

dr hab. inż. Mariusz Zubert, prof. P.Ł.  
Tytuł, stopień, imię i nazwisko

Łódź, 29 X 2018 r.  
data

Katedra Mikroelektroniki i Technik Informatycznych  
Politechnika Łódzka  
miejsce pracy

**KWESTIONARIUSZ-RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ  
WYKONANA DLA RADY WYDZIAŁU WYDZIAŁ INFORMATYKI,  
ELEKTRONIKI I TELEKOMUNIKACJI AKADEMIA GÓRNICZO-  
HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

Tytuł rozprawy: **„Behawioralny algorytm koordynacji ruchu robotów mobilnych oparty na modelu postępowania przemieszczających się osób”.**

Autor rozprawy: **mgr inż. Szymon Szomiński**

**1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy (teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?**

Przedmiotem podjętych przez doktoranta badań jest opracowanie behawioralnych algorytmów koordynacji ruchu robotów mobilnych w oparciu o zachowania inspirowane przemieszczających się grup osób (lub zwierząt) w celu rozstrzygnięcia sytuacji konfliktowych (koordynowania) poruszających się robotów w dynamicznie zmieniającym się środowisku. Celem praktycznym tych prac było opracowanie algorytmów i ocena ich przydatności na nieholonomicznej Czterokołowej Autonomicznej Platformie mObilnej (CAPO) opracowanej w Katedrze Informatyki Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie (AGH) [89] z możliwością ich adaptacji dla innych jednostek mobilnych. Zagadnienia te są bardzo istotne z punktu widzenia prac nad zautomatyzowanymi pojazdami autonomicznych (sklasyfikowanymi według SAE<sup>1</sup> na poziomie 4. i 5.).

---

<sup>1</sup> Zobacz więcej na stronie [www.sae.org](http://www.sae.org).

Postawiony w pracy problem jest pokrewny z zagadnieniami rozpatrywanymi dotychczas w ramach dynamicznej teorii gier (ang. *dynamic search game theory*, *dynamic game of strategy theory* - A. Kaufmann 1967, O. Hajek 1975, T. Basar & G.J. Olsder 1982), jednak dotychczasowe badania z zakresu teorii gier były bardziej ukierunkowane w celu wyznaczenia samej drogi w określonych warunkach środowiskowych (bez koordynacji ruchów jednostek mobilnych).

Postawione zagadnienia badawcze zostały przedstawione w sposób jasny. Autor przedstawił w rozprawie szczegółowe wprowadzenie do tematyki automatycznego wyznaczania trajektorii robotów mobilnych uwzględniając wiodące rozwiązania<sup>2</sup> oraz koncepcje behawioralne zachowań społecznych ludzi i zwierząt podczas autonomicznego:

- planowania trasy,
- grupowania robotów,
- wyznaczania pierwszeństwa ruchu,

uwzględniając:

- zjawisko respektu modelowane za pomocą wzorów (4.1, 4.2, 4.6) oraz algorytmów „R” i „R+” opisane na str. 43-49,
- zasady przyznawania pierwszeństwa (wyższego priorytetu) jednostką opuszczającym zamknięte przestrzenie opisanej za pomocą wzorów (4.3)-(4.6),
- zasady przyznawania pierwszeństwa według tzw. zasady „prawej dłoni” realizowany przez algorytm „PR” przedstawiony na str. 52.

przy następujących założeniach:

- zdecentralizowane systemy autonomiczne jednostek mobilnych,
- reaktywny behawioralny algorytm koordynator ruchu robota,
- dynamicznie zmieniające się środowisko,
- możliwość ustalenia priorytetu bazowego jednostek,
- synchronizacja co 0.2 sekundy,
- pozycjonowanie jednostek przeprowadzane przez niezależny system.

---

<sup>2</sup> ang. Interaction Grid, Aggression Grid, Probabilistic Congestion Control, Velocity Obstacles, Reciprocal Velocity Obstacles, Biased Reciprocal Velocity Obstacles, Acceleration Velocity Obstacle itp.

