

## **Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Pawła Iwanczenki**

Przedmiotem niniejszej recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Pawła Iwanczenki zatytułowana: „*Zastosowanie czujników bezwładnościowych w nawigacji osób pieszych*”. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Aleksander Nawrat, promotorem pomocniczym dr inż. Roman Koteras a przewód zmierza do nadania stopnia naukowego w dyscyplinie naukowej Automatyka i Robotyka. Podstawą formalną do sporządzenia tej recenzji było 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).

Praca jest bardzo ciekawa, wartościowa naukowo i mająca spore znaczenie praktyczne w budowie systemów nawigacji dla osób poruszających się w pomieszczeniach zamkniętych, do których nie docierają sygnały systemów satelitarnych GPS lub GLONASS. Osią koncepcyjną rozprawy jest jej teza, sformułowana następująco:

*Możliwe jest stworzenie systemu nawigacji pieszej, który pracuje w czasie rzeczywistym oraz który wykorzystywałby: czujniki bezwładnościowe IMU, sensory siły nacisku FSR, algorytmy odometrii, informacje o strukturze budynku oraz którego dokładność wyznaczania położenia byłaby mniejsza od jednego metra.*

Teza rozprawy została przez Autora sformułowana bardzo wcześnie (na stronie nr 8 która jest de facto drugą stroną merytorycznej treści rozprawy), co bardzo pochwalam, bo zapoznawszy się z tezą można potem śledzić treść rozprawy, która powinna zmierzać do wykazania prawdziwości tej tezy. Bardzo pochwalam także wyznaczone przez tezę zagadnienie badawcze, które ma duże znaczenie naukowe (dowód, że system nawigacyjny o postulowanej strukturze da się zbudować) i praktyczne (że system ten zapewni określoną, wskazaną w tezie dokładność). Teza jest dobra także z jeszcze jednego punktu widzenia: jest weryfikowalna. Studiując treść rozprawy można się upewnić, że to, co Doktorant zadeklarował w tezie, zostało naprawdę osiągnięte. Dodatkowo można stwierdzić, że ważność i stopień trudności zadania wyznaczonego przez tezę w pełni odpowiada ustawowym i zwyczajowym wymaganiom związanym z dysertacjami na stopień doktora nauk technicznych.

Do tych zdecydowanie pozytywnych merytorycznych ocen tezy opiniowanej rozprawy chciałbym dodać jedną uwagę krytyczną, związaną z formą stylistyczną owej tezy, która (moim zdaniem) szwankuje. W treści tezy dwukrotnie występuje spójnik *oraz* – i w obu przypadkach „zgrzyta”. Dodatkowo dosłowne odczytanie drugiej części tezy może sugerować, że Autor stawia sobie za cel **minimalizację dokładności**, co jest niepoprawne, bo dokładność jest **pozytywną** cechą każdego systemu i należy dążyć do jej **zwiększenia**. Natomiast minimalizować trzeba **błąd** lokalizacji.

Przeczytajmy tezę z wprowadzonymi przeze mnie poprawkami:

*Możliwe jest stworzenie systemu nawigacji pieszej, który pracuje w czasie rzeczywistym i który wykorzystywałby: czujniki bezwładnościowe IMU, sensory siły nacisku FSR, algorytmy odometrii i informacje o strukturze budynku. Błąd wyznaczania położenia przy użyciu tego systemu jest mniejszy od jednego metra.*

Wydaj mi się, że chociaż znaczy dokładnie to samo, co chciał w swojej tezie wyrazić mgr Iwanczenko, ale brzmi lepiej.

Oczywiście powyższa uwaga stylistyczna w najmniejszym stopniu nie umniejsza wartości sformułowanej tezy, a tym bardziej nie rzutuje negatywnie na treść rozprawy, która jest ukierunkowana na dowodzenie słuszności tej tezy. Ale uznałem za stosowne odnotować moje wrażenia w tej szczegółowej kwestii – z czym Doktorant może się zgodzić, albo nie.

Pomijając trzeciorzędne uwagi na temat **brzmienia** tezy rozprawy pragnę stwierdzić (nawiązując do nadesłanego mi wzoru recenzji), że teza rozprawy jest poprawna i oryginalna, zaś w dalszej części recenzji, przy omawianiu kolejnych rozdziałów rozprawy, postaram się również uzasadnić moją opinię, że owa **teza została w pełni wykazana**.

