

Białystok, 20.10.2016

*dr hab. inż. Waldemar Rakowski*  
*prof. nadzwyczajny*  
*Politechnika Białostocka*  
*Wydział Zarządzania*  
*Katedra Informatyki Gospodarczej*

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**  
**dla RADY WYDZIAŁU**  
**ELEKTROTECHNIKI, ELEKTRONIKI, INFORMATYKI I AUTOMATYKI**  
**POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ**

**Tytuł rozprawy: Algorytmy nawigacji platformy mobilnej w nieznanym otoczeniu w kontekście paradygmatu obiektowego**

**Autor rozprawy: mgr inż. Adam Wulkiewicz**

Praca doktorska mgra inż. Adama Wulkiewicza ma charakter zaawansowanego technologicznie projektu inżynierskiego zawierającego oryginalne rozwiązania problemów naukowych związanych z systemem nawigacji autonomiczną platformą mobilną przeznaczoną do zadań wojskowych i paramilitarnych, w szczególności do wykonywania zwiadu i wykrywania min.

Mgr inż. Adam Wulkiewicz był członkiem zespołu badawczego realizującego w Instytucie Informatyki Stosowanej Politechniki Łódzkiej grant Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego pt. „Autonomiczny robot pola walki przeznaczony do zadań zwiadu i wykrywania min” 0010/1/R/T00/2008/05, 2008 - 2011. Skonstruowana w ramach tego grantu platforma mobilna jest produktem interdyscyplinarnym z zakresu mechaniki, automatyki, elektroniki, robotyki i informatyki. W rozprawie doktorskiej mgra inż. Adama Wulkiewicza w sposób wyraźny wyodrębniono zarówno w sensie merytorycznym jak i ilościowym wkład Doktoranta w realizację robota, głównie w zakresie rozwiązań informatycznych.

**Opis zawartości pracy**

Rozprawa liczy 139 stron, składa się ze wstępu, 12 rozdziałów, podsumowania, załącznika i bibliografii.

We wstępie podano informację o grantie Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego finansującym projekt i realizację robota, składzie zespołu badawczego, który zaprojektował robot i o oprogramowaniu robota liczącym około 200 tysięcy linii kodu w językach C, C++ i C# , z czego około 60 tysięcy zostało wykonane przez Autora rozprawy. Podano schemat blokowy opracowanych w ramach projektu algorytmów z wyszczególnieniem autorów algorytmów.

Jako cel rozprawy postawiono opracowanie, zaimplementowanie i zweryfikowanie algorytmów nawigacji platformy mobilnej zdolnej do poruszania się w nieznanym otoczeniu. Postawiono tezę, że implementacja algorytmów sterowania ruchem z wykorzystaniem projektowania i programowania obiektowego umożliwia opracowanie autonomicznych platform mobilnych wykonujących wysokopoziomowe rozkazy nawigacyjne i, że zaprojektowana przez Autora rozprawy oryginalna funkcja kryterialna algorytmu wyznaczania ścieżki ruchu, uwzględniająca koszt zmian kierunku, pozwala optymalizować liczbę manewrów platformy mobilnej. Dalsze części pracy potwierdzają postawione tezy.

Część pierwsza rozprawy, grupująca rozdziały od 1 do 5 ma charakter opisowy. W rozdziale 1 przedstawiono wybrane struktury danych wykorzystywane w budowie map otoczenia robotów. W rozdziale 2 podano odwołania do obszernej literatury dotyczącej rasteryzacji odcinka oraz przedstawiono i omówiono pseudokod algorytmu Bresenhama rasteryzacji odcinka. W rozdziale 3 przedstawiono i omówiono pseudokody dwóch algorytmów wyznaczania ścieżki w grafie: algorytmu Lee i algorytmu A\*. Pokazano rysunek ilustrujący ścieżki ruchu wyznaczone za pomocą algorytmu A\*, bez precyzowania zastosowanej heurystyki estymacji kosztu dojścia do celu. W rozdziale 4 omówiono system odniesienia przestrzennego WGS 84 wykorzystywany w systemie informacji geograficznej GPS. W rozdziale 5 omówiono wymieniony w jednej z tez paradygmat programowania obiektowego z nawiązaniem do przykładów abstrakcji, hermetyzacji, polimorfizmu i dziedziczenia występujących w oprogramowaniu platformy mobilnej wykonanym przez Autora rozprawy.