Sformułowana przez doktoranta teza dobrze definiuje rozpatrywane zagadnienie badawcze: *Behawioralny i zdecentralizowany algorytm sterowania ruchem robotów mobilnych, oparty o zachowania inspirowane postępowaniem przemieszczających się osób, może być wykorzystany do bezpiecznego i skutecznego koordynowania ruchu grupy robotów działających w dynamicznie zmieniających [się] środowiskach* (str. 37).

Główny nurt rozprawy i zaproponowane w ramach niego algorytmy klasyfikuję jako teoretyczny, natomiast sposób przeprowadzenia weryfikacji działania algorytmów ma charakter doświadczalny.

## **2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł (w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zagadnień w przemyśle) świadczą o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?**

Doktorant jest Autorem lub Współautorem w sumie 17 prac (80 pkt.) w tym prac opublikowanych w następujących czasopismach: *Procedia Computer Science* (2×15 pkt.), *Schedae Informaticae* (11 pkt.), *Information Systems in Management* (5 pkt.), *Metody Informatyki Stosowanej* (4 pkt.) a także w międzynarodowych materiałach konferencyjnych:

- *Computer Information Systems and Industrial Management* (CISIM, 10 pkt.),
- *EUROPEAN Conference on Modelling and Simulation* (ECMS, 10 pkt.),
- *Computer Science and Information Systems* (FedCSIS, 10 pkt.).

W spisie literatury zacytował 107 prace innych autorów, obejmujących szeroki przegląd zagadnień związanych z algorytmami koordynacji ruchu robotów a także zachowaniem jednostki i grupy widzianym z punktu widzenia psychiatrii, biologii, uwarunkowań społecznych. W większości są to prace anglojęzyczne świadczące o bardzo dobrej orientacji autora w trendach i osiągnięciach światowej nauki w rozpoznanej problematyce.

## **3. Czy autor rozwiązał przedstawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?**

Cel praktyczny podjętych badań został osiągnięty przez Doktoranta w wyniku implementacji autorskich oraz konkurencyjnych algorytmów koordynacji i oceny ich przydatności w wybranych warunkach. Testy działania algorytmów zostały przeprowadzone w opracowanym

przez doktoranta środowisku symulacyjnym (dla otwartej przestrzeni, przejścia przez drzwi, wąskiego korytarza, równorzędnego skrzyżowania, „skrzyżowania typu 8”, mijanki). Ponadto przeprowadzono testy w rzeczywistym środowisku testowym (dla otwartej przestrzeni, otwartej przestrzeni przejazd na skos, przejścia przez drzwi, wąskiego korytarza i mijanki); wykorzystano w tym celu platformy mobilne CAPO, których doktorant jest współautorem [89,87]. Lokalizacja rozmieszczenia pojazdów jest określana przez (opracowany samodzielnie przez Doktoranta) niezależny system wykorzystujący kamerę umieszczoną nad labiryntem, z której obraz jest przetwarzany przez niezależny „serwer lokalizacji” rozsyłający dane do wszystkich uczestników ruchu. Pozycja i zwrot pojazdów jest określany za pomocą markerów Aruco umieszczonych na pojazdach. Do analizy testów symulacyjnych oraz rzeczywistych zastosowano test Dunna w celu statystycznego stwierdzenia identyczności rozwiązań. Wyniki symulacji i rzeczywistych eksperymentów zostały wielokrotnie powtórzone co właściwe z punktu widzenia przeprowadzonej analizy statystycznej oraz pokazania możliwości zakleszczania się algorytmów (jednostek mobilnych).

Autor rozprawy zaproponował przebieg symulacyjnych i rzeczywistych eksperymentów pomiarowych oraz zastosował test Dunna w celu statystycznego stwierdzenia identyczności rozwiązań wyznaczonych przez badane algorytmy koordynujące. W ten sposób potwierdzono postawioną tezę.

