

Prof. dr hab. inż. Marcin Janicki

tytuł, stopień, imię i nazwisko

Katedra Mikroelektroniki i Technik Informatycznych

Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki

Politechnika Łódzka

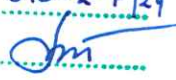
Łódź, 13 września 2024 r.

data

SEKRETARIAT
Rady Dyscypliny AEEITK

Wpłynęło dnia 13. 09. 2024

Zarejestrowano pod nr 510-2-7/24

Podpis 

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY
NAUKOWEJ DYSCYPLINY AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA,
ELEKTROTECHNIKA I TECHNOLOGIE KOSMICZNE
AKADEMII GÓRNICZO-HUTNICZEJ W KRAKOWIE**

Tytuł oryginalny: Intelligent Control System for Mobile Robot.

Tytuł w języku polskim: Inteligentny system sterowania robotem mobilnym.

Autor rozprawy: mgr inż. Ravi Raj.

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

Recenzowana Rozprawa doktorska napisana przez mgr. inż. Ravi Raja dotyczy inteligentnych systemów sterowania robotami mobilnymi. Czwarta rewolucja przemysłowa, popularnie nazywana Przemysłem 4.0, jest urzeczywistnieniem wizji inteligentnej gospodarki, którego nieodzownymi komponentami są systemy cyber-fizyczne, które łączą ze sobą składniki programistyczne sztucznej inteligencji z częściami wykonawczymi elektronicznymi oraz mechanicznymi komunikującymi się ze sobą w celu przesyłania danych pomiarowych z fizycznych czujników i siłowników. Tematyka niniejszej Rozprawy mieści się właśnie w tej tematyce.

Na wstępie Rozprawy Doktorant dokonał dogłębnej analizy aktualnego stanu wiedzy na temat historii rozwoju robotów mobilnych. W szczególności Autor skupił się na autonomicznych robotach mobilnych, które uczą się bez nadzoru, metodą prób i błędów samodzielnie eksplorując nieznane środowisko. Następnie wskazał możliwe kierunki badań naukowych umożliwiające przyspieszenie procesu uczenia oraz optymalizację działania robotów mobilnych. W Rozprawie nie sformułowano klasycznych hipotez naukowych podlegających weryfikacji, lecz pod koniec Rozdziału 1 Doktorant przedstawił swoje zamierzenia oraz plany badawcze ogólnie ukierunkowane na poprawę działania systemów nawigacji robotów mobilnych. Osiągnięcie zamierzonych celów zostało zweryfikowane w Rozprawie na drodze symulacji numerycznych, a cele te można podsumować następująco:

- poprawa zdolności adaptacyjnych robotów mobilnych do nieznanego środowiska dzięki użyciu sieci neuronowych w algorytmach uczenia przez wzmacnianie,
- opracowanie efektywnej strategii uczenia bez nadzoru umożliwiającej szybsze dostosowanie się do nieznanego otoczenia,
- zwiększenie szybkości nauczania robotów mobilnych dzięki autonomizacji procesu nauczania poprzez umożliwienie uogólniania w przypadku napotkania nieznanego do tej pory sytuacji.



Ponadto Doktorant w Rozdziale 6 Rozprawy zaprezentował jeszcze dwa bardzo interesujące wątki badawcze nie wspomniane na początku, które pozwalają na dalszą optymalizację systemów nawigacji robotów mobilnych, a mianowicie:

- umożliwienie wymiany informacji i doświadczeń pomiędzy robotami mobilnymi działającymi w tym samym środowisku może istotnie przyspieszyć proces uczenia,
- zastosowanie systemu detekcji w podczerwieni znacznie poprawia zdolność do rozpoznawania przeszkód.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł, w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle?

Autor powołuje się w recenzowanej Rozprawie na 133 źródła literaturowe, przy czym blisko połowa cytowanych pozycji literaturowych to publikacje z ostatnich 5 lat, co dowodzi niezbiecie, że proponowana tematyka jest niezwykle aktualna oraz tego, że Doktorant ma dobre rozeznanie w stanie wiedzy w kraju i na świecie. Lista bibliograficzna zawiera źródła wyłącznie anglojęzyczne, min. pozycje książkowe oraz artykuły opublikowane w czasopismach krajowych i zagranicznych, a także prezentowane na konferencjach. Doktorant w odpowiedni sposób dokonał wyboru źródeł, a przeprowadzona analiza umożliwiła mu należycie uzasadnić wybór tematyki i sformułować cele badawcze omawiane w Rozprawie, a także pozwoliła na wybór odpowiednich rozwiązań.

