

dr hab. inż. Marek Przyborski, prof. nadzw. PG

Gdańsk 20.08.2017 r.

Katedra Geodezji

Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

Politechnika Gdańska

*Recenzja Wydziału 19.08.2017*

DZIEKAN  
Wydziału Geodezji, Inżynierii  
Przestrzennej i Budownictwa  
dr hab. inż. Paweł Wielgosz, prof. UWM

**KATEDRA GEODEZJI**  
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska  
Politechnika Gdańska  
ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk  
tel. 58 347 19 89, tel./fax 58 347 20 37  
www.gdansk.geodezja.pl, mail: gdanek@geodezja.pl

## Recenzja

Rozprawy doktorskiej mgr. inż. Dariusza Tomaszewskiego

Pt. „**Doskonalenie metod pozycjonowania z wykorzystaniem zintegrowanych pomiarów  
INS/GPS**”

### 1. Podstawa formalna

Podstawą formalną recenzji jest pismo Pana Dziekana Wydziału Geodezji, Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa dr hab. inż. Pawła Wielgosza, prof. UWM.

### 2. Przedmiot pracy

Temat rozprawy doktorskiej wybrany przez doktoranta dotyczy zagadnień integracji danych nawigacyjnych pozyskiwanych z różnych systemów. Zagadnienie integracji systemów jest bardzo istotnym tematem prowadzonych współcześnie badań na całym świecie. W pracy doktorant skupił się na dwóch systemach INS oraz GPS. Ogromny postęp jaki obserwujemy w dziedzinie układów elektronicznych powoduje, że do niedawna bardzo kosztowne układy sensorów inercyjnych stają się coraz bardziej dostępne i znajdują swoje zastosowania w np.: wielu współczesnych tzw. „smartfonach”.

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie  
Dziekan Wydziału Geodezji,  
Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa

Wpłynęło  
dnia 01-09-2017

L.dz .....  
podpis osoby  
przyjmującej *M. Łukas*

Teza, którą założył autor jest „stwierdzenie, że modyfikacja algorytmów pozycjonowania zintegrowanego, opartego na wykorzystaniu średniej klasy sensorów inercyjnych typu MEMS, pozwoli na poprawę dokładności rozwiązania nawigacyjnego względem tradycyjnie wykorzystywanych metod”.

Jednym z problemów badawczych (nazwanych przez autora hipotezą) jest wykazanie, że „nawet przy znacznym zmniejszeniu liczby obserwacji GPS, możliwe jest utrzymanie odpowiedniej dokładności nawigacji poprzez zastosowanie integracji wyników otrzymanych ze zbudowanego systemu zintegrowanego z wynikami algorytmu przyciągania pozycji do wybranych typów elementów mapy wektorowej”.

W części praktycznej pracy przedstawionych zostało kilka eksperymentów mających na celu weryfikację przedstawionej na wstępie tezy. Podsumowanie i wnioski kończące rozprawę, syntetycznie opisują uzyskane wyniki a jako konkluzję doktorant podaje, że „Otrzymane wyniki pozwalają stwierdzić, że zaproponowany odbiornik, znacznie lepiej niż standardowa nawigacja satelitarna, poradzi sobie z określeniem współrzędnych poruszającego się samochodu pod mostami, w tunelach lub na terenach silnie zurbanizowanych. Kolejne badania wskazały, że wykorzystanie algorytmów dopasowania pozycji do mapy pozwala na stabilizację pozycji oraz utrzymanie błędów pozycjonowania na odpowiednim poziomie, pomimo ograniczonej widoczności satelitów GPS.”. Lekki niedosyt budzi określenie „nawigacja satelitarna, poradzi sobie” odbiegające od standardów oceny i opisu technicznego.