Przechodząc do oceny zawartości pracy odnotuję najpierw bardzo dobrze zredagowany **Wstęp**, do którego nie zgłaszam żadnych uwag merytorycznych. Skrótowno potraktuje także **analizę literatury** zawartą w **rozdziale 2**, zmierzającą do oceny istniejących metod nawigacji i przedstawienia na ich tle metody rozważanej w pracy, a także obejmującą opisy czujników bezwładnościowych używanych w różnych systemach oraz metod filtracji komplementarnej. Rozdział ten zawiera również przegląd systemów nawigacji bezwładnościowej, do których porównać można system zbudowany i przebadany przez doktoranta, a także dyskusję literaturowych algorytmów wykrycia kroku i algorytmów optymalizacyjnych. Na obszernym tle literaturowym przedyskutowano także problem podwójnego całkowania przyspieszenia ziemskiego. Rozdział ten dowodzi, że w obszarze problemowym wybranym jako przedmiot rozprawy Autor posiada obszerną i nowoczesną wiedzę,

zna najnowszą literaturę i mógł przy tworzeniu własnych koncepcji świadomie nawiązywać do analogicznych prac innych autorów. Jako ciekawostkę (nie uwzględnioną w rozprawie) chciałbym od siebie dodać, że zasadę nawigacji opartej na platformie bezwładnościowej IMU stosowano w lądownikach księżycowych (LM) misji Apollo, gdzie z powodzeniem spełniła ona swoją rolę, przyczyniając się do historycznego (50 lat temu!) pierwszego pobytu ludzi na pozaziemskim obiekcie kosmicznym. Być może w którymś z artykułów, które zapewne powstaną na bazie tej ciekawej rozprawy, **przyszły** doktor Iwanczenko wspomni także i o tym.

Moja wysoka i jednoznacznie pozytywna ocena zawartości drugiego rozdziału rozprawy nie zmienia faktu, że jest to rozdział literaturowy, prezentujący wiedzę i erudycję Kandydata, ale nie zwierający Jego własnych osiągnięć twórczych. W związku z tym w ocenie pracy jako rozprawy na stopień naukowy, gdzie głównie liczą się własne dokonania naukowe Doktoranta, rozdział ten trzeba uznać za nie wpływający na końcową ocenę. Natomiast w związku z godną uznania umiejętnością mgra Iwanczenki zbierania i zwartego przedstawiania najistotniejszych elementów rozważanych zagadnień wyrażam opinię, że ta część rozprawy będzie zapewne w przyszłości nieocenionym wręcz źródłem informacji źródłowych dla wielu kolejnych badaczy.

Dokładnie przeciwne właściwości ma kolejny rozdział rozprawy – o numerze 3. Jest to rozdział zawierający opis własnych koncepcji naukowych Autora i z pewnością może być zaliczony do tego typu intelektualnego dorobku mgra Iwanczenki, który da mi podstawy do wnioskowania o nadanie mu stopnia naukowego doktora.

Przy pełnej aprobacie dla zawartości omawianego tu rozdziału muszę stwierdzić, że jego tytuł jest trochę niezgrabny (moim zdaniem), bo nie wiadomo, jaki **problem** Autor chce rozwiązać? Wydaje mi się, że na przykład taki tytuł: **Koncepcja proponowanego systemu nawigacji pieszej** byłby bardziej czytelny i lepiej by nawiązywał do sformułowanej wcześniej tezy rozprawy. Ale abstrahując od tytułu – jak już napisałem - treść rozdziału jest na wysokim poziomie naukowym i zyskuje moją zdecydowaną pozytywną opinię. Wysoko oceniam zaproponowany przez Doktoranta algorytm odometrii (zliczania położenia), który nawiązuje do rozwiązań proponowanych już w pracach innych autorów, ale zawiera także elementy oryginalne. Pozytywnie oceniam także algorytm wykrycia kroku opracowany bardzo starannie przez mgra Iwanczenko oraz pomysłowe algorytmy optymalizacyjne.

W kontekście celu rozprawy ważnym składnikiem rozważań są modele budynków. Doktorant wprowadza w omawianym tu rozdziale swoją koncepcję wykorzystania takich modeli,

przedstawioną schematycznie na rysunku 3.6, którą osobiście zdecydowanie pochwalam i uważam za bardzo pomysłową.

Podsumowując tę część opinii uważam, że mgr inż. Paweł Iwanczenko w omówionym wyżej rozdziale 3 przedstawił swoją własną, kompletną i w dużej mierze oryginalną koncepcję systemu nawigacji pieszej, dowodząc w ten sposób pierwszej części tezy swojej rozprawy – tej, która mówi, że taki system jest możliwy do zaprojektowania.