Część druga rozprawy, grupująca rozdziały od 6 do 11, stanowi najważniejszą część pracy, gdyż zawiera opisy autorskich algorytmów Doktoranta opracowanych w ramach realizacji projektu platformy mobilnej. W rozdziale 6 przedstawiono architekturę robota i ogólną charakterystykę siedmiu modułów tworzących system. Opisano architekturę poszczególnych modułów, ich rolę w systemie i wykorzystane algorytmy. Rozdział 7 poświęcono opisowi systemu nawigacji robota opartego na współdziałaniu trzech modułów: modułu pozycji i orientacji, modułu wyznaczania ścieżki ruchu i modułu podstawy jezdnej. Szczegółowe działanie modułu pozycji i nawigacji, w którym zastosowano autorskie algorytmy estymujące aktualne położenie i azymut platformy mobilnej

oraz wykonujące rozkazy jazdy na azymut i do punktu opisano w rozdziale 8. W rozdziale 9 opisano szczegółowo moduł wyznaczania trajektorii, w tym autorskie algorytmy zapewniające wykrywanie obiektów w otoczeniu robota, budowy mapy stanowiącej reprezentację otoczenia robota, wyznaczania ścieżki ruchu z ominięciem przeszkód i wykonywania rozkazów jazdy. Zamieszczono rysunki pokazujące ścieżki ruchu wyznaczone za pomocą standardowej funkcji kryterialnej algorytmu A\* i funkcji opracowanej przez Autora rozprawy. Rozdział 10 opisuje moduł podstawy jezdnej, w szczególności algorytm jazdy po łuku. W rozdziale 11 przytoczono definicje i przykłady złożoności obliczeniowej algorytmów i podano złożoność obliczeniową wybranych algorytmów zaimplementowanych w oprogramowaniu platformy mobilnej.

Część trzecia, złożona z rozdziału 12, zawiera informacje o testach wykonanych na skonstruowanej platformie mobilnej w warunkach uwzględniających ściśle określone parametry techniczne platformy. Z przytoczonych informacji wynika, że założone w projekcie funkcjonalności platforma posiada.

W załączniku A zamieszczono zdjęcia zrealizowanych fizycznie modułów funkcjonalnych robota, tj. płyt obwodów drukowanych z odpowiednimi podzespołami elektronicznymi.

Pracę zamyka obszerna bibliografia, w której wymieniono wyłącznie pozycje, do których Autor odwołuje się w tekście rozprawy i podano numery stron rozprawy, na których to odwołanie występuje.

### **Główne, oryginalne osiągnięcia Doktoranta**

Do głównych oryginalnych osiągnięć badawczych Doktoranta przedstawionych w rozprawie należy zaprojektowanie funkcji kryterialnej dla algorytmu heurystycznego A\* wyszukiwania najkrótszej drogi w grafie, który to algorytm został wykorzystany do wyznaczania ścieżki ruchu platformy mobilnej. Dzięki zdefiniowaniu funkcji kryterialnej odpowiednio uwzględniającej koszt zmian kierunku jazdy uzyskano możliwość wyznaczenia trasy robota charakteryzującej się mniejszą liczbą zakrętów, dłuższymi prostymi odcinkami oraz brakiem obrotu o 180 stopni w stosunku do trasy wyznaczonej za pomocą standardowej funkcji kryterialnej. W rozprawie zamieszczono wyniki eksperymentów wyznaczania trasy z wykorzystaniem standardowej funkcji kryterialnej i funkcji zdefiniowanej przez Autora, które potwierdzają trafność wyboru funkcji kryterialnej. Do pozostałych oryginalnych algorytmów Autora należą algorytmy: budowy mapy otoczenia platformy mobilnej; jazdy na azymut, tj. przemieszczania się platformy mobilnej w zadanym kierunku geograficznym; jazdy w kierunku wyznaczonym przez współrzędne geograficzne; jazdy po łuku. Autor zaprojektował wymienione wyżej algorytmy, zaimplementował je stosując metodologię programowania

obiektywnego i zweryfikował poprzez różnego rodzaju testy, uwzględniające założenia projektowe, tj. wartości liczbowe parametrów oraz poprzez obserwację działania platformy mobilnej na poligonach wojskowym i straży pożarnej.

### **Uwagi ogólne**

Styl, język pracy, jasność prezentacji, nie budzi zastrzeżeń. Walorem pracy są czytelne schematy blokowe ilustrujące organizację platformy mobilnej, zaimplementowane algorytmy i wskazujące autorów poszczególnych algorytmów, w tym Autora rozprawy. Zastosowanie metodologii projektowania obiektowego ułatwiło klarowne pokazanie wkładu Autora rozprawy w realizację projektu.

Podział na rozdziały nie wszędzie wydaje się właściwy ze względu na długość rozdziałów. Np. rozdziały 4 i 11 zawierają tylko nie całe trzy strony tekstu.

Autor rozprawy wykazał się dobrą znajomością zagadnień z nauk pokrewnych, w szczególności z zakresu fizyki i elektroniki.