Moje drobne zastrzeżenia budzi analiza poziomu ufności testów Dunna na podstawie uzyskanych wyników. Byłoby lepiej założyć poziom ufności i dla niego potwierdzić lub odrzucić hipotezę o statystycznej identyczności uzyskanych rozwiązań dla różnych algorytmów koordynujących ruch jednostek mobilnych.

W odpowiedzi na moje pytanie dot. sposobu synchronizacji algorytmów „R”, „R+”, „PR” i „PR+” dla jednostek mobilnych podczas symulacji i rzeczywistych testów uzyskałem satysfakcjonującą mnie odpowiedź. Bardzo proszę autora rozprawy o włączenie tej odpowiedzi do prezentacji lub odpowiedzi na pytania

#### **4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?**

Oryginalność rozprawy polega na opracowaniu behawioralnych algorytmów koordynacji ruchu robotów mobilnych w oparciu o zachowania inspirowane przemieszczających się grup osób (lub zwierząt) w celu koordynowania ruchu robotów oraz eksperymentalne przebadanie równoważności rozwiązań proponowanego algorytmu i alternatywnych.

#### **5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?**

Praca została przygotowana starannie i została dobrze zredagowana. Przedstawione rozważania teoretycznych oraz analizy przeprowadzonych testów tworzy logiczną i spójną całość opartą na poprawnej metodyce badań. Doktorant rozwiązał problem kompleksowo począwszy od analizy dotychczas stosowanych rozwiązań, poprzez zaproponowanie Autorskich algorytmów, poprzez opracowanie systemów symulacji i testowania na rzeczywistych jednostkach mobilnych (Współautor).

#### **6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?**

Autor rozprawy nie ustrzegł się drobnych błędów podczas redagowania pracy, które nie zmieniają rangi uzyskanych wyników i wkładu doktoranta do dziedziny:

- Str. 67 „Roboty, których cele są zbieżne tworzą grupę,... Poprzez cele rozumieć należy wspólny kierunek ruchu...” – proponuję sprecyzować, że chodzi o cele cząstkowe lub lokalne i kierunek ruchu w rozpatrywanej lokalizacji w aktualnej chwili czasowej.
- Str. 67 „Pomiędzy poszczególnymi robotami występuje zależność osobnika obdarzonego większym respektem w stosunku do pozostałych uczestników ruchu” – z punktu widzenia matematycznej relacji zapis jest poprawny, jednak z punktu widzenia „normalnego czytelnika” w przyszłości proponuję rozważyć zamianę występujących podmiotów w przytoczonym zdaniu.

- Str. 68 „Współczynnik respektu reprezentowany jest przez pojedynczą liczbę rzeczywistą  $k_j$ ...” – rozumiem o co chodziło autorowi rozprawy, jednak wydaje mi się bardziej zręczne zaznaczenie na początku pracy, że wszystkie wartości współczynników oraz zmiennych należą do zbioru liczb rzeczywistych i ewentualnie wskazanie zmiennych przyjmujące wartości dyskretne.
- Strony 72-80, brak konsekwencji w formatowaniu nazw algorytmów: „PF”, „PF+”, „R” i „R+”. Czasami nazwy są napisane kursywą a czasami czcionką bez kursywy.
- W pracy wielokrotnie występuje słowo „stworzyć”. W chwili obecnej odstępuje się od starych związków frazeologicznych tego słowa<sup>3,4</sup> na rzecz bezpośredniego tłumaczenia angielskiego słowa „create”<sup>5</sup>. Chciałbym jednak zasugerować przynajmniej próbę zastosowania innego określenia w części wystąpień tego słowa.

