



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI
I AUTOMATYKI

Prof. dr hab. inż. Roman Śmierzchalski
tel. (+58) 348 63 27
email: roman.smierzchalski@pg.edu.pl

Gdańsk, 10 sierpień 2024 r.

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY DYSCYPLINY
AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA, ELEKTROTECHNIKA I TECHNOLOGIE KOSMICZNE
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Tytuł rozprawy: **Trajectory Planning for a Social Robot Using a Hybrid Trajectory Candidates Generation and Spatiotemporal Cost Functions**

Autor rozprawy: **mgr inż. Jarosław Karwowski**

1. Jakie zagadnienie naukowe/badawczy jest rozpatrzone w pracy /cel rozprawy/ i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora?

Rozwój technik w zakresie robotyki, a w szczególności nawigacji robotów społecznych, doprowadził w ostatnich latach do powstania nowych systemów umożliwiających ich autonomiczne sterowanie. Pozwoliło to na zwiększenie mobilności tych robotów w określonym środowisku społecznym. Warunkiem prawidłowego sterowania robotami społecznymi jest opracowanie zasad nawigacji robotów w otoczeniu ludzi oraz analiza czynników mogących powodować dyskomfort podczas współpracy. Jednak w większości przypadków opracowane systemy nawigacji nie uwzględniają wieloaspektowych zasad, są zwykle niekompletne oraz zniekształcają społeczną akceptację współpracy z robotami. Istotne jest opracowanie systemów uwzględniających powyższe aspekty oraz narzędzi pozwalających na porównywanie technik nawigacji robotów w kontekście społecznym.

W pracy doktorskiej celem było rozwiązanie zagadnienia opracowania algorytmów planowania trajektorii robotów, których głównym zadaniem jest poruszanie się w środowiskach współdzielonych z ludźmi. Główny nacisk położono na zapewnienie jakości nawigacji robotów, umożliwiającej podniesienie komfortu ich wykorzystania przy jednoczesnym zachowaniu wydajności nawigacji w porównaniu z tradycyjnymi metodami planowania trajektorii.

W niniejszej rozprawie sformułowano następujące tezy:

Teza 1: Najnowocześniejsze lokalne metody planowania trajektorii dla robotów mobilnych nie przewyższają tradycyjnych algorytmów pod względem skuteczności nawigacji i łagodzenia dyskomfortu ludzi w środowisku robota. Teza ta stwierdza, że dokładne porównanie lokalnych metod planowania trajektorii wymaga przeprowadzenia ich ewaluacji na podstawie badań, w których każdy weryfikowany algorytm działa w tych samych warunkach środowiskowych, a czynniki wpływające na wyniki eksperymentów są obiektywne. Kryteria oceny w tym przypadku są wieloaspektowe i odnoszą się do podstawowych wymagań dotyczących nawigacji robotów społecznych. Obejmują one wykonanie zadania przez robota, mierzone jako czas potrzebny do osiągnięcia pozycji docelowej, a także oceny dyskomfortu ludzi w odniesieniu do naturalności ruchu robota i postrzeganego bezpieczeństwa osób współtowarzyszających. Ponadto ilościowa ocena dyskomfortu ludzi i skuteczności zadania nawigacyjnego robota jest możliwa dzięki wskaźnikom istotnym dla oceny nawigacji robotów społecznych. Tezę tę udowodniono na podstawie badań ilościowych wskaźników wydajności robota i oceny dyskomfortu człowieka.

Teza 2: Metoda lokalnego planowania trajektorii może umożliwić robotom skuteczne działanie w środowiskach współdzielonych z ludźmi, przy czym skuteczność może zostać określona ilościowo poprzez analizę wydajności w porównaniu z istniejącymi tradycyjnymi metodami w zakresie odporności, skuteczności zadań nawigacyjnych i łagodzenia dyskomfortu wśród ludzi w środowisku robota. Teza ta stwierdza, że możliwe jest opracowanie metod adaptacji robotów do działania w zaludnionych środowiskach, a stopień

adaptacji jest mierzalny. Autor przeprowadził weryfikację wydajności lokalnych algorytmów planowania trajektorii w porównaniu z istniejącymi metodami tradycyjnymi. Porównanie algorytmów wymagało przeprowadzenia szeregu badań testowych w oparciu o określone scenariusze.

