

RECENZJA
rozprawy habilitacyjnej, dorobku naukowego i dydaktyczno-organizacyjnego
dra inż. Andrzeja Burghardta

Podstawą formalną opracowania recenzji jest pismo RM-531-04-04/2013 Pana Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej, dr hab. inż. Jarosława Sępa, prof. Politechniki Rzeszowskiej z dnia 7 kwietnia 2014.

Recenzję opracowałem na podstawie:

1. rozprawy habilitacyjnej p.t. Modelowanie i sterowanie formacją robotów (Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2013),
2. autoreferatu o pracy naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej,
3. kopii wybranych publikacji.

Opinię opracowałem według kryteriów obowiązujących w tzw. „starym trybie”, t.j. według stanu prawnego obowiązującego przed wprowadzeniem zmian ustawą z dnia 18 marca 2011 r.

1. Charakterystyka Habilitanta

Dr inż. Andrzej Burghardt, ur. 1976 r. w Tarnobrzegu, wyższe wykształcenie uzyskał w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, gdzie ukończył dwa kierunki studiów:

- Automatyka i robotyka, w specjalności *robotyka i mechatronika* na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki (rok 2001),
- Zarządzanie i marketing, w specjalności *marketing i zarządzanie w przemyśle* na Wydziale Górniczym (rok 2001)

Bezpośrednio po studiach został zatrudniony w Politechnice Rzeszowskiej na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa, początkowo na etacie asystenta a od roku 2005 adiunkta w Katedrze Mechaniki Stosowanej i Robotyki. Stopień doktora nauk technicznych, na podstawie pracy p.t. Sterowanie behawioralne mobilnym robotem kołowym, uzyskał w roku 2005 - promotorem był prof. Zenon Hendzel.

2. Dorobek naukowy

W niniejszej opinii koncentruję się na osiągnięciach Habilitanta po obronie pracy doktorskiej. Oczekuje się bowiem, że zakres osiągnięć naukowych do stopnia doktora habilitowanego powinien wykazywać istotny przyrost, w szczególności jakościowy, dorobku i kwalifikacji w stosunku do okresu przed doktoratem.

Udokumentowany dorobek naukowy – po uzyskaniu stopnia doktora – będący podstawą oceny składa się, wliczając monografię habilitacyjną, z 37 pozycji opublikowanych jako:

- artykuły w czasopismach z listy A MNiSW (z listy JCR, anglojęzyczne) – 3,
- ponadto: 2 pozycje w bazie Web of Science i 1 pozycja spoza WoS, razem - 3
- artykuły w czasopismach z listy B MNiSW (wszystkie anglojęzyczne) - 17 (6 w języku angielskim),
- monografie (współautorstwo, bez rozprawy hab) - 2,
- inne recenzowane, głównie referaty konferencyjne – 11.

Kilka prac Habilitanta ukazało się w czasopismach wysoko punktowanych (max 40) a łączny dorobek nieco przekracza 200 punktów.

Wyniki prac badawczych zostały wprowadzone do obiegu międzynarodowego, na co wskazują liczby publikacji w bazach dokumentujących dorobek naukowy. Liczba cytowań, w zależności od bazy to 1 (Web of Science), przez 9 (Elsevier Scopus) aż do 20 (Harzing's Publish or Perish). Wskaźnik Hirscha wynosi od 1 do 3. Przedstawiony dorobek publikacyjny jest wynikiem aktywności Habilitanta w pozyskiwaniu środków z MNiSW a potem NCBiR. Po doktoracie uczestniczył w realizacji dwóch zakończonych tematów, w jednym z nich był kierownikiem. Aktualnie jest zaangażowany w kolejnych trzech projektach.

Na podstawie opublikowanych prac, w tym monografii habilitacyjnej, można stwierdzić, że prace naukowe dr Burghardta prezentują dobry poziom naukowy. Główną osią badań naukowych są zagadnienia modelowania i sterowania robotów mobilnych, w których istotne osiągnięcia to:

- własne, oryginalne podejście do modelowania układów mechanicznych z wykorzystaniem równań Appella oraz metody rzutowej,
- opracowanie algorytmów sterowania formacją robotów w nieznanym środowisku; tutaj istotne jest zabezpieczenie przed unieruchomieniem formacji w minimum lokalnym dla zdefiniowanej funkcji celu,
- rozwiązanie zadania transportu wielkogabarytowego przez formację robotów,
- zaplanowanie i realizacja środowiska kontrolno-pomiarowego dla zarządzania pracą formacji robotów,
- opracowanie modeli i sterowania układów typu „underactuated”; algorytmy wykorzystują sztuczne sieci neuronowe oraz neuronowe programowanie dynamiczne.