Dla udowodnienia drugiej części tezy, w której deklarowane są określone właściwości tego systemu, konieczne było jego zbudowanie modelowego systemu, na którym można by było przeprowadzić stosowne eksperymenty. Opis elementów tego modelowego rozwiązania zawarty został w rozdziale 4. Opisano wykorzystywany w testach model specjalnego obuwia (nazwa „prototyp” jest tu chyba nieodpowiednia), opisano czujnik bezwładnościowy oraz przedstawiono używane oprogramowanie (aplikacja „*Project SYBIL*”, jak rozumiem stworzona przy istotnym udziale Autora rozprawy – chociaż nie znalazłem w pracy jednoznacznej informacji na ten temat). Wszystkie opisane elementy poznawałem podczas lektury pracy z dużym uznaniem, doceniając duży wkład Doktoranta w konstrukcję odpowiednich urządzeń i programów oraz oryginalność pomysłów i rozwiązań szczegółowych, które wystawiają magistrowi Iwanczenko bardzo dobre świadectwo jako bardzo twórczemu inżynierowi. Ta część pracy jest z pewnością dokumentacją znaczącego **osiągnięcia technicznego** Doktoranta i chociaż „czystej nauki” jest w tym niewiele – zdecydowanie przyczynia się to do mojej pozytywnej oceny rozprawy w kontekście nadania stopnia naukowego w dziedzinie nauk **technicznych**.

Ważnym elementem opiniowanej rozprawy były testy weryfikujące postawioną tezę. Zostały one opisane w **piątym** rozdziale rozprawy, który – podobnie jak rozdział 4 - robi także bardzo dobre wrażenie podczas czytania. Trzeba przyznać, że Autor bardzo profesjonalnie podszedł do swego zadania, gdyż na przykład przy badaniu algorytmów wykrywania kroków swoje dwa algorytmy porównał z aż sześcioma algorytmami zaczerpniętymi z literatury. Przytoczono wyniki testowania w postaci wykresów wartości długości wektora przyspieszeń (surowego oraz filtrowanego) a także graficzne prezentacje wyników działania algorytmu pokazujące (w postaci umownej fali prostokątnej) fakt wykrycia kroku przez rozważany algorytm. Wykresy te, jak również towarzyszące im komentarze Doktoranta, pokazują, że proces testowania został w tym przypadku potraktowany bardzo profesjonalnie.

Dobre wrażenie robi także dalsza część analizy, w ramach której mgr Iwanczenko określał dla poszczególnych metod wykrywania kroków wartości błędu RMSE przy wykonywaniu testowych

przemarszów na różnych trasach (bardzo efektownie prezentowanych w pracy). Badania prowadzone były na różnych trasach wewnątrz budynku i na różnych trasach na zewnątrz. Zostały zastosowane różne wskaźniki jakości pozwalające na porównanie rozważanych algorytmów z punktu widzenia różnych kryteriów. Pokazano również bardzo efektownie, jak różne algorytmy wyznaczania kroków odtwarzały rzeczywistą drogę osoby przemierzającej określoną trasę na zewnątrz budynku, w poziomie wewnątrz budynku oraz w przestrzeni trójwymiarowej wewnątrz budynku. Przytoczone wyniki oceniam jako bardzo ciekawa i wnoszące dużo nowej wiedzy do problematyki nawigacji osób pieszych. W szczególności za cenne i ciekawe uważam wyniki pokazujące rolę algorytmów optymalizacji, zwłaszcza tych, które wykorzystują model budynku.

Oddzielnym problemem, który przebadano, była eliminacja zakłóceń pola magnetycznego. Zakłóceń tych w budynkach jest bardzo dużo więc zagadnienie eliminacji ich wpływu jest naprawdę niebanalne. Mgr Iwanczenko najpierw zajął się wykryciem zakłóceń ziemskiego pola magnetycznego, potem omówił wykorzystanie dodatkowego czujnika IMU, rozważył zastosowanie różnych filtrów komplementarnych, a na koniec przeprowadził analizę powtarzalności wyników i porównanie z innymi czujnikami IMU. Wszystkie badania starannie przeprowadzono, dokładnie opisano, odpowiednio przeanalizowano i przedstawiono wnioski.