Należy jednoznacznie stwierdzić, że tezy pracy zostały sformułowane prawidłowo.

Kluczowym krokiem w pracy było zaproponowanie nowej metody planowania trajektorii uwzględniającej ograniczenia wynikające z obecności ludzi w środowisku robota, przy jednoczesnym zapewnieniu wydajności zadania nawigacyjnego porównywalnej z tradycyjnymi podejściami sterowania robotem. Autor rozprawy opracował system o nazwie HUmAn-Aware Trajectory Planner MApping the Pedestrians Motion Pattern (HUMAP) jako system planowania geometrycznego. System ten pozwolił na przeprowadzenie badań obejmujących skuteczność realizowanych zadań i efektywność nawigacji robota w środowiskach współdzielonych z ludźmi.

Praca jest zorganizowana w sposób logiczny, co pozwala na przeanalizowanie istoty rozwiązywanego problemu. W części wstępnej autor opisuje uzasadnienie problemu i argumentuje zasadność poszukiwania rozwiązań, definiując jednocześnie wymagania wobec nawigacji robotów społecznych. Przegląd literatury pozwolił na określenie wymagań dotyczących nawigacji robotów społecznych, które powinny zostać uwzględnione przy projektowaniu systemów sterowania. Wymagania te podzielono na trzy główne kategorie: szeroko rozumiane bezpieczeństwo ludzi, naturalność ruchu robota oraz zgodność pracy robota z normami społecznymi. Istotną innowacją jest opracowanie narzędzi umożliwiających porównywanie technik nawigacji robotów z perspektywy społecznej, wprowadzając kryteria ilościowe do oceny nawigacji robotów społecznych. Umożliwia to stworzenie wzorca w porównaniu z tradycyjną nawigacją robotów oraz wskaźników jakościowych do oceny społecznej nawigacji robotów. Jednym z kluczowych wskaźników jest wskaźnik oceny dyskomfortu ludzi, który uwzględnia niepewność śledzenia człowieka, co umożliwia ocenę efektywności wykorzystania systemów percepcji robota. Ewaluację jakości nawigacji robotów, opartą na wdrożonych w systemie wskaźnikach oceny, przeprowadzono w symulowanych i rzeczywistych środowiskach. W pracy rozważano również problem planowania trajektorii z uwzględnieniem obecności człowieka, gdzie generowano zbiór trajektorii opartych na kryterium przestrzenno-czasowym z przesuwającym horyzontem dla systemów dynamicznych o zmiennym środowisku. Proponowane rozwiązania, jak wskazano w pracy, są odpowiednie dla robotów mobilnych z napędami różnicowymi i holonomicznymi. Generowano zbiory trajektorii dopuszczalnych, opartych na dwóch strategiach: strategii opartej na sparametryzowanym deterministycznym modelu ruchu pieszych, uwzględniającym realistyczne procedury unikania kolizji, oraz próbkowaniu dopuszczalnych składowych wektora prędkości. Kryteria oceny poszczególnych trajektorii uwzględniają zarówno problem unikania kolizji, jak i aspekty społeczne związane ze sposobem zachowania się robota w kontekście fizycznym oraz bezpieczeństwa osób współtowarzyszących. Badania i testowanie opracowanych algorytmów planowania trajektorii oparto na eksperymentach przeprowadzonych w środowisku symulacyjnym i rzeczywistym laboratorium. Przygotowano szereg scenariuszy, które pozwoliły na porównanie proponowanych algorytmów z tradycyjnymi metodami nawigacji robotów, dedykowanych do działania wśród ludzi.

W pracy opracowano nowe metryki zastosowane w systemie Social Robot Planner Benchmark (SRPB), które dotyczą oceny z perspektywy nawigacji tradycyjnej robotów oraz zachowań ludzi. W porównaniu z istniejącymi systemami wzorcowymi, proponowane podejście rozszerza różnorodność metryk do oceny wydajności nawigacji oraz wprowadza nowe metryki skoncentrowane na koncepcjach zachowań ludzkich. Innym istotnym i oryginalnym aspektem pracy jest to, że wskaźniki zachowań społecznych uwzględniają niepewność śledzenia ludzi, co ułatwia ocenę przy użyciu systemów percepcji pokładowej robota. System testowy nawigacji opracowano w taki sposób, że może być wykorzystywany do badań robotów działających w symulowanych i rzeczywistych środowiskach, z różnymi typami robotów o napędach nieholonomicznych lub holonomicznych.