Drugim obszarem badań Habilitanta są zagadnienia na pograniczu technologii stosowanych w przemyśle lotniczym, czego wyrazem jest aktualne uczestnictwo w trzech projektach badawczych, w jednym jako kierownik. Tytuły tych prac to:

- Opracowanie procesu zrobotyzowanego zatepiania krawędzi elementów o zmiennym kształcie stosowanych w silnikach lotniczych z wykorzystaniem systemu automatycznej adaptacji trajektorii narzędzia,
- Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym,
- Optymalizacja i nadzór procesu obróbki skrawaniem cienkościennych zespołów silników lotniczych z zastosowaniem metod inteligencji obliczeniowej.

W świetle przytoczonych osiągnięć badawczych można stwierdzić, że dr Andrzej Burghardt ma w dorobku znaczące osiągnięcia w obszarze mechaniki i sterowania robotów, w szczególności robotów mobilnych. Podjęcie wyzwania sterowania formacją robotów, uzyskane wyniki potwierdzone eksperymentem, stawiają go w pierwszym rzędzie specjalistów z tego obszaru. Potwierdza to m.in. zaproszenie do recenzowania artykułu dla czasopisma z listy JCR. Jest członkiem-ekspertem Sekcji Dynamiki Układów, Komitetu Mechaniki PAN.

Na podstawie znacznej liczby publikacji po uzyskaniu stopnia doktora, ich dobrego poziomu naukowego, w świetle uzyskanych wskaźników bibliometrycznych, uznaje że dorobek naukowy dr Burghardta zasługuje na ocenę dobrą.

3. Rozprawa habilitacyjna

3.1 Charakterystyka monografii

Przedstawiona monografia składa się z jedenastu rozdziałów zamieszczonych na 163 stronach. Tematykę uzupełniają liczne rysunki, w spisie literatury zamieszczono ok. 160 pozycji. Monografia została wydana przez Oficynę Wydawniczą Politechniki Rzeszowskiej w r. 2013.

Cel rozprawy habilitacyjnej został omówiony w rozdziale pierwszym. Habilitant słusznie zauważa, że planowanie ścieżki ruchu formacji robotów mobilnych i jej realizacja jest jednym z najbardziej istotnych zagadnień robotyki. Podkreśla, że złożoność problematyki sprawia, iż ciągle nie opracowano uniwersalnych metod planowania i realizacji ruchu autonomicznych mobilnych robotów kołowych. Przywołując wyniki badań wielu autorów konkluduje, że większość z nich ma charakter teoretyczny i tylko niektóre zostały praktycznie zastosowane. Zauważa, że pomimo znacznego postępu w opracowaniu algorytmów planowania ruchu formacji istnieje kilka problemów, które wymagają dalszych badań, a w szczególności:

- planowanie aktywnej percepcji, tzn. planowanie ruchu formacji w połączeniu z działaniem sensorów i ich zastosowanie w sterowaniu reaktywnym,
- przydział zadań uczestnikom ruchu formacji,
- wymiana danych pomiędzy uczestnikami ruchu,
- akwizycja danych o środowisku,
- lokalizacja itp.

Krytyczna analiza dotychczasowych wyników badań zdecydowały o podjęciu badań, których celem jest opracowania algorytmów sterowania ruchem formacji robotów mobilnych realizujących złożone zadanie, w nieznanym środowisku. Należy podkreślić, że tematyka ta ma istotne znaczenie o charakterze poznawczym, a perspektywnie aplikacyjnym.

