

Łódź, 7 maja 2014 r.

Prof. zw. dr hab. inż. Jan Awrejcewicz
Katedra Automatyki, Biomechaniki i Mechatroniki
Wydział Mechaniczny Politechniki Łódzkiej
90-924 Łódź, ul. Stefanowskiego 1/15

Ocena rozprawy habilitacyjnej, dorobku naukowego i dydaktyczno-organizacyjnego dr inż. Andrzeja Burghardta

1. UWAGI WSTĘPNE

Opracowana przeze mnie opinia powstała w wyniku zlecenia nr RM-531-04-02/2014 Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej Profesora Jarosława Sępa z dnia 7 kwietnia 2014 roku.

Opinię tę opracowałem w oparciu o dostarczone mi materiały obejmujące załączoną rozprawę habilitacyjną pt. „Modelowanie i sterowanie formacją robotów”, Kwestionariusz osobowy, Życiorys, Autoreferat, Wykaz opublikowanych prac naukowych, Wykaz pozostałych osiągnięć oraz Kopie wybranych publikacji.

2. ROZPRAWA HABILITACYJNA (OPIS I UWAGI KRYTYCZNE)

2.1 CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Opiniowana rozprawa habilitacyjna składa się z 11. rozdziałów, spisu literatury oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. Rozprawa obejmuje 165 stron, 138 pozycji literatury oraz 103 rysunki.

W **rozdziale 1.** Autor zdefiniował cel i zakres pracy, a następnie opisuje przykładowe rozwiązania oraz możliwe ich aplikacje w odniesieniu zarówno do sterowania pojedynczym robotem mobilnym jak i zespołem robotów.

Rozdział 2 dotyczy wprowadzenia w tematykę budowy mobilnych robotów w ujęciu mechatronicznym. W kolejnych podrozdziałach opisano dostępne narzędzia informatyczne stosowane w projektowaniu robotów oraz układy szybkiego prototypowania. Ponadto poddano ocenie krytycznej wady, zalety oraz istotne zadania związane z implementacją aktorów i sensorów w mobilnej robotyce. Ostatni podrozdział obejmuje najistotniejsze, zdaniem autora, algorytmy sterowania robotem czy formacją robotów ze wskazaniem na możliwości ich implementacji.

Rozdział 3 poświęcony został inteligentnym systemom obliczeniowym (w szczególności sztucznym sieciom neuronowym), układom z logiką rozmytą oraz elementom adaptacyjnego programowania dynamicznego. Poruszone zagadnienia dotyczące elementów sztucznej inteligencji zaprezentowano w aspekcie ich wykorzystania w sterowaniu robotów oraz formacji robotów, a więc zagadnień którym poświęcono pozostałą część monografii.

Rozdział 4 dotyczy realizacji zadania prostego i odwrotnego kinematyki dla pojedynczego robota jak i dla zespołu robotów transportujących obiekt o gabarytach znacznie przewyższających wymiary robotów. Bazując na opisie kinematyki przeprowadzono modelowanie robota mobilnego za pomocą równań Lagrange'a, Appella oraz Maggiego. W celu wyrugowania z otrzymanych równań nieznanymi sił tarcia wykorzystano metodę rzutową. Rozważania przeprowadzono dla mobilnego robota zredukowanego do ramy i dwóch kół napędzających oraz w wersji z uwzględnieniem swobodnego koła podpierającego. Proces modelowania zakończono określeniem wektora parametrów przyjętego modelu realizowanego w procesie identyfikacji przedstawionym w **rozdziale 5**.

W **rozdziale 6** przedstawiono zagadnienia sterowania ruchem nadążnym lidera formacji. Przeanalizowano algorytm adaptacyjny, którego syntezę przeprowadzono w oparciu o model matematyczny prezentowany we wcześniejszym rozdziale. W procesie adaptacji wykorzystano sztuczne sieci neuronowe, bowiem stosowane w praktyce modele matematyczne jedynie w przybliżeniu opisują właściwości sterowanych obiektów. Ponadto, w oparciu o teorię Lapunowa przeanalizowano stabilność zaproponowanych algorytmów.