### 3. Układ pracy

Zaproponowany przez autora układ pracy składa się z Wstępu, 6 rozdziałów oraz Podsumowania i Wniosków, Spisu Literatury, Spisów Rysunków, Tabel i schematów jak również streszczeń w językach polskim i angielskim. Łącznie praca zawiera 218 stron. We Wprowadzeniu do rozprawy autor przedstawił tematykę swojej pracy. Rozdział 1, 2 i 3 zawierają opisy teoretyczne wykorzystanych przez autora systemów. Rozdział 4 zawiera opis zbudowanego przez autora do celów realizacji rozprawy odbiornika zintegrowanego. Rozdział 5 zawiera zaimplementowany przez autora algorytm integracji danych pochodzących z systemów GPS/INS. Rozdział 6 zawiera analizę porównawczą opracowanych algorytmów pozycjonowania.

Podsumowanie zawiera wnioski wynikające z przeprowadzonych przez autora w pracy rozważań i stanowi logiczną całość.

#### **4. Literatura**

Spis literatury zawarty w rozprawie zawiera 129 pozycje. Wszystkie pozycje są aktualne a ich dobór nie budzi zastrzeżeń. Jedną z nich jest artykuł doktoranta opublikowany w czasopiśmie z listy A MNiSW.

#### **5. Ocena formalnej strony pracy**

##### **5.1. Poprawność językowa**

Praca zawiera nieliczne błędy językowe, które zostały przekazane autorowi w postaci osobnego wykazu. Należy jednak zaznaczyć, że nie wpłynęły one na ocenę merytoryczną dokonań autora.

##### **5.2. Technika pisania pracy**

W pracy autor wzbogacił opis przeprowadzonych doświadczeń i analiz wieloma rysunkami, schematami blokowymi. Wadą schematów blokowych utrudniającą niekiedy ich odbiór jest niekorzystanie przez autora z przyjętych ogólnie standardów ich notacji. Należy jednak podkreślić, że praca jest opracowana starannie, wspomniane błędy językowe w notacji nie wpływają na jakość merytoryczną pracy.

W wielu tabelach (np.5.1, 5.2) doktorant podaje jednostkę prezentowanych danych (stopnie). Tymczasem nie wszystkie kolumny tych tabel zawierają dane opisywane tą jednostką. Można też odnaleźć table (np.4.10) bez podanych jednostek dla prezentowanych w nich danych liczbowych.

W rozdziale 6. opisy osi histogramów są mało czytelne.

##### **5.3. Kompletność pracy**

Praca składa się z Wprowadzenia, 6 rozdziałów, Podsumowania, Spisu Literatury, Wykazów Tabel i Rysunków oraz Streszczeń. Kompletność pracy uzupełniłyby spisy skrótów i symboli oraz zmiennych użytych w pracy.

Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65,poz. 595, z późn. zm.) dopuszcza zamieszczenie w rozprawie doktorskiej streszczenia w języku angielskim, doktorant zadbał o ten fragment pracy przyczyniając się do podniesienia wartości pracy.

Praca przedstawia zagadnienie integracji GPS/INS w sposób kompleksowy, począwszy od budowy urządzenia i analiz poprawności działania jego komponentów,



przez opis zaimplementowanych algorytmów, zakończywszy na prezentacji wyników nawigacji zintegrowanej i ich analizie.

## 6. Ocena merytorycznej wartości pracy

Proponowana przez autora metoda integracji INS/GPS oraz przygotowana przez niego konstrukcja modelu odbiornika doskonale wpisują się w nurt badań prowadzonych w tym zakresie na całym świecie.

W pracy wyróżnić można trzy zasadnicze jej części:

- budowa zintegrowanego odbiornika INS/GPS
- opracowanie algorytmów integracji danych
- badanie wyników nawigacji zintegrowanej.

Znaczną część pracy stanowi przedstawienie istniejącego stanu wiedzy nt. systemów: nawigacji satelitarnej, inercyjnych i algorytmów integracji (rozdziały 1, 2 i 3). Ta część rozprawy mogłaby być skrócona bez straty dla wartości całej pracy. Autor nie wskazał bezpośrednio celów szczegółowych swojej rozprawy pozostawiając problem ich odnalezienia w pracy czytelnikowi. Niemniej jako cele szczegółowe można wskazać: zbudowanie i przetestowanie elementów systemu nawigacji zintegrowanej, opracowanie algorytmów integracji oraz analizę wyników autorskiego systemu.