W rozdziałach drugim i trzecim zawarte zostały ogólne informacje o projektowaniu układów mechatronicznych, w szczególności odniesione do robotów mobilnych oraz istotne dla dalszej części pracy wprowadzenie w zagadnienia sztucznych sieci neuronowych, układów z logiką rozmytą i adaptacyjnego programowania dynamicznego. Rozdział czwarty to opis kinematyki robota mobilnego. Tutaj pojawia się już opis zespołu robotów transportujących obiekt o gabarytach znacznie przewyższających ich wymiary co stanowi podstawę do opisanych w rozdziale piątym modeli dynamiki z wykorzystaniem równań Lagrange'a, Appella oraz Maggiego. Modele dynamiki budowane są przy mocnych założeniach upraszczających i koncentrują się na wyrugowaniu z równań nieznanymi siłami tarcia dając w efekcie model, który po procesie identyfikacji będzie wykorzystany do kompensacji nieliniowości sterowanych obiektów.

W rozdziale szóstym autor przedstawia algorytmy sterowania nadążnego opracowane w oparciu o model matematyczny mobilnego robota, w których do kompensacji nieliniowości obiektu stosuje sztuczne sieci neuronowe.

W rozdziale siódmym autor prezentuje budowę algorytmów sterowania formacją robotów i omawia dwa klasyczne sposoby sterowania formacją robotów: z wykorzystaniem algorytmu wirtualnej struktury (1) oraz algorytmu śledzenia lidera (2). Oba sposoby zostały zaadoptowane w badaniach symulacyjnych w środowisku Matlab/Simulink. Realizuje się je dla zdefiniowanego kształtu formacji robotów, przyjmując tor ruchu punktu centralnego wraz z jego prędkością i prędkość kątową formacji. Przedstawione wyniki symulacji potwierdzają użyteczność zaproponowanego algorytmu sterowania od punktu do punktu do sterowania ruchem formacji w układzie wirtualnej struktury i śledzenia lidera. Niedosyt budzi tutaj skąpa liczba sprawozdanych wyników symulacji.

Rozdział ósmy to prezentacja algorytmów sterowania behawioralnego dla trzech elementarnych zadań robota mobilnego: podążaj wzdłuż ściany (1), omijaj przeszkody (2), osiągnij zdefiniowany punkt w przestrzeni (3). Zrealizowano je z wykorzystaniem algorytmu Braitenberga, logiki rozmytej oraz sieci neuronowej Kohonena. Tak zsyntetyzowane algorytmy realizujące elementarne zadania wykorzystano w procedurze koordynacji zadań, realizowanej na potrzeby osiągnięcia celu przez mobilny robot w nieznanym środowisku.

W rozdziale dziewiątym autor proponuje układ sterowania, realizujący zadanie osiągnięcia celu w nieznanym środowisku przez formację robotów. Zaproponowane rozwiązanie, dzięki wykorzystaniu własności sieci neuronowych samoorganizujących się, umożliwia realizację osiągnięcia celu w środowiskach pracy, zawierających przeszkody generujące stabilne i niestabilne minima lokalne. Zaproponowane rozwiązania autor symuluje i weryfikuje na obiektach rzeczywistych, a otrzymane wyniki prezentuje w rozdziale dziesiątym. Pracę kończy rozdział 11 zawierający wnioski końcowe oraz proponowane przez autora kierunki dalszych badań.

3.2 Istota tematyki naukowej

Podjęta w monografii tematyka dotyczy sterowania formacją mobilnych robotów kołowych w złożonych przestrzeniach roboczych, dla których wg. literatury wykorzystuje się algorytmy oparte o teorię sztucznych pól potencjałowych o charakterze heurystycznym. Metody te są wrażliwe na minima lokalne, dla których wyeliminowania autor proponuje nowatorski, oryginalny algorytm bazujący na kooperatywnym lub arbitralnym połączeniu zadań behawioralnych. Wykorzystując własności sztucznych sieci neuronowych lub neuronowego programowania dynamicznego pozwala on na unikanie minimów lokalnych.

Istotą rozwiązania jest zastosowanie właściwości uogólniających sztucznych sieci neuronowych samoorganizujących się, które dzięki losowemu rozkładowi neuronów sieci, w procesie uczenia wyłaniają neuron zwycięski, co pozwala na uniknięcie unieruchamiania w minimum lokalnym zdefiniowanej funkcji celu. Proponowane rozwiązanie zostało przetestowane i zweryfikowane w przeprowadzonym eksperymencie badawczym. Przyjęta przez autora architektura systemu sterowania wymagała opisu procesu modelowania robota mobilnego zrealizowanego z wykorzystaniem różnych formalizmów. Uzyskany model matematyczny wykorzystano w pracy, jako zadanie odwrotne dynamiki podczas syntezy algorytmów sterowania oraz jako zadanie proste dynamiki podczas budowy emulatora pracy mobilnego robota.