Według mojej oceny wszystkie testy przeprowadzono **wzorowo**. Każdorazowo eksperyment był dokładnie planowany, zbierane dane były poprawnie dokumentowane, a wnioski płynące z eksperymentów były konstruktywne i dobrze uzasadnione konkretnymi wynikami. Naukowa wartość zebranego materiału doświadczalnego jest bezsporna, a jego praktyczna przydatność przy budowie kolejnych wersji systemów nawigacji dla osób pieszych jest wysoce prawdopodobna. Dlatego omówienie piątego rozdziału opiniowanej rozprawy podsumowuję bardzo korzystnym dla Autora wnioskiem, że **niewiele widziałem równie dobrych opisów przeprowadzonych badań**.

Analizując zawartość rozdziału 5. jestem też pod wrażeniem pracowitości Doktoranta. Liczba przeprowadzonych eksperymentów jest ogromna, a ich merytoryczna wartość jest bardzo wysoka. Właśnie za tę skrupulatność badawczą będę na końcu tej recenzji wnioskował o **wyróżnienie** rozprawy.

Pracę wieńczy ładnie sporządzone **podsumowanie**, które zbiera najważniejsze wnioski z przeprowadzonych badań i zmierza do wykazania, że postawiona na początku teza rozprawy została w jej treści całkowicie wykazana.

Bibliografia zamieszczona na końcu pracy obejmuje 166 pozycji dobrze wiążących się z tematyką rozprawy, nowoczesnych i reprezentatywnych dla dziedziny, w której praca jest ulokowana.

Pracę uzupełniają trzy dodatki: Pierwszy dotyczy kalibracji czujnika IMU, drugi – operacji na kwaternionach, a trzeci idei działania filtracji komplementarnej. Są one poprawne i potrzebne w pracy, natomiast nie stanowią poszerzenia oryginalnych elementów pracy, więc przy formułowaniu wniosku o przyjęcie rozprawy i przyznanie magistrowi Iwanczence stopnia naukowego doktora – nie są one brane pod uwagę.

Podsumowując tę część opinii stwierdzam, że tezę rozprawy sformułowano poprawnie i że wyznacza ona problem naukowy o stopniu trudności i poziomie ważności odpowiadającym ustawowym i zwyczajowym wymaganiom stawianym tezom rozpraw doktorskich. Sposób wykazania prawdziwości tej tezy, zastosowany w opiniowanej pracy, jest poprawny, a starannie dopracowane szczegóły rozważań teoretycznych oraz znakomicie przeprowadzone eksperymenty pozwalają stwierdzić, że opiniowana pracy **z nawiązką** spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, będę więc w końcowym wniosku proponował **wyróżnienie dysertacji i samego Doktoranta**.

Czytając pracę nie napotkałem żadnych godnych odnotowania błędów merytorycznych. Natomiast zauważyłem trochę drobnych usterek redakcyjnych, których nie będę szczegółowo wymieniał, bo usterki te dotyczą spraw nawet nie drugo- ale wręcz trzeciorzędnych, ale które byłoby dobrze poprawić, gdyby Doktorant chciał wydać pracę drukiem (do czego go serdecznie namawiam). Żeby wskazać, o jakich usterekach mówię, przytoczę tu (tytułem przykładu) tylko jedną z nich:

- Na stronie 8 Autor pisze: „*Krytyczną technologią w pracy są same czujniki bezwładnościowe*”. Uważam, że określenie „technologia” jest tu użyte niewłaściwie. Proszę sprawdzić słownikowe objaśnienie tego słowa i skonfrontować je z funkcją, jaką przypisano mu w przywołanym zdaniu.

Generalnie jednak merytoryczna zawartość rozprawy a także jej forma zasługują na pochwałę. Powiem więcej: jest to jedna z lepszych prac, jakie zdarzyło mi się oceniać!

Przeto przechodząc do wniosku końcowego tej recenzji stwierdzam, że opiniowana rozprawa **mgr inż. Pawła Iwanczenki** zatytułowana: „*Zastosowanie czujników bezwładnościowych w nawigacji osób pieszych*” **spełnia wymagania odnośnej Ustawy**. Praca ta może być przyjęta jako rozprawa doktorska, a moja opinia na temat jej wartości naukowej jest **pozytywna**. Dlatego wnioskuję do Wysokiej Rady Wydziału Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej o **dopuszczenie** Autora rozprawy, mgr inż. Pawła Iwanczenki do jej publicznej obrony.

Ponadto z powodów, które były wyżej wymienione, wnioskuję o **wyróżnienie** tej rozprawy.