Na podstawie badań działania systemu nawigacji Autor wykazał, że opracowana metoda planowania trajektorii ruchu robotów społecznych w znaczący sposób poprawia jakość nawigacji robota. Uwzględniając wymagania społecznej nawigacji robota, proponowane algorytm przewyższa dotychczas stosowane metody, poprawiając komfort współpracy z robotami poruszającymi się w różnych środowiskach (modelowanych w pracy scenariuszach). W ten sposób Autor jednoznacznie udowodnił tezy pracy.

Rozprawa doktorska wypełnia lukę w zakresie planowania trajektorii robotów społecznych i doboru wskaźników oceniających prospołeczne zachowania robotów w różnych dynamicznych środowiskach. Podejmuje zagadnienie opracowania rozwiązań pozwalających na sformułowanie oryginalnej procedury oceny trajektorii robotów przy przeprowadzaniu analizy za pomocą określonych kryteriów. Zaprojektowany system

sterowania robotem HUMAP w oparciu o określony algorytm pozwala na zbadanie efektywności metody i jej weryfikację w oparciu o scenariusze w środowisku symulowanym i rzeczywistym laboratorium.

Podsumowując, praca ma jasno sprecyzowany problem naukowy i wnosi istotny wkład w analizę trajektorii robota społecznego z uwzględnieniem oddziaływania na ludzi. Prowadzi do opracowania naukowo uzasadnionej metody planowania trajektorii robota, uwzględniającej wskaźniki i kryteria oceny trajektorii w kontekście kompleksowej analizy oddziaływania na społeczność. Zdaniem recenzenta, główny nacisk Autora został położony na opracowanie algorytmu planowania trajektorii, mającego na celu zwiększenie społecznej akceptacji poruszających się robotów w dynamicznie zmieniającym się środowisku. Robot nawigujący społecznie musi zapewnić fizyczne i psychiczne bezpieczeństwo ludzi, naśladować naturalny ruch ludzi oraz przestrzegać norm społecznych, jednocześnie spełniając wymagania klasycznej nawigacji robotów.

Biorąc to pod uwagę, Autor podjął trudną próbę opracowania nowej struktury planowania ruchu robota społecznego, której priorytetem jest łagodzenie dyskomfortu człowieka poprzez uwzględnienie licznych wymagań. Zaprojektowany i wdrożony przez Autora system sterowania robotem umożliwi płynną nawigację i społeczną akceptację robota działającego w zaludnionych środowiskach. Opracowany przez Autora system sterowania robotem może być wykorzystany w zastosowaniach praktycznych, co stanowi istotny wkład w rozwiązanie problemu zarówno od strony naukowej, jak i aplikacyjnej.

Praca wpisuje się w zakres badawczy dyscypliny automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł, w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle, świadczący o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Autor dokonał bardzo obszernego przeglądu literatury, obejmującego 421 źródeł, głównie pod kątem analizy sterowania robotami społecznymi, na której opiera się rozprawa. Należy podkreślić, że części rozprawy zostały już opublikowane jako artykuły w czasopiśmie i referaty konferencyjne o zasięgu światowym. Obszerny przegląd literatury stanowi znaczący wkład w część badawczą pracy. Na podstawie literatury omawianej w niniejszej pracy, Autor wykazuje, w jaki sposób koncepcje badane przez naukowców zajmujących się robotyką i naukami społecznymi mogą zostać przeniesione na wymagania dla systemów sterowania robotów, realizujących zadania nawigacji robotów społecznych.

Przegląd ten dotyczy wymagań dotyczących fizycznego bezpieczeństwa ludzi, oceny naturalności ruchu robota oraz zgodności z konwencjami społecznymi. Pozwolił on na identyfikację podstawowych wymagań i cech określających strategie sterowania robotami w sposób naśladowający ludzkie zachowania, odnoszących się do nawigacji robotów społecznych. Ponadto, na podstawie literatury dokonano klasyfikacji istniejących podejść do nawigacji robotów społecznych oraz aktualnych testów porównawczych zgodnie z proponowaną taksonomią wymagań i metod adaptacji robotów do działania wśród społeczności.