W ramach prac badawczych przeprowadzono syntezę adaptacyjnego oraz neuronowego algorytmu sterowania, który podczas realizacji sterowania formacją stanowił najniższy poziom w strukturze hierarchicznego układu sterowania. Propozycja takiego rozwiązania wynika z faktu, że stosowane w praktyce modele matematyczne jedynie w przybliżeniu opisują właściwości sterowanych obiektów. Dla potrzeb realizacji przyjętych strategii rozmieszczenia robotów, której celem jest przemieszczanie formacji zgodnie z założonym zadaniem behawioralnym, zweryfikowano w badaniach doświadczalnych dokładność realizacji ruchu formacji robotów z wykorzystaniem algorytmu wirtualnej struktury oraz śledzenia lidera.

Realizacja zadań formacji związana z przemieszczaniem w nieznanym środowisku jest nieodzownie skorelowana z problemami akwizycji danych informujących system zarządzający pracą robotów o stanie otoczenia. Główne rozważane w monografii problemy determinujące przydatność systemu pomiarowego to: ilość informacji o stanie środowiska, szybkość pomiarów, zakres pomiarowy, wrażliwość na zakłócenia, energochłonność. Na potrzeby realizacji prac badawczych przeanalizowano układy pomiarowe zaimplementowane na robotach formacji takie jak: czujniki ultradźwiękowe, dedykowane laserowe czujniki odległości, skaner laserowy wykonany przez autora wraz z oprogramowaniem i układami optyczno-mechanicznymi.

Na potrzeby realizacji prac badawczych zbudowano w programie Matlab/Simulink emulator mobilnego robota kołowego wykorzystywany w badaniach symulacyjnych. Weryfikację uzyskanych rozwiązań umożliwia opracowane przez habilitanta oprogramowanie w postaci

biblioteki Matlab/Simulink. Zbudowane środowisko szybkiego-prototypowania algorytmów sterowania mobilnymi robotami pozwoliło na rejestrację parametrów ruchu takich jak: prędkości i przemieszczenia kół napędzających, prądy silników, stan naładowania baterii, wskazania z czujników odległości oraz umożliwiła zarządzanie pracą kół napędzających. Tak przygotowane środowisko kontrolno-pomiarowe, które posłużyło do prac weryfikacyjnych, jest autorskim rozwiązaniem o dużym potencjale aplikacyjnym.

3.3 Główne autorskie osiągnięcia zawarte w monografii

Jako najważniejsze osiągnięcie Habilitanta, stanowiące wkład w rozwój dyscypliny mechanika należy uznać propozycję rozwiązania układu sterowania, realizującego zadanie osiągnięcia celu w nieznanym środowisku przez formację robotów. Zaproponowane rozwiązanie, dzięki wykorzystaniu własności sieci neuronowych samoorganizujących się, pozwoliło 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.

Wartościowe są też osiągnięcia cząstkowe, niezbędne dla całościowego rozwiązania problemu sterowania formacją robotów:

- opracowanie (we współrzędnych niezależnych związanych z napędami) modelu mobilnego robota kołowego z uwzględnieniem dynamiki napędów,
- opis zadań kinematyki formacji robotów realizujących transport wielkogabarytowy,
- opracowanie algorytmów sterowania zapewniających osiągnięcie przez formację robotów celu w nieznanym środowisku,
- opracowanie toolboxa dla środowiska Matlab/Simulink wspomagającego prace badawcze realizowanych z wykorzystaniem do 256 robotów mobilnych.

