Warszawa, 2.07.2019 r.

prof. dr hab. inż. Wiesław BARNAT, EMBA
Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego
Wydział Mechaniczny
00-908 Warszawa
ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2

RAU
Biuro Dziekana
Wpłynęło dnia 10.07.2019
Nr 703 / zał. .....

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Iwaneczko

zatytułowanej:

Zastosowanie czujników bezwładnościowych w nawigacji osób pieszych

1. Podstawa formalna wykonania recenzji

Pismo Dziekana Wydziału Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej, prof. dr hab. inż. Adama Czornika, datowane 13.05.2019 (L.dz. RAu/838/2018/2019).

2. Charakterystyka ogólna

Recenzowana rozprawa jest podzielona na wstęp, 5 rozdziałów z zakończeniem, spis literatury oraz trzy załączniki. Praca została zawarta na 173 stronach maszynopisu. Praca zawiera tabele, rysunki oraz 166 cytowanych pozycji bibliograficznych.

Rozprawa poświęcona jest badaniom przydatności zastosowania czujników bezwładnościowych oraz czujników nacisku na określenie położenia osoby w budynku.

Doktorant przyjął, że krytyczną technologią w pracy są same czujniki bezwładnościowe, które są bardzo wrażliwe na zmianę przyspieszenia, prędkości kątowej oraz pola magnetycznego. Podczas wyznaczania orientacji oraz położenia obiektu korzystając z czujników IMU Doktorant wykorzystywał algorytmy całkowania, czego skutkiem jest gromadzenie się dużej ilości błędów. Błędy te Doktorant minimalizował za pomocą różnego rodzaju algorytmów optymalizacji oraz filtracji danych. Według doktoranta bezpośrednią przyczyną błędów jest kumulacja błędu zera i powstawanie tak zwanego dryftu, spowodowana stosowaniem nisko-

kosztowych sensorów MEMS. Błędy dotyczą także wyznaczonej orientacji spowodowanej zakłóceniami pola magnetycznego pochodzącymi z otoczenia.

Doktorant przyjął następujące założenia w pracy doktorskiej:

- propozycja kilku algorytmów zliczania położenia opartego na odometrii,
- wykorzystanie czujników bezwładnościowych IMU wykonanych w technologii MEMS,
- zastosowanie sensorów siły nacisku FSR (ang. Force Sensing Resistor),
- wykorzystanie tras wzorcowych,
- dokładność wyznaczania lokalizacji nie będzie przekraczać jednego metra.

3. Treść rozprawy, ocena merytoryczna i uwagi

Jak już wspomniano praca została zawarta w dziewięciu rozdziałach.

Na początku rozprawy Doktorant umieścił słownik skrótów i oznaczeń.

Rozdział 1 – Wstęp - ma charakter wprowadzenia do zagadnień ogólnych związanych z tematem a w szczególności z genezą tematu pracy oraz założeniami wstępnymi. W rozdziale tym Doktorant określił warunki brzegowe dla wykonywanych badań niezbędnych w celu wyznaczenia poprawnej lokalizacji człowieka wewnątrz budynku:

- znajomość wartości przyspieszenia ziemskiego, która jest zależna od szerokości geograficznej oraz wysokości nad poziomem morza,
- znajomość położenia początkowego wykorzystywanego w algorytmach odometrii,
- wiedza na temat ośrodka w którym człowiek się porusza (np. geometria budynku),
- możliwość mierzenia dokładnego czasu rozpoczęcia i zakończenia kroku (np. za pomocą sensorów siły nacisku FSR).

We wstępie Autor używa nieprecyzyjnych stwierdzeń zamiennie dokładność błąd położenia. Według recenzenta postawiona teza powinna być przedstawiona po przeglądzie literatury. Zdaniem recenzenta Doktorant powinien przedstawić dodatkowo sformułowanie problemu badawczego i celu pracy. Przedstawienie wcześniejsze tezy może być podyktowane wewnętrznymi zwyczajami panującymi na uczelni i uwaga recenzenta ma charakter niewiążący.

Rozdział 2 – zawiera przegląd literatury w zakresie wprowadzenia zdefiniowania zagadnienia nawigacji w literaturze.

Doktorant słusznie zauważył, że pomimo dynamicznie rozwijającej się technologii, na rynku nadal brakuje skutecznych rozwiązań systemów nawigacji dla człowieka poruszającego się pieszo wewnątrz budynku, w przypadku braku dostępu do systemów nawigacji satelitarnej lub radionawigacji korzystającej z technologii RFID. Warto podkreślić, iż systemy lokalizacji RFID są współcześnie wykorzystywane do wyznaczania położenia oraz do nawigacji osób i innych obiektów (np. robotów mobilnych) w pomieszczeniach zamkniętych i wewnątrz budynków z dokładnością nawet do kilku centymetrów. Ceną za to jest ingerencja w strukturę budynku, która polega na rozmieszczeniu w pomieszczeniach odpowiednio gęstej sieci połączonych ze sobą specjalnych radiolatarni.

Doktorant w jasny i zwięzły sposób przedstawił charakterystykę czujników bezwładnościowych. Dodatkowo opisał: filtrację komplementarną, wybrane systemy nawigacji bezwładnościowej, algorytmy wykrycia kroku zaczerpnięte z literatury, algorytmy optymalizacyjne. Rozdział zamyka opis podwójnego całkowania przyspieszenia ziemskiego.