Klasyfikacja wymagań nawigacyjnych robotów społecznych pozwoliła na identyfikację luk w algorytmach planowania ruchu oraz wad najnowocześniejszych metod oceny. Problem ilościowej oceny nawigacji robotów społecznych jest jednym z głównych wyzwań, które zostały zidentyfikowane. Różne metryki do oceny tradycyjnych koncepcji nawigacji robotów zostały już zaimplementowane w różnych systemach porównawczych, jednak stwierdzono brak wskaźników do oceny nawigacji robotów pod kątem wymagań dotyczących fizycznego i postrzeganego bezpieczeństwa ludzi, a także oceny naturalności ruchu robota. Metryki zaproponowane w pracy do oceny nawigacji robotów zostały zdefiniowane bezpośrednio na podstawie literatury, w oparciu o wyniki różnych badań oraz określone wymagania.

Wnioski sformułowane przez Autora na podstawie przeglądu literatury są trafne i jednoznaczne, podkreślając, że uzasadnione jest przeprowadzanie analizy trajektorii robota społecznego z uwzględnieniem oddziaływania na ludzi. Przy planowaniu trajektorii robota społecznego należy uwzględnić wskaźniki i kryteria oceny trajektorii w celu kompleksowej analizy oddziaływania na ludzi współdzielących środowisko. Całość rozprawy świadczy o bardzo dobrych umiejętnościach poznawczych oraz szerokiej wiedzy Autora w zakresie tematyki prezentowanej w pracy, w szczególności dotyczącej analizy nawigacji robotów społecznych i planowania trajektorii.

Według bazy Scopus, Autor rozprawy posiada w swoim dorobku 5 publikacji z czego 4 uwzględnione w pracy doktorskiej. Prace te przedstawiał zarówno na znaczących konferencjach, jak i w czasopiśmie (m.in. Sensors, IEEE Access, Journal of Automation, Mobile Robotics and Intelligent Systems), a zostały one cytowane

19 razy (h-indeks 3). Parametry te świadczą o stosunkowo wysokim pozycjonowaniu Autora jako rozpoczynające pracę badawczą naukowca.

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

Głównym celem rozprawy jest opracowanie algorytmu poprawiającego jakość nawigacji robotów działających w środowiskach współdzielonych z ludźmi. Wiąże się to z dyskomfortem człowieka spowodowanego ruchem robota, który wykonuje wyznaczone zadania usługowe oraz wchodzi w interakcje z ludźmi w określony sposób.

Uwzględniając aspekty nawigacji robotów społecznych, w pracy określono wymagania, które należy wdrożyć w systemach nawigacji tych robotów, wprowadzono oceny ilościowe oraz zaproponowano dodatkowe metryki do oceny zgodności algorytmów nawigacyjnych z podstawowymi wymaganiami. Przedstawiono także lokalne podejście do planowania trajektorii, które dostosowuje roboty do nawigacji w środowiskach współdzielonych z ludźmi.

Prezentowana praca podkreśla wszechstronność wymagań i metod, demonstrując ich stosowalność dla różnych robotów społecznych i rozszerzając ich użyteczność na szeroko rozumianą robotykę. Należy jednak uwzględnić istotne ograniczenia i warunki stosowanych metod, niezbędne do zapewnienia skuteczności oraz odporności w różnych środowiskach. Te ograniczenia można głównie podzielić na dwie kategorie: wynikające z charakterystyki systemu i uzyskanych danych o środowisku, w którym działa robot, oraz z właściwości proponowanych metod. Jednym z najbardziej istotnych ograniczeń metod jest jakość pracy modułów percepcji.

Podsumowując, zagadnieniem, które Autor postanowił rozwiązać, było stworzenie efektywnego systemu poprawiającego jakość nawigacji robotów działających w środowiskach współdzielonych z ludźmi. Opracowany system i metody, uwzględniając przeprowadzone badania, są właściwe i wpisują się w nurt współczesnych rozwiązań w systemach nawigacji robotów społecznych.

