metod”. Hipoteza zaś to przypuszczenie lub domysł dotyczące jakiegoś zjawiska, podlega udowodnieniu lub obaleniu. W mojej ocenie została ona sformułowana prawidłowo.

We wstępie Doktorant wspomina, że w celu weryfikacji tak postawionej tezy oraz rozwiązania z tym idących problemów badawczych dokonuje szereg eksperymentów, testów

i analiz. W pracy nie ma jednak jednoznacznie wyartykułowanych problemów badawczych a także zastosowanych metod badawczych. W kolejnych zdaniach we wstępie autor wspomina o etapach prowadzonych badań. Można się domyślać, że są to problemy badawcze podlegające rozwiązaniu i które z powodzeniem zostały zrealizowane. We wstępie także opisane zostały kolejne zadania (strona 8), począwszy od budowy systemu nawigacji zintegrowanej, poprzez opracowanie algorytmów wyznaczania pozycji w nowym systemie integrowanym i kończąc na wykorzystaniu algorytmu MM do poprawy dokładności prowadzenia nawigacji. Domyślam się, że mogą to być cele cząstkowe pracy, których doktorant również jednoznacznie nie określił w części wstępnej. O celach pracy wspomina natomiast przy opisie poszczególnych rozdziałów ale ich jednoznacznie nie formułuje. W podsumowaniu i wnioskach kończących pracę Doktorant wspomina o głównym celu rozprawy, który brzmi prawie identycznie jak temat. Cytuję: „Głównym celem pracy było doskonalenie pozycjonowania poprzez zastosowanie integracji systemów satelitarnych z systemami inercyjnymi”. Uważam, że cel główny pracy a także cele cząstkowe powinny być jasno i precyzyjnie sformułowane we wstępie. Wszystko powinno korespondować z genezą pracy aby Doktorant wiedział co chce osiągnąć realizując pracę.

Sposób rozwiązywania problemów, przedstawienie ich w treści rozprawy oraz liczba wykorzystanych źródeł świadczy o bardzo dobrej znajomości poszczególnych zagadnień przez Doktoranta. Do najważniejszych osiągnięć doktoranta należy zaliczyć:

- budowę platformy pomiarowej systemu nawigacji zintegrowanej INS/GPS,
- opracowanie algorytmów integracji danych nawigacyjnych,
- weryfikacja przyjętego algorytmu określania orientacji zewnętrznej zbudowanego systemu,
- opracowanie algorytmów wyznaczania pozycji zbudowanego systemu opierającego się na dopasowaniu pozycji do elementów mapy,
- opracowanie scenariuszy testowych i przeprowadzenie szczegółowych testów sprawdzających przyjęte założenia i opracowane algorytmy.

4. Uwagi krytyczne

Brak wykazu skrótów i oznaczeń stosowanych w pracy jest według mojej oceny pewnym mankamentem. Muszę przyznać, że sprawdzenie pracy technicznej, z dużą liczbą wzorów i rozważań analitycznych, bez takiego wykazu jest bardzo uciążliwe. Oznaczenia w pracy powinny być jednoznaczne, co należy rozumieć, że każdy symbol w rozprawie powinien mieć to samo znaczenie.

Uwagi do pracy:

- W nawigacji do oznaczenia długości geograficznej stosowany jest symbol λ . Symbol ten w pracy oznacza raz długość fali nośnej (np. wzór 1.3), innym razem długość geodezyjną.

- We wzorach 1.16, 1.18 oraz 2.27 błędnie opisano oznaczenia φ i λ jako długość i szerokość geodezyjna – powinno być odwrotnie, szerokość i długość geodezyjna.
- We wzorze 1.3 litera N – opisana została jako „nieoznaczoność”. Winno być „początkowa nieoznaczoność pomiaru fazy”. W innym miejscu, we wzorze 2.2, N oznacza próbkę sekwencji białego szumu.
- W Rozdziale 5 na str. 12, literą B oznaczono „wielkość magnetycznej sfery” (opis wzoru 5.1). Nie spotkałem się z takim pojęciem. Proszę o wytłumaczenie tego zagadnienia. Jeżeli analizujemy pole magnetyczne to mamy do czynienia generalnie z dwoma podstawowymi wielkościami: z indukcją magnetyczną, oznaczaną właśnie literą B oraz z natężeniem pola magnetycznego oznaczanym literą H. Następnie w podrozdziale 5.2.1 dotyczącym modelu predykcji algorytmu integracji zgodnie z teorią filtracji Kalmana literą B oznaczona została macierz wprowadzająca wielkości pomiarowe IMU do predykcji. Jest to przykład kolejnej nieścisłości w oznaczeniach.
- W pracy, w ramach jednego rozdziału lub podrozdziału, autor często stosuje zamiennie skróty i pełne nazwy np. satelity lub SV (Satellite Vehicle), Filtr Kalmana lub KF itp. Należy konsekwentnie używać jedną z form. Osobiście skłaniałbym się do używania pełnej nazwy.
- W podrozdziale 2.2.1 oraz 2.2.2 definiując układy współrzędnych, autor w punkcie pierwszym podaje: „środek układu w środku mas ziemskich”. Powinno być: środek układu w środku mas Ziemi.
- W pracy wielokrotnie wspomina się o układzie UTM. (np. str. 47, podrozdział 2.2.3). należy podać rozwinięcie skrótu przy pierwszym jego użyciu - Universal Transverse Mercator.
- Na stronie 7 oraz 14 nie powinno używać się stwierdzenia: „wykonanie nawigacji w terenach o ograniczonej widoczności satelitów”. Należy pamiętać, że nawigacja to proces, tak więc powyższe zdanie powinno brzmieć: „prowadzenie nawigacji w rejonach o ograniczonej widoczności satelitów”.
- Wykres zamieszczony na rysunku 2.5, opisany jako „Interpretacja wykresu logarytmicznego wariancji Allana. Opracowanie własne.” znajduje się w dwóch pozycjach literatury:
 - Yueming Zhao, GPS/IMU Integrated System for Land Vehicle Navigation based on MEMS, 2011; wykorzystywanej w pracy;
 - Standard Specification Format Guide and Test Procedure for Single-Axis Interferometric Fiber Optic Gyros, Annex C. IEEE, 2003; pozycja nie ujęta w spisie literatury.