Zaprezentowane wcześniej algorytmy sterowania nadążnego zostały wykorzystane, jako układ sterowania niskiego poziomu w zaproponowanych w **rozdziale 7**, algorytmach sterowania formacją robotów. W pracy rozważono algorytm wirtualnej struktury oraz algorytm śledzenia lidera.

Rozdział 8, prezentuje algorytmy sterowania behawioralnego realizujące trzy elementarne zachowania: i) podążaj wzdłuż ściany; ii) omijaj przeszkody; iii) osiągnij zdefiniowany punkt w przestrzeni. Zaprezentowane elementarne zachowania zrealizowano z wykorzystaniem algorytmu Braitenberga, logiki rozmytej oraz sieci neuronowej Kohonena. Zaproponowane algorytmy realizujące elementarne zadania wykorzystano w procedurze koordynacji zadań, realizowanej na potrzeby osiągnięcia celu przez mobilny robot w nieznanym środowisku, przeprowadzonej z wykorzystaniem sieci neuronowej Kohonena oraz neuronowego programowania dynamicznego.

Rozdział 9 obejmuje propozycję rozwiązania układu sterowania realizującego zadanie osiągnięcia celu w nieznanym środowisku przez formację robotów. Rozwiązanie takie, dzięki wykorzystaniu własności sieci neuronowych samoorganizujących się pozwala na realizację osiągnięcia celu w środowiskach pracy zawierających przeszkody generujące stabilne i niestabilne minima lokalne. Zaproponowane rozwiązanie zasymulowano w emulatorze pracy mobilnych robotów oraz zweryfikowano w autorskim środowisku kontrolno-pomiarowym przedstawionym w **rozdziale 10**.

Rozdział 11 pracy zawiera wnioski końcowe oraz zaproponowane kierunki dalszych badań.

Prezentowane w rozprawie rozwiązania poparto przykładami zawierającymi wyniki testów numerycznych oraz weryfikacyjnych prac badawczych realizowanych z wykorzystaniem mobilnych robotów AmigoBot.

2.2 UWAGI KRYTYCZNE I OCENA OGÓLNA

Przedstawiona mi do oceny rozprawa/monografia koncentruje się na zagadnieniach sterowania formacją mobilnych robotów kołowych w złożonych przestrzeniach roboczych. W odróżnieniu od powszechnie stosowanych metod opartych na teorii sztucznych pól potencjałowych, Kandydat stosuje algorytm łączący zadania behawioralne przy wykorzystaniu własności sztucznych sieci neuronowych, co pozwala na wyeliminowanie pojawienia się tzw. minimów lokalnych. Ponieważ te ostatnie stanowią istotne i dotąd nie do końca rozwiązane problemy występujące podczas sterowania formacją robotów kołowych, można tutaj dopatrywać się wkładu naukowo-badawczego Kandydata, który dzięki wspomnianemu wprowadzeniu losowego rozkładu neuronów sieci eliminuje efekty unieruchomienia robota w minimum lokalnym wcześniej określonej funkcji celu. Kandydat posługuje się zarówno zadaniem odwrotnym dynamiki (synteza algorytmów sterowania) jak i prostym (budowa emulatora pracy robota).

Kandydat posługuje się wiedzą z obszaru mechaniki klasycznej i technicznej, matematycznego modelowania systemów, obliczeniami numerycznymi, głównie w oparciu o program Matlab/Simulink oraz wiedzę inżynierską z obszaru mechatroniki.