Zgodnie z informacjami przedstawionymi w Rozprawie Doktorant jest aktualnie pierwszym współautorem 13 artykułów naukowych opublikowanych w latach 2022-2024, w tym aż 7 pozycji w czasopismach indeksowanych w bazie JCR oraz 4 innych znajdujących się w wykazie czasopism punktowanych MNiSW, a w fazie recenzowania znajdują się obecnie jeszcze dwa kolejne artykuły zgłoszone do wysoko punktowanych czasopism. Natomiast w bazie danych Web of Science Core Collection indeksowanych jest 9 publikacji Autora, a wartość jego indeksu Hirscha jest równa 3; 2 bez autocytowań. Należy także zauważyć, że w stosunkowo krótkim czasie liczba jego cytowań bez autocytowań wzrosła do 27, w tym jeden z artykułów był cytowany aż 19 razy, co świadczy o niewątpliwie zauważalnym zainteresowaniu pracami Doktoranta.

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

Doktorant uzasadnił podjęcie poruszanej w Rozprawie tematyki badawczej już w Rozdziale 1, gdzie zaprezentował On uprzednio omówione cele badawcze, które osiągnął właściwie dobierając konkretne rozwiązania praktyczne. Rozwiązania te pozwalają na wydajne skrócenie czasu uczenia robotów mobilnych i optymalizacji ich działania, a ich skuteczność została udowodniona na drodze symulacji komputerowych w dalszej części Rozprawy.

Rozdział 2 Rozprawy poświęcony jest uczeniu przez wzmacnianie, czyli posiłkowanemu (ang. reinforcement learning), które jest jedną z metod uczenia maszynowego powszechnie stosowanemu do uczenia sztucznej inteligencji. Autor prezentuje tutaj z szerszej perspektywy różne zastosowania sztucznej inteligencji i sposoby jej uczenia, w tym z wykorzystaniem uczenia przez wzmacnianie oraz sztucznych sieci neuronowych.

Rozdział 3 jest niejako kontynuacją poprzedniego, gdzie Autor dokonuje przeglądu dostępnych w literaturze rozwiązań problemu analizując 27 publikacji naukowych. Należy jednakże zauważyć, że nie wszystkie te pozycje, choć niewątpliwie interesujące, są związane bezpośrednio z tematyką Rozprawy, np. te dotyczące logiki temporalnej i rozmytej, czy też opisami różnego typu systemów wizyjnych. Ponadto duża różnorodność przytaczanych przykładów sprawia, że czytelnik czuje się nieco zagubiony i odczuwalny staje się brak wyraźnej myśli przewodniej przeprowadzanych przez Autora analiz.

Matematyczny model przebiegu procesu uczenia w postaci procesów decyzyjnych Markowa został przedstawiony w Rozdziale 4. Wiedza pozyskiwana jest przez agenta, w tym przypadku robota mobilnego, podczas wykonywania przez niego w danym stanie wybranych akcji. Następnie agent jest informowany przez środowisko o następnym stanie, który osiągnął i związanej z tym nagrodzie. Na tej podstawie modyfikowana zostaje strategia jego postępowania, czyli polityka, tak aby zmaksymalizować w czasie wartość nagród, zwanej też wartością użyteczności. Szczególnie ważne w przypadku działania robota w nieznanym środowisku są częściowo obserwowalne procesy decyzyjne Markowa, gdy stan w którym znalazł się robot nie jest dokładnie znany, a wtedy swoje działania musi opierać na tzw. stanach przekonanych dotyczących środowiska.

Proces uczenia robota polega na odpowiednim połączeniu eksploracji nieznanego środowiska oraz eksploatacji wiedzy uprzednio o nim zdobytej. Należy zaznaczyć, że nauka jest możliwa tylko w przypadku występowania eksploracji środowiska, gdy agent podejmuje działania o nieznanym skutkach. Najczęściej wykorzystywaną polityką postępowania jest strategia ϵ -greedy zapewniającą odpowiedni kompromis pomiędzy eksploracją środowiska i jego eksploatacją. Przy wyborze akcji z prawdopodobieństwem ϵ agent wybiera losową akcję z możliwych w danym stanie dokonując eksploracji, a z prawdopodobieństwem $1-\epsilon$ wybiera akcję na podstawie maksymalnej wartości prawdopodobieństwa w sposób zachłanny (ang. greedy) eksploatując swoją wiedzę o środowisku.