## 7. Jaka jest przydatność naukowa rozprawy?

Podjęte badania Mgr. inż. Szymona Szomińskiego dotyczyły algorytmów koordynacji ruchów robotów i ich implementacji w systemie, który w dużej części *współtworzył*. Należy jednak również podkreślić, że prace dotyczyły próby przeniesienia zachowań społecznych, które ewoluowały w organizmach żywych podczas długiego czasu ich rozwoju i wprowadzenia ich analitycznych modeli do (autonomicznych) systemów realizujących cel przy jak najmniejszej kolizji (konfliktów) z innymi robotami w zmiennym środowisku (np. najszybszego przemieszczenia się ze wskazanego punktu do docelowego). Istotnym elementem pracy jest również stwierdzenie równoważności rozwiązań znalezionych przez Autorskie i dotychczas znane algorytmy koordynacji analizowanych ang. *distributed autonomous robotic systems and society* ze zdecentralizowanym sterowaniem (ang. *decentralized control and operation*), oraz pokazanie, który z algorytmów jest lepszy (np. zapewnia najszybsze pokonanie zadanych tras przez wszystkie roboty, najmniejszą liczbę kolizji) dla typowych sytuacji testowych, które przedstawił w rozprawie.

<sup>3</sup> „Cz. Stworzyć coś z niczego”, „wywiedzenie rzeczy z niczego, to jest bez żadnej przedłożonej materii”, „wyprowadzenie z niczego”, „dać byt czemuś”. *Słownik Języka Polskiego* pod red. Adama Kryńskiego i Władysława Niedoźwiedzkiego, Warszawa 1909 r.

<sup>4</sup> „powołać do istnienia, do życia; sprawiać, że coś zaczyna istnieć”. *Słownik Języka Polskiego* pod red. W. Doroszewskiego, Wydawnictwo Naukowe PWN, wersja online.

<sup>5</sup> 2. „stać się przyczyną, podstawą czegoś, spowodować coś”, 3. „wymyślić coś i nadać temu określoną formę”, 5. „nadać komuś, czemuś jakieś cechy”. *Słownik Języka Polskiego* PWN, wersja online.


Z punktu widzenia praktycznego wyniki przedstawione w pracy mogą bezpośrednio znaleźć zastosowanie w zrobotyzowanych magazynach<sup>6</sup> takich firm jak np. Amazon, The Gap, Walgreens, Staples, Gilt Groupe, Office Depot, Crate & Barrel i Saks 5th Avenue. W przyszłości rozwiązania koordynacji jednostek autonomicznych będą istotne w przypadku zarządzania pojazdami autonomicznymi w sytuacjach kolizyjnych i zagrożenia życia, zwłaszcza w przypadku udziału w zdarzeniu pojazdów autonomicznych (klasy SAE 4 i SAE 5) wyprodukowanych przez różnych producentów (tzn. posiadających inne algorytmy wyznaczania toru i dynamiki jazdy) oraz zderzeń pojazdów autonomicznych z pojazdami kierowanymi przez człowieka.

## **8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:**

Moja ocena recenzowanej rozprawy jest wysoka; podjęte w rozprawie zagadnienia stanowią istotny wkład dla specjalistów zajmujących się pojazdami autonomicznymi. Doktorant rozwiązując postawiony problem wykazał się inwencją twórczą podczas projektowania algorytmów koordynacji behawioralnej, projektowania eksperymentów badawczych oraz analizy uzyskanych wyników. Opiniowana praca została przygotowana starannie i została dobrze zredagowana. Przedstawione rozważania teoretycznych oraz analizy przeprowadzonych testów tworzy logiczną i spójną całość opartą na dobrej metodyce badawczej. Doktorant rozwiązał problem kompleksowo począwszy od analizy dotychczas stosowanych rozwiązań, poprzez zaproponowanie Autorskich algorytmów, poprzez opracowanie systemów symulacji i testowania na rzeczywistych jednostkach mobilnych (Współautor). Zaprezentowane w rozprawie wyniki są cennymi dla innych badaczy podjętych zagadnień.

Zgodnie z moim rozeznanieniem **przedstawiona rozprawa spełnia warunki określone przez Ustawę z dnia 14 marca 2003 (wraz z późniejszymi zmianami) o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 Nr 65 poz. 595), dlatego też wnoszę o dopuszczenie Pana mgr. inż. Szymon Szomińskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

*Mariusz Zubert*



---

<sup>6</sup> Systemy produkowane przez Amazon Robotics LLC.