W rozdziale 3 Doktorant przedstawił autorski sposób rozwiązania problemu badawczego oraz algorytm zliczania położenia, algorytm wykrycia kroku i algorytmy optymalizacyjne.

W rozdziale tym przedstawiono model budynku, w którym poruszał się obiekt.

Doktorant przyjął algorytm zliczania położenia obiektu badanego w pracy został zaprojektowany tylko z wykorzystaniem danych uzyskanych z czujnika bezwładnościowego IMU oraz czujników siły nacisku FSR. Proponowany algorytm różni się od algorytmów opisanych w przeglądzie literatury zastosowaną metodą wykrycia kroku oraz sposobem optymalizacji wyników – recenzentowi umknęły różnice pomiędzy ww. Proszę na obronie przedstawić w sposób zwięzły wyżej wspomniane różnice z uzasadnieniem wyboru.

W rozdziale 3 przedstawiono algorytm wykrycia kroku za pomocą metody SDFP. W algorytmie tym obiekt stawiał stopy na tzw. „pięty". Czy przewidziana jest w dalszych badaniach ocena sposobu stawiania stopy w zależności od podłoża?

Podczas badań nad systemem nawigacji bezwładnościowej Doktorant zastosował szereg optymalizacji mających na celu poprawę wyników badań. Należą do nich między innymi takie modyfikacje jak:

- wyznaczenie średniego przyspieszenia początkowego,
- filtracja górnoprzepustowa i dolnoprzepustowa,
- eliminacja dryftu przesunięcia,
- algorytmy kwantyzacji położenia.

Które z powyższych zadaniem Doktoranta są istotne z punktu widzenia zastosowanych badań?

Rys 3.5 - celowym jest powiększenie rysunku i omówienie różnicy pomiędzy trasą referencyjną a trasą wyznaczona poprzez czujniki w czasie eksperymentu.

W rozdziale 4 Doktorant przedstawił sposób konfiguracji aparatury testowej w skład, której wchodzi obuwie z czujnikami bezwładnościowym i nacisku oraz oprogramowanie do obróbki sygnałów pochodzących z ww.

Zdaniem recenzenta rozdział 5 *Testy weryfikujące postawioną tezę* powinien nazywać się inaczej np. badania systemu określającego położenie osób pieszych w budynkach.

Czy podczas dokonania pomiarów były rozpatrywane powtarzalność obiektu badań (człowieka) jego masy ciała, prędkości poruszania się właściwości psychofizycznych?

Proszę omówić o ile została poprawiana możliwość poprawy położenia badanego obiektu poprzez zastosowanie czujnika lędźwiowego IMU opisanego w rozdziale 5.5.2.

W ostatnim 6 rozdziale dokonano podsumowania pracy w postaci wniosków.

Na podstawie uzyskanych wyników analizowanych tras wewnątrz budynku Politechniki Śląskiej Doktorant wysnuł wniosek, że niezależnie od stosowanej metody optymalizacji, najlepszą metodą wykrycia kroku, która pozwala na uzyskanie najmniejszych błędów położenia i dystansu została metoda SDFP, zaproponowana przez Autora pracy doktorskiej, polegająca na analizie przebiegu pięciu sensorów siły nacisku FSR. Doktorant słusznie stwierdził, że bez zastosowania metod optymalizacji i ograniczenia położenia końcowego błędy uzyskiwane przez algorytm odometrii znacząco przekraczają założoną dokładność jednego metra. Dopiero wyniki uzyskane dla zastosowanych optymalizacji algorytmem BSVM oraz metodą BSCD, przynoszą akceptowalne rezultaty końcowego błędu położenia |ep(n)| oraz sumarycznego wskaźnika, jakości dla położenia i dystansu RMSEA, jednakże

dokładność wyznaczania położenia mniejszą niż założona wartość jednego metra może być uzyskana nawet przy zastosowaniu metody optymalizacji HHR.

Celowym byłoby zaznaczenie statusu podrozdział w zamieszczonych na końcu rozprawy: kalibracja czujnika IMU, podstawowe operacje na kwaternionach, idea działania filtracji komplementarnej, jako załączników lub połączenie ww. z rozdziałem 5.

4. Wniosek końcowy

Omówione w rozprawie zagadnienia są bardzo ważne z punktu widzenia bezpieczeństwa żołnierzy poruszających się w pomieszczeniach zamkniętych. Rozprawa mieści się w obszarze zastosowania technologii podwójnego zastosowania w obszarze bezpieczeństwa i obronności państwa. Celowym jest zastrzeżenie niektórych wrażliwych parametrów oraz opisu zastosowanych rozwiązań w formie np. patentu.

Doktorant wywiązał się z realizacji założonej tezy rozprawy. W trakcie jej wykonania wykazał się samodzielnością i umiejętnością twórczego myślenia w obszarze analizowanych zjawisk.

Zawarte uwagi nie podważają w niczym osiągnięć Doktoranta, a jedynie mogą być wskazówką do dalszych prac nad rozwojem zaproponowanego podejścia.

Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Pawła Iwanczenki zatytułowana: „Zastosowanie czujników bezwładnościowych w nawigacji osób pieszych" spełnia wymagania odnośnej Ustawy.

Mając powyższe na uwadze wnioskuję do Wysokiej Rady Wydziału Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej o dopuszczenie Autora rozprawy, mgr inż. Pawła Iwaneczko do jej publicznej obrony.

W przypadku spełnienia wewnętrznych kryteriów formalnych wnioskuję o wyróżnienie tej rozprawy.

Wiesław Pawłat