Praca doktorska mgra inż. Adama Wulkiewicza jest dobrym przykładem drogi awansu naukowego poprzez badania w zakresie informatyki stosowanej związane z realizacją projektu o zaawansowanej technologii i o dużym znaczeniu dla nauk technicznych.

### **Uwagi merytoryczne dotyczące rozprawy**

Autor omawiając algorytm Bresenhama rysowania odcinka prostej wskazuje kilka pozycji w Bibliografii opisujących ten algorytm. Jednakże nie podaje explicite skąd pochodzi wersja algorytmu przedstawiona na stronie 33 rozprawy (Algorytm 2.1). Ponieważ Autor nie zamieścił wyprowadzenia tego algorytmu lub dowodu jego poprawności, więc wskazanym było podanie źródła zawierającego takie wyprowadzenie. Wzmianki o wersjach algorytmu rysowania odcinka prostej z antyaliasingiem na stronach 32 i 33 rozprawy, w sformułowaniu jak na wymienionych stronach, nie wnoszą treści odpowiadających rozprawie naukowej.

Treści w poszczególnych częściach rozprawy nie wszędzie są spójne. Dotyczy to np. opisu algorytmu Bresenhama w punkcie 2.1 i opisu jego wykorzystania w punkcie 9.4. Cytuję fragment punktu 2.1: „Autor niniejszej rozprawy wzorował się na algorytmie Bresenhama podczas prac nad algorytmem integracji pomiarów w mapie otoczenia wykonywanych za pomocą skanera laserowego z dużą częstotliwością. Dokładny opis zastosowanego algorytmu i jego implementacji na procesorze sygnałowym znajduje się w rozdziale 9.” (str. 33 – 34) Wspomniany opis algorytmu budowy mapy znajduje się w

punkcie 9.4 rozprawy (strony 87 – 89), ale trudno go uznać za „dokładny opis zastosowanego algorytmu i jego implementacji na procesorze sygnałowym”.

W opisie algorytmu Lee wyznaczania ścieżki nie podano znaczenia symboli T (strona 36, wiersz 3 algorytmu 3.1) oraz findCells (strona 36, wiersz 4 algorytmu 3.1).

W opisie funkcji kryterialnej dla algorytmu szukania najkrótszej drogi w grafie A\* umożliwiającej oszacowanie kosztu przejścia kolejnych węzłów grafu (siatki) – punkt 9.5 – nie podano wartości stałych definiujących funkcję kryterialną, co uniemożliwia wykonanie obliczeń przez osoby zainteresowane przetestowaniem algorytmu.

Część II rozprawy grupująca rozdziały od 6 do 11 zatytułowana została „Rozważania teoretyczne”. W istocie jest opisem funkcjonalnym platformy mobilnej, pokazuje podział na moduły, zawiera opis funkcjonowania i współpracy modułów oraz opisuje zastosowane algorytmy realizujące zdefiniowane wcześniej funkcjonalności.

Informację o złożoności obliczeniowej algorytmów Autor zamieścił w oddzielnym rozdziale. Wydaje się, że bardziej użyteczna dla Czytelnika byłaby taka informacja umieszczona w opisie algorytmu.

Autor w Bibliografii wymienia światowy podręcznik grafiki komputerowej „Computer Graphics Principles and Practice, Second Edition in C”, niezbyt ściśle podając autorów J.D. Foley, A. van Dam, S. K. Feiner, J.F. Hughes jako redaktorów. Warto nadmienić, że istnieje nieznacznie skrócona wersja tego podręcznika pt. „Introduction to Computer Graphics” tych samych autorów plus R.L. Phillips, którego wydanie z 1994 roku udostępniły w roku 1995 Wydawnictwa Naukowo-Techniczne w polskiej wersji językowej, w tłumaczeniu prof. Jana Zabrodzkiego.

## **Podsumowanie**

Rozprawa doktorska mgr inż. Adama Wulkiewicza spełnia wymagania ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (z późniejszymi zmianami – tekst jednolity Dz.U. z 2016, poz. 882), w szczególności wymagania określone w artykule 13 ustęp 1 odnośnie oryginalności rozwiązań naukowych w zakresie informatyki w naukach technicznych. Jest pracą o charakterze projektowym, konstrukcyjnym i technologicznym i tym samym spełnia wymogi ustępu 3 artykułu 13 ustawy. Poprzez wyraźne wyodrębnienie z całości projektu robota indywidualnego wkładu Doktoranta w ten projekt spełnia

wymogi ustępu 4 artykułu 13 obowiązującej ustawy.

W konkluzji wnoszę o przyjęcie rozprawy doktorskiej mgra inż. Adama Wulkiewicza i po spełnieniu pozostałych wymogów związanych z przewodem doktorskim, o dopuszczenie Go do publicznej obrony pracy doktorskiej.

Waldemar Relowski