W moim odczuciu do oryginalnych elementów pracy zaliczyć można:

- (i) określenie stabilności wprowadzonych algorytmów sterowania przy zastosowaniu klasycznej metody Lapunowa;
- (ii) weryfikację doświadczalną założeń dokładności ruchu formacji robotów;
- (iii) weryfikację wiarygodności układów sterujących poprzez trzy elementarne klasyczne ruchy robota;
- (iv) opracowanie układów sterowania umożliwiające zadanie osiągnięcia celu przez formację robotów w nieznanym środowisku oraz ich walidacja w emulatorze pracy robotów mobilnych i autorskim środowisku kontrolno-pomiarowym;
- (v) realizację prac inżyniersko-badawczych związanych z analizą układów pomiarowych obejmujących czujniki ultradźwiękowe i czujniki laserowe odległości oraz skaner laserowy z oprogramowaniem i układami optyczno-mechanicznymi;
- (vi) opracowanie w środowisku Matlab/Simulink emulatora mobilnego robota kołowego.

Lektura pracy nasunęła mi jednak szereg uwag krytycznych/dyskusyjnych, przy czym niektóre z nich mogą odgrywać zasadniczą rolę przy ostatecznej ocenie rozprawy i dlatego oczekuję ich wyjaśnienia na piśmie/mailem, tak abym przed samym kolokwium habilitacyjnym mógł zapoznać się z odpowiedziami/wyjaśnieniami Autora.

1. Przedstawiona mi do opinii rozprawa habilitacyjna posiada w znacznym stopniu charakter monograficzny, a powinna się raczej koncentrować na wynikach uzyskanych przez Autora. Autor nie posługuje się w tekście terminem rozprawa, a na stronie 10¹⁶⁻²⁰ pisze: „prezentowana monografia ma charakter zaawansowanego wprowadzenia w zagadnienia sterowania formacją robotów...”, a więc raczej ma charakter przeglądu;
2. Zdanie na str. 9⁷⁻⁹ brzmi niezrozumiale ze względu na opis ujęty w nawias, bowiem występujące tam pojęcia nie są określone wcześniej;