Należy poprawić źródło rysunku lub podać, że został on opracowany na podstawie konkretnego rysunku źródłowego.

- W spisie literatury nie znalazłem pozycji: Rapiński J., Tomaszewski D., Kowalski M. (2014). Analysis of the code and carrier phase measurements performed with LEA-6T GPS receiver. Odwołania do tej pozycji Doktorant powinien zamieścić w rozdziale 4. Dotyczy to rysunków 4.9 i 4.10 a także wykresu 4.4, które powtarzają się w ww. pozycji.
- Pozycja literatury: Tomaszewski D., Rapiński J., Smieja M. (2015). Analysis of the noise parameters and attitude alignment accuracy of INS conducted with the use of MEMS - Based Integrated Navigation System. Acta Geodynamica et Geomaterialia 12 powinna być w kilku miejscach wskazana jako źródło. Dotyczy to podrozdziału 4.2.1.2 a w szczególności wykresów 4.7 i 4.8 oraz tabel 4.8 i 4.9.
- Na wykresach 4.7 oraz 4.8, w opisie osi, czas uśredniania powinien być podany w sekundach a nie w godzinach.
- Pomimo bogatej i imponującej literatury przedmiotu wykorzystanej w pracy oraz zaprezentowanej w spisie literatury, nie znalazłem w niej pozycji: Balazadegan Sarvrood, Y., Amin, M. N. (2011). Server Based Real Time GPS-IMU Integration Aided by Fuzzy Logic Based Map Matching Algorithm for Car Navigation (Dissertation). <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-41263>. Autor wskazanego opracowania prowadził badania nad systemami GPS-IMU wspomaganymi metodami Map Maching, Wyniki jego badań w rejonach mocno zurbanizowanych oraz wiejskich mogą stać się istotne w sensie doskonalenia metod wyznaczenia pozycji systemów zintegrowanych. Ze względu na podobieństwo poruszanych problemów badawczych obu prac, proszę aby Doktorant zapoznał się z tą pozycją i ustosunkował się do niej podczas obrony. Proszę wskazać różnice opracowanej metodyki badań i prowadzonych analiz oraz porównać otrzymane wyniki badań.

Powyższe uwagi wymagają wyjaśnienia. Nie obniżają one jednak wartości merytorycznej oraz metodologicznej recenzowanej dysertacji. Wyniki prowadzonych badań zostały bardzo dobrze udokumentowane co jest oznaką dogłębnej i wieloaspektowej znajomości przez autora poruszanych zagadnień. Rozprawę doktorską mgr. inż. Dariusza Tomaszewskiego oceniam pozytywnie.

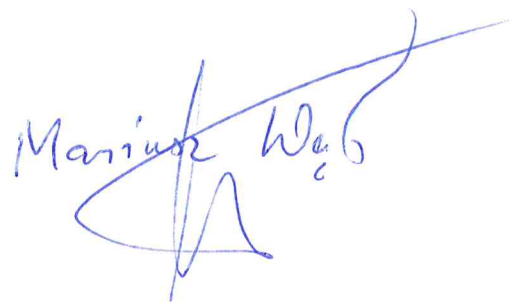
4. Wniosek końcowy

Prezentowana rozprawa doktorska jest wartościowa pod względem naukowym oraz kompletna pod względem treści. Sposób opracowania poszczególnych zagadnień przez Doktoranta jest oryginalny i stanowi znaczący dorobek naukowy Autora. Doktorant wykazał się dojrzałością

naukową i samodzielnością oraz szeroką wiedzą z obszaru rozwiązywanych zagadnień teoretycznych.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Dariusza Tomaszewskiego spełnia wymogi stawiane przed rozprawami doktorskimi 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) oraz w ustawie o zmianie ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz zmianie niektórych innych ustaw (Dz. U. Nr 84, poz 455) i wnioskuję o jej przyjęcie oraz dopuszczenie do publicznej obrony.

Mariusz Węgr

A handwritten signature in blue ink, consisting of the name 'Mariusz Węgr' followed by a stylized, cursive flourish that extends upwards and to the right.