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?

Na samodzielny i oryginalny dorobek Autora pracy składają się:

- Opracowanie ilościowych wskaźników oceny nawigacji robotów społecznych, dotyczących oceny dyskomfortu ludzi jako miary społecznej adekwatności robota. Wskaźniki te obejmują postrzeganie bezpieczeństwa ludzi oraz stopień naturalności ruchu robota.
- Opracowanie wymagań dotyczących nawigacji robotów społecznych dla różnych metod planowania ruchu, opartych na stworzonych wskaźnikach oceny nawigacji.
- Implementacja wskaźników dyskomfortu ludzi, uzupełnionych o metryki do oceny zgodności algorytmów z klasycznymi wymaganiami nawigacji robotów w systemie benchmarkowym Social Robot Planner Benchmark (SRPB), służącym do testowania robotów działających w środowiskach symulowanych i rzeczywistych dla różnych typów robotów.
- Określenie niepewności związanej ze śledzeniem ludzi przy użyciu czujników pokładowych robota oraz modułów percepcji.
- Zaprojektowanie i implementacja hybrydowej metody planowania trajektorii lokalnej mobilnych robotów, uwzględniającej aspekty społeczne, wprowadzając ograniczenia łagodzące dyskomfort ludzi przy jednoczesnym zapewnieniu wydajności zadania nawigacyjnego w porównaniu do tradycyjnych metod planowania. Podstawowymi cechami proponowanej metody planowania trajektorii są: hybrydowe podejście do generowania zbioru dopuszczalnych trajektorii oraz ocena tych trajektorii za pomocą wieloaspektowej funkcji celu, uwzględniającej wydajność w zakresie unikania kolizji, efektywności ruchu, długości trasy oraz dyskomfortu ludzi, w tym wykonywanie naturalnych ruchów, respektowanie przestrzeni osobistej oraz zwiększenie czytelności ruchu.
- Opracowanie autorskiego systemu planowania trajektorii lokalnej robota o nazwie Human-Aware Trajectory Planner Mapping the Pedestrians Motion Pattern (HUMAP), spełniającego ilościowe

wytyczne wskaźników oceny nawigacji robotów społecznych z napędem różnicowym i holonomicznym, działających w częściowo obserwowalnych, nieustrukturyzowanych środowiskach.

- Określenie wskaźników postrzegania bezpieczeństwa ludzi znajdujących się w otoczeniu nawigującego robota, poprzez analizę zakresu naruszenia przestrzeni osobistej ludzi.
- Stworzenie środowiska informatycznego umożliwiającego sterowanie robotem w badaniach symulacyjnych i rzeczywistych laboratoryjnych.
- Modelowanie i generowanie scenariuszy do badania, walidacji i porównania metod planowania trajektorii robota społecznego.
- Przeprowadzenie badań oceniających poszczególne metody planowania trajektorii pod względem wydajności oraz dyskomfortu ludzi, ze szczególnym uwzględnieniem metody HUMAP.

Na szczególne podkreślenie zasługują następujące elementy:

- Poprawność studiów teoretycznych i analiz naukowo-badawczych nad rozpatrywanym problemem naukowym.
- Aktualność zaproponowanego tematu w kontekście potrzeb związanych z wykorzystaniem systemów sterowania robotami społecznymi.
- Precyzyjne zdefiniowanie przedmiotu badań wynikającego z rozpoznania rozważanych problemów.
- Umiejętność wnikliwego korzystania z literatury specjalistycznej oraz formułowania oryginalnych wniosków, co świadczy o dojrzałości naukowej Autora.
- Przyjęcie oryginalnego programu badań symulacyjnych i w warunkach zbliżonych do rzeczywistych – rzeczywistych laboratoryjnych.
- Możliwość wykorzystania wyników rozprawy do celów praktycznych związanych ze sterowaniem robotem.
- Bardzo staranne i przejrzyste wykonanie pracy.
- Przedstawione osiągnięcia stanowią istotne rozwinięcie w stosunku do istniejących rozwiązań przedstawianych w literaturze, szczególnie w zakresie uwzględnienia dyskomfortu ludzi.

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników /zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy?