3.4 Kilka uwag krytycznych

Strona edycyjna monografii niestety pozostawia wiele do życzenia. Widać tutaj pośpiech, wyraźnie brakło czasu na rzetelną weryfikację tekstu. Wyraża się to licznymi usterkami literowymi, rysunki często są bardzo małe, niemal nieczytelne. Te uchybienia, czasem brak wyjaśnień, sprawiają, że lektura pracy jest bardzo uciążliwa. Poniżej kilka przykładów:

- dziwaczne oznaczenia literatury np. [Bla98] itp.,
- str 60, zał V.43 – dlaczego tak małe literki?,
- str 20 - „znając liczbę impulsów wygenerowanych przez każde koło”; koło generuje?
- str. 64 - rys. V.6 mało czytelny, jak co najmniej kilka innych,
- str 115 - pisząc, że zagadnienia planowania ruchu są obecnie tematem wielu publikacji podano prace z roku 1991, 1998 i dwie prace z bliskiego otoczenia (Katedra) z roku 2004
- str 26 - w sprzedaży jest bardzo wiele gotowych mikrokontrolerów wyposażonych w układy peryferyjne; chyba modułów z mikrokontrolerami?

- str 9 - założenie: ruch formacji odbywa się bez poślizgu w kontakcie koło-podłoże? Bez żadnego komentarza!
- str 114-115 czy wykonano tylko jedną symulację? Czy badano np. różne położenia początkowe, różne orientacje?; wartości wag są b. małe (rys. VIII.34 f.); jaki wpływ na sygnały sterowania?
- str 145, rys. X.14c - błędy wydają mi się duże.

Wobec przytoczonych przykładów usterek można tylko wyrazić żal, bowiem monografia zawiera bardzo wartościowy materiał, który wydany w formie książkowej, rozszerzony i uporządkowany, byłby - moim zdaniem - cenną pozycją dla osób zainteresowanych tematyką modelowania i sterowania robotami mobilnymi.

3.5 Podsumowanie

Wymienione uchybienia i niedociągnięcia, głównie o charakterze edycyjnym nie przesądzają o ogólnej, pozytywnej ocenie monografii. Przedstawia zaawansowane ujęcie problematyki sterowania ruchem formacji robotów mobilnych, problematyki bardzo złożonej.

Autor w monografii na wstępie definiuje cel oraz tezę pracy, którą logicznie rozwija w kolejnych podrozdziałach, wieńcząc rozważania jej udowodnieniem. Fakt ten potwierdza badaniami symulacyjnymi i testami weryfikacyjnymi. Proponowane w monografii rozwiązanie może być z powodzeniem stosowane w wielu różnego typu aplikacjach

W moim przekonaniu monografia habilitacyjna zasługuje na ocenę dobrą

4. Działalność dydaktyczna i organizacyjna

Oceniając dorobek dydaktyczny należy podkreślić szerokie spektrum prowadzonych zajęć, głównie w obszarze mechaniki robotów i manipulatorów oraz szeroko rozumianej mechatroniki – Habilitant uczestniczył w opracowaniu zajęć dydaktycznych z kilkunastu kursów. Był opiekunem kilkudziesięciu prac dyplomowych – magisterskich i inżynierskich.

Ważnym elementem działalności dydaktyczno-wychowawczej było opiekuństwo koła naukowego studentów, z sukcesami poza macierzystą uczelnią. Działalność organizacyjna habilitanta to aktywność w rozwoju pracowni systemów wizyjnych oraz doposażenia pracowni Robotyki oraz Mechatroniki. Zostało to docenione nagrodami Rektora PRz i Złotym Krzyżem Zasługi.

Na forum krajowym należy wymienić członkostwo w pracach komitetów PAN – Mechaniki, jako ekspert i Teorii Maszyn i Mechanizmów jako członek-obszernator.

Działalności dydaktyczno-organizacyjną oceniam jako dobrą

5. Wniosek końcowy

W oparciu o przedstawione najważniejsze wyniki badań naukowych, udokumentowane rozprawą habilitacyjną oraz opublikowanymi pracami w postaci artykułów, monografii i referatów konferencyjnych uznaję, że dr inż. Andrzej Burghardt spełnia warunki dobrego, wszechstronnego przygotowania do samodzielnego prowadzenia badań naukowych a wyniki jego badań stanowią istotny wkład w rozwój dyscypliny *mechanika*.

Wobec przytoczonych argumentów stwierdzam, że całość dorobku dr inż. Andrzeja Burgharda spełnia wymagania ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym z późniejszymi modyfikacjami oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595 ze zm., Dz. U. z 2005r., Nr 164, poz. 1365)) i wnoszę o dopuszczenie do kolokwium habilitacyjnego.

/Antoni Gronowicz/