3. Wprowadzone po raz pierwszy pojęcia powinny być definiowane, jak np. wyraz „formacja” (str. 12);
4. W przypadku rozprawy habilitacyjnej można byłoby nie zamieszczać rozdziałów II (*Wybrane aspekty mobilnej robotyki*) i III (*Inteligentne systemy obliczeniowe*), bowiem mają one charakter opisowy wprowadzający w rozpatrywaną tematykę;
5. W wielu miejscach rozprawy pojawiają się dziwne odwołania literaturowe, które uniemożliwiają identyfikację cytowanego źródła, np. str. 40⁵, 45⁷, 53₁, 54⁶, 54¹⁷, 54¹⁹, 54²⁰, itd.;
6. Część opisu na str. 51₅₋₈ wymaga poprawy (brak kropki i początku nowego zdania);
7. Autor przyjmuje bardzo proste zagadnienie kontaktowe, gdzie siły tarcia leżące w płaszczyźnie styczności kół z jezdnią są zaczepione w punkcie. W rzeczywistości kontakt jest powierzchniowy i istnieje wiele prac modelujących to zagadnienie, do których Autor się nie odnosi (str. 52¹²);
8. Wymiary i postać macierzy i wektorów występujące w (V.1) powinny być podane i proszę wyprowadzić równania (V.5), które budzą wątpliwości (jest ich cztery, nie pojawia się w nich λ_3 , człony tych równań nie są połączone znakami operatorów sumowania/mnożenia; wydaje się również, że jeśli wektor q ma 6 elementów, to wektor \dot{q} też powinien ich mieć 6, itd.);
9. Autor na str. 54¹⁶⁻¹⁷ pisze, że brak jest jasnych zasad co do sposobu generowania funkcji przyspieszeń, ale ja odnoszę wrażenie, że cały rozdział V nie jest napisany w sposób jasny i klarowny. Przede wszystkim oczekiwałbym tutaj jasno sprecyzowanego wkładu Kandydata, bowiem często pojawiają się cytowania innych prac uniemożliwiające mi jego wyodrębnienie. Poza tym pisząc o równaniach Appella i Maggiego Autor opiera się jedynie na pracach współpracowników, a nie sięga do cytowań źródłowych;
10. Równania (V.8) mają tę samą postać jakościową co (V.3) (pojawiają się dodatkowe kropki nad α_1 , α_2 i β), a wektor π (w równaniach V.6 występuje jako litera cienka, a w równaniu (V.9) jako pogrubiona) składa się z 6 elementów, podczas gdy (V.10) obejmuje 5 równań różniczkowych zwyczajnych rzędu drugiego. W równaniu (V.8) nie występują przyspieszenia \ddot{x}_A i \ddot{y}_A , a pojawiają się one w równaniu (V.10). Oprócz sił tarcia T_1 i T_2 pojawiają się również T_{01} i T_{02} i brak jest występowania masy m_2 w równaniach (V.10). W tej sytuacji oczekiwałbym jasnego wyprowadzenia równań (V.10). Oczekiwałbym również porównania wyników symulacji numerycznej równań (V.5) i (V.10) celem ich walidacji;
11. Nazwisko Appella pisane jest na dwa różne sposoby (str. 54₁₃);
12. Należy podać wartości Q_i , aby można było sprawdzić poprawność równań (V.17);
13. Należałoby porównać wyniki otrzymane z równania (V.18) z wynikami uzyskanymi z równań (V.5) i (V.10), aby upewnić się co do wiarygodności uzyskanych wyników;
14. Macierze i wektory równania (V.9) i (V.10) mają inne wymiary niż macierze i wektory pojawiające się w (V.20);
15. Równania (V.20) - (V.22), przy założeniu znanych T_1 i T_2 pozwalają na pełne analityczne rozwiązanie dwóch pierwszych równań (V.19) ze względu na $\beta(t)$ i $v_A(t)$. Dwa pozostałe równania (V.19) prowadzą do wyznaczenia $\alpha_1(t)$ i $\alpha_2(t)$ bezpośrednio analitycznie, co jest sprzeczne z wcześniej wprowadzonymi i dyskutowanymi równaniami różniczkowymi. W przeciwnym razie, jeśli równocześnie wyznaczone są T_i i N_4 , to proszę określić pełen układ równań umożliwiających rozwiązanie zadania.
16. Należy wyjaśnić skąd pojawiało się równanie (V.31), a w tym macierz skośnie-symetryczna (V.35);

17. Gdzie można doszukać się wkładu naukowego Kandydata w punkcie (VI.1)? Ponadto należałoby wykazać, że $\dot{M}(a) = 2C(\dot{q}, a)$ – patrz (VI.20) i (VI.22);
18. Z równań (VI.23) i (VI.24) nie wynika (VI.25);
19. Autor stosuje trudno akceptowalny sposób pisania jak np. str. 79₆: „przyjęto wektor współrzędnych powołując się na pracę [45]” i w tej sytuacji nie wiadomo, czy dalsza część jest przepisana z cytowanej pracy, zwłaszcza że w sposób jasny nie jest określony wektor \dot{q} , który może być albo 4-elementowy $q = [x_A, y_A, \beta, \alpha]^T$ lub trójelementowy $[x_A, y_A, \beta]^T$, jak to jest w równaniu (VII.3);
20. Na rys. VII.5 i VII.6 są zaznaczone wielkości, które nie pojawiły się w równaniach (VII.4) i (VII.5), ani też nie są one opisane w tekście;
21. Krótki 2-stronicowy punkt VII.4, zresztą zatytułowany z błędem, praktycznie uniemożliwia logiczne prześledzenie krok po kroku wprowadzonych tam równań. Należy wyjaśnić w jaki sposób po różniczkowaniu (VII.7) otrzymujemy (VII.8), i co się kryje pod $I(\tilde{q}_i)$ i u_{Bi} ? Brak jest rysunku wyjaśniającego związku pojawiające się po równaniu (VII.9). Należy pokazać przekształcenie prowadzące do równań (VII.10) i (VII.12);
22. Wyraz „ekspotencjalnie” dwukrotnie pojawiający się na stronie 83 wymaga wyjaśnienia;
23. Nie ma potrzeby wykorzystania Maple V do rozwiązania układu równań algebraicznych (X.4) i (X.5), bo można rozwiązanie bardzo szybko uzyskać przy pomocy kilku arytmetycznych przekształceń. Jeśli wprowadzane wielkości częstości, prędkości i przemieszczeń posiadają wymiar, na co wskazuje rys. X.10, to równanie (X.4) jest napisane błędnie.