Praca jest wzorowo skonstruowana pod względem układu oraz kolejności sformułowanych problemów. Redakcja została wykonana z dużą starannością, język jest poprawny, rysunki są czytelne, a analizy wnikliwe. Układ pracy oraz proporcje rozdziałów są odpowiednie.

6. Zagadnienia dyskusyjne

Zdaniem recenzenta, praca bardzo szczegółowo przedstawia problemy badawcze. Autor z wyjątkową starannością opisuje poszczególne zagadnienia pracy.

Jednakże, wydaje się, że wskazane byłoby szersze ustosunkowanie się do następujących zagadnień:

- Ważnym zagadnieniem, które wydaje się istotne z punktu widzenia sterowania robotem społecznym w dynamicznym środowisku, jest uwzględnienie zmian konfiguracji środowiska, wynikających nie tylko z obecności współdziałających ludzi, ale także z fizycznych zmian w otoczeniu. Należy zadać pytanie, w jaki sposób system poszukiwałby rozwiązania planowania trajektorii przy wprowadzeniu dodatkowych zakłóceń w środowisku.
- Ciekawym byłoby zbadanie działania systemu planowania trajektorii lokalnej robota HUMAP w przypadku kooperacji np. dwóch robotów o podobnych zadaniach. W jaki sposób zmieni się przestrzeń rozwiązań dopuszczalnych dla tak postawionego zadania oraz dyskomfort ludzi?
- Zdaniem recenzenta należałoby szerzej omówić zagadnienie wpływu niedokładności systemu percepcji robota na wyznaczanie optymalnej trajektorii, wprowadzając dodatkowe bariery w środowisku z współdziałającymi ludźmi.

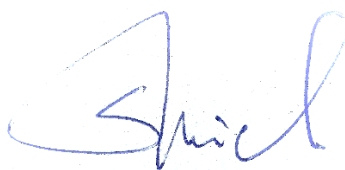
- Należałoby podjąć szerszą dyskusję na temat rozwiązań trajektorii dla innych zadań testowych o bardziej skomplikowanej konfiguracji oraz możliwości wyznaczania trajektorii i sterowania robotem w czasie rzeczywistym.

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

W recenzowanej pracy główny nacisk położono na wieloaspektowe kryteria oceny, mające na celu ilościowe określenie wydajności opracowanej metody HUMAP. Zaproponowany algorytm ma na celu złagodzenie dyskomfortu człowieka podczas interakcji z robotem, zapewniając jednocześnie wydajność zadania porównywalną z tradycyjnymi metodami oraz wysoką odporność rozwiązań w trudnych scenariuszach. Wyniki eksperymentów symulacyjnych, a także testy w rzeczywistych warunkach laboratoryjnych wykazały wysoką efektywność lokalnego systemu planowania trajektorii HUMAP. Zgodnie ze znormalizowanymi metrykami opartymi na badaniach, zaimplementowanymi w SRPB, system przewyższa tradycyjne metody zarówno pod względem zmniejszania dyskomfortu człowieka, jak i zapewnienia poprawnego zaplanowania trajektorii robota w różnych dynamicznych scenariuszach. Całość pracy potwierdza wysokie umiejętności Autora zarówno w zakresie analizowanych zagadnień naukowych, jak i programistycznych. Obszerna analiza literatury, opracowanie nowatorskich wskaźników oraz autorskiego systemu planowania trajektorii HUMAP, a także przeprowadzenie szerokiego zakresu badań symulacyjnych i testów w rzeczywistych warunkach laboratoryjnych, świadczy o wyjątkowym zaangażowaniu i wnikliwości Autora w rozwiązywaniu przedstawionego w pracy problemu naukowego. Przedstawiona w pracy metoda i przeprowadzone symulacje mogą być wykorzystane do projektowania systemów sterowania określonej klasy robotów społecznych, a także mogą stanowić wskazówki do tworzenia nowych algorytmów sterowania uwzględniających aspekty społeczne.

Praca stanowi istotny wkład w dyscyplinę naukową automatyki, elektroniki, elektrotechniki i technologii kosmicznych.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:
- a/ nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy
 - b/ wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania
 - c/ spełniająca wymagania
 - d/ spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem
 - e/ wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie**



Roman Śmierzchalski