Na zwrócenie uwagi zasługuje fakt samodzielnego stworzenia narzędzia do nawigacji zintegrowanej (rozdział 4). Wymagało to poszerzonej wiedzy z zakresu informatyki, przetwarzania danych oraz zagadnień elektroniki. Szkoda, że wybór konkretnych modeli modułów GPS i IMU projektowanego systemu nie został uzasadniony w sposób satysfakcjonujący – autor nie podaje w sposób jednoznaczny wymagań dokładnościowych stawianych poszczególnym komponentom.

Zastanawiającym jest również poprawność użycia określenia „błąd” przy opisie osi pionowych wykresów: 4.10,4.11,4.12.

Zaprojektowany algorytm integracji bazuje na głównych założeniach integracji luźnej INS/GPS i opiera się na filtracji Kalmana (rozdział 5.). Klasyczne rozwiązanie oparte na matematycznym modelowaniu błędów wewnątrz modelu predykcji zostało tutaj zastąpione wielkościami pomierzonymi przez zespół sensorów. Poglądowo algorytm przedstawiono na schemacie 5.1. Rozszerzeniem algorytmu zaproponowanego przez doktoranta jest kaskadowe zastosowanie filtru opartego na idei filtracji Kalmana w celu zintegrowanie INS/GPS i MapMatching (MM) – schemat 5.3.

Zaproponowane przez doktoranta rozwiązania zostały przez niego przetestowane praktycznie (rozdział 6.) – wykonał on przejazdy testowe samochodem z zamontowanym autorskim systemem i odbiornikiem referencyjnym. Jako odbiornik referencyjny wykorzystany został geodezyjny odbiornik JAVAD ALPHA. Testy zostały przeprowadzone w 4 przyjętych przez autora scenariuszach przewidujących różne warunki początkowe i parametry działania systemu.

Osiągnięte i opisane rezultaty pozycjonowania INS/GPS oraz INS/GPS/MM pokazują zasadność wykorzystania sensorów IMU typu MEMS. Niedosyt budzi jedynie brak precyzyjnego zdefiniowania przez autora wymagań technicznych i dokładnościowych co do systemu i porównania ich z osiągniętymi wynikami.

## 7. Podsumowanie

Podjęty przez autora temat jest bardzo istotny z punktu widzenia dalszego rozwoju systemów integrujących różne źródła danych. Bardzo cennym elementem pracy jest analiza zgromadzonych danych oraz opracowanie praktycznej implementacji odbiornika. Ten element zdecydowanie podnosi wartość rozprawy. Prace w tym kierunku mają ogromny wpływ na inne dziedziny nauki i techniki, żeby tylko wspomnieć pojazdy bezzałogowe czy też tak „modne” ostatnio samochody autonomiczne poruszające się bez kierowcy. W dniu publicznej rozprawy proszę doktoranta o odpowiedź na poniższe pytania:

- Czym są terminy: teza oraz hipoteza, i czy możemy stosować te określenia zamiennie?
- W jaki sposób definiujemy problem badawczy?.
- Czy odchylenie standardowe i wariancja wyrażane, są tą samą jednostką?

Reasumując recenzowana rozprawa doktorska wpisuje się w aktualną problematykę naukową związaną z badaniami nad systemami GNSS. Przedstawione w pracy wyniki mają znaczenie praktyczne. Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Dariusza Tomaszewskiego pt. „Doskonalenie metod pozycjonowania z wykorzystaniem zintegrowanych pomiarów INS/GPS” spełnia wymagania Art. 13.1 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm). Praca potwierdza posiadanie przez doktoranta wiedzy teoretycznej w dyscyplinie naukowej geodezja i kartografia oraz umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Wnoszę o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony, jednocześnie wnoszę o nadanie Panu mgr. inż. Dariuszowi Tomaszewskiemu stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie geodezja i kartografia.

KIEROWNIK KATEDRY

*Przyborski*  
dr hab. inż. Marek Przyborski  
prof. nadzw. PG