3. OCENA DOROBKU NAUKOWEGO

Dr inż. Andrzej Burghardt (ur. 2.11.1976 roku w Tarnobrzegu) jest absolwentem Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (2001) Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki o specjalności Robotyka i Mechatronika oraz Wydziału Górniczego o specjalności Marketing i Zarządzanie w Przemysle. Od roku 2001 pracuje na Politechnice Rzeszowskiej na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa, gdzie w roku 2005 uzyskał tytuł doktora nauk technicznych w oparciu o przedłożoną rozprawę doktorską pt. „Sterowanie behawioralne mobilnym robotem kołowym” (promotor: prof. Z. Hendzel). Zajmuje się On zagadnieniami mechaniki, a w tym robotyki, problematyką prototypowania i implementacji układów sterowania mobilnych robotów kołowych, planowania trajektorii, sterowania behawioralnego, programowania robotów przemysłowych oraz systemów wizyjnych. Obecnie Kandydat pracuje na stanowisku adiunkta w Katedrze Mechaniki Stosowanej i Robotyki Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej.

Z przesłanych mi materiałów wynika, że Habilitant posiada po doktoracie dorobek naukowy obejmujący **37** publikacji, ale tylko **7** indywidualnych, które mieszczą się w dyscyplinie naukowej mechanika oraz budowa i eksploatacja maszyn. Z opublikowanych po doktoracie prac naukowych **6** artykułów zostało opublikowanych w czasopiśmie z tzw. „listy filadelfijskiej”, **3** w innych czasopiśmie zagranicznych, **27** stanowią referaty w recenzowanych materiałach międzynarodowych i krajowych. Z drugiej strony jednak znalazłem tylko jedno czasopismo zagraniczne o relatywnie wysokim IF (CNSNiS), bowiem pozostałe, do których należą *Polish Journal of Enviromental Studies*, *International Journal of Applied Mechanical Engineering*, *Pomiary Automatyka Kontrola*, *Mechanics and*

Mechanical Engineering, Przegląd Mechaniczny, Acta Mechanics et Automatica, Modelowanie Inżynierskie, Mechanika, wydawane są w kraju i nie posiadają wysokich wskaźników bibliometrycznych. Index H (Hirscha) publikacji w zależności od bazy wynosi: wg bazy Web of Science **1**, wg bazy Elsevier SCOPUS **2**, wg bazy Google Scholar **3**, wg bazy Harzing's Publish or Perish **3**, a np. liczba cytowań według bazy Web of Science wynosi **1**.

Habilitant uczestniczył jako kierownik lub wykonawca w 5. projektach badawczych realizowanych na zlecenie Komitetu Badań Naukowych. Aktualnie jest kierownikiem projektu NCBiR pt.: „Opracowanie procesu zrobotyzowanego zatepiania krawędzi elementów o zmiennym kształcie stosowanych w silnikach lotniczych z wykorzystaniem systemu automatycznej adaptacji trajektorii narzędzia”. Ponadto jako wykonawca uczestniczy w pracach związanych z realizacją projektu kluczowego pt. „Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym”.

Recenzował On kilka artykułów dla czasopism krajowych (*Modelowanie Inżynierskie, Technologia i Automatyzacja Montażu*) oraz zagranicznych znajdujących się na liście JCR, tj. *Journal of Mechanical Engineering Science (SAGE)*. Ponadto był autorem recenzji zleconych przez Narodowe Centrum Nauki. W ramach prac wykonał 5 opracowań naukowych zleconych przez przemysł.

Jednym z najważniejszych osiągnięć Habilitanta jest uzyskanie nagrody międzynarodowej: Best Paper Award podczas 4. międzynarodowej konferencji: „Computational Intelligence” w Barcelonie. Skład autorski Z. Hendzel, A. Burghardt, M. Szuster został nagrodzony za artykuł pt. „Artificial Intelligence Methods in Reactive Navigation of Mobile Robots Formation” jako najlepszy artykuł na konferencji.

Krajowe nagrody Habilitanta to trzykrotna nagroda naukowa Rektora Politechniki Rzeszowskiej oraz Brązowy Krzyż Zasługi za zasługi na rzecz rozwoju nauki.

O ile z jednej strony dorobek publikacyjny (IF) oraz jego oddziaływanie na innych badaczy (liczba cytowań) jest prawie niedostrzegalny, to Kandydat wykazuje aktywność naukowo-badawczą na arenie krajowej.

4. OCENA DZIAŁALNOŚCI DYDAKTYCZNO-ORGANIZACYJNEJ

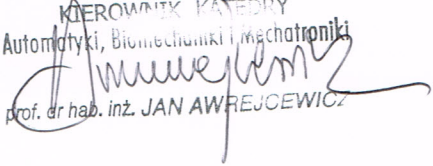
Dr inż. A. Burghardt podczas swej pracy w Katedrze Mechaniki Stosowanej i Robotyki prowadził ponad dziesięć różnego typu zajęć związanych z szeroko pojętą robotyką. Dwukrotnie był opiekunem koła naukowego Robotyki, przy czym członkowie tego koła naukowego robotyki zajęli I i III miejsca w Ogólnopolskim Konkursie Programowania Robotów ABB. Swoje kwalifikacje związane z zakresem oraz aktualnością przekazywanych treści podnosił i rozszerzał poprzez uczestnictwo w wielu kursach dotyczących programowania robotów i sterowników PLC. Dr inż. Andrzej Burghardt był promotorem ponad 50. prac magisterskich i inżynierskich. Ponadto prowadził zajęcia ze studentami w ramach programu Erasmus.

Kandydat, w ramach prac organizacyjnych, brał udział w rozbudowie Laboratoriów Katedry realizowanych w ramach programów unijnych RPO oraz RPW. Prace związane z rozbudową pracowni Katedry Mechaniki Stosowanej i Robotyki zostały zauważone i docenione, czego dowodem są artykuły w czasopismach branżowych oraz nagroda Rektora Politechniki Rzeszowskiej za rozwój laboratoriów. Ponadto dr inż. Andrzej Burghardt brał udział w pracach związanych z uruchomieniem kierunków Automatyka i Robotyka oraz Mechatronika. Habilitant był członkiem obserwatorek Komitetu Teorii Maszyn i Mechanizmów, Komitetu Budowy Maszyn PAN, obecnie jest członkiem Sekcji Dynamiki Układów, Komitetu Mechaniki PAN.

Działalność dydaktyczno-organizacyjna Kandydata jest typową dla nauczycieli akademickich zatrudnionych na stanowisku adiunkta krajowych uczelni technicznych i oceniam ją jako dobrą.

5. WNIOSKI

Na podstawie przedstawionej oceny rozprawy habilitacyjnej oraz oceny dorobku naukowego i organizacyjnego dr. inż. Andrzeja Burghardta stwierdzam że zgodnie z obowiązującymi przepisami (Ustawa 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 – z późniejszymi zmianami i rozporządzeniami), dr inż. A. Burghardt spełnia warunkowo (oczekuję odpowiedzi na moje uwagi krytyczne dotyczące rozprawy habilitacyjnej) wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego i może zostać dopuszczony do kolokwium habilitacyjnego.

KIEROWNIK KATEDRY
Automatyki, Biomechaniki i Mechatroniki

prof. dr hab. inż. JAN AWREJCEWICZ