Autor w dalszej części Rozdziału analizuje metody uczenia wykorzystujące model środowiska oraz te, w których model ten nie jest wymagany. Do pierwszej grupy należą metody programowania dynamicznego, w tym algorytmy Value Iteration oraz Policy Iteration. Wybór akcji w algorytmie Value Iteration jest dokonywany na podstawie znajomości modelu matematycznego określającego dla danego stanu wartość użyteczności. Natomiast w przypadku algorytmu Policy Iteration wartość ta jest aktualizowana dla danej strategii. Algorytmy te najlepiej sprawdzają się w sytuacjach, gdy liczba stanów jest niewielka. Zatem, biorąc pod uwagę, że roboty mobilne mają za zadanie poruszać się w nieznanym środowisku, spodziewana liczba możliwych stanów może być znacząca i metody te zostały przez Autora odrzucone.

Druga grupa metod to metody uczenia przez wzmacnianie nie wymagające znajomości modelu środowiska obejmująca metodę Monte Carlo i metodę różnic czasowych (ang. temporal difference). Metoda Monte Carlo wykorzystywana jest w przypadku zadań epizodycznych posiadających stan końcowy. Metoda różnic czasowych może być używana również w przypadku zadań ciągłych nie posiadających stanu końcowego, a zatem lepiej nadaje się do zastosowania w przypadku eksploracji nieznanego środowiska. W metodach tych agent nie ma początkowej wiedzy na temat środowiska i określa strategię na podstawie odpowiedzi środowiska na jego akcje.

Doktorant na zakończenie Rozdziału 4 prezentuje zaimplementowany w programie MathWorks MATLAB® model robota mobilnego przeznaczonego do zastosowań edukacyjnych i badawczych Festo Robotino® oraz środowiska testowego będącego pomieszczeniem o kształcie kwadratu wraz z zestawem ścian działowych i losowo rozłożonych przeszkód o różnorodnym przekroju. Podczas przeprowadzonych testów symulacyjnych robot miał za zadanie przejść z jednego narożnika tego pomieszczenia do przeciwległego unikając ścian i przeszkód.

Rozdział 5 poświęcony jest w całości problemowi inteligentnej nawigacji robota mobilnego w nieznanym, złożonym środowisku z wykorzystaniem uczenia przez wzmacnianie. Autor rozważa użycie dwóch algorytmów nie wymagających znajomości modelu środowiska opartych na metodzie różnic czasowych; Q-Learning SARSA. Q-Learning jest algorytmem opartym na wartościach, czyli poza polityką (ang. off-policy). Wybór akcji dokonywany jest tu zgodnie z wcześniej opisywaną strategią ϵ -greedy, a wartość stanu $Q(s, a)$ obliczana jest na podstawie odpowiedzi środowiska i reprezentuje ona spodziewaną wartość nagrody jaką otrzymamy podejmując akcję a w stanie s . Wartości te są sukcesywnie aktualizowane po wykonaniu każdego kroku. Natomiast SARSA jest algorytmem opartym na zasadach, czyli w polityce (ang. on-policy). Wykorzystuje on nie tylko stan obecny, wykonywaną akcję i zwróconą przez środowisko nagrodę, lecz także następny stan oraz akcję wykonywaną w kolejnym kroku czasowym.

Na zakończenie Rozdziału 5 Doktorant przedstawił wyniki swoich badań wykazując wyższość algorytmu Q-Learning opartego na sieciach neuronowych (NNQL). Liczba epizodów zakończonych powodzeniem wydatnie wzrosła. Roboty stopniowo uczyły się jak omijać przeszkody i w rezultacie coraz częściej docierały do celu, chociaż podążały one różnymi drogami. Zaprezentowane rezultaty dowodzą niezbicie, że zaproponowane przez Doktoranta podejście jest poprawne i algorytm NNQL może być z powodzeniem stosowany w systemach nawigacji robotów mobilnych.

Rozdział 6 prezentuje proponowane przez Autora rozwiązania umożliwiające przyspieszenie procesu uczenia poprzez zastosowanie algorytmów stada oraz poprawę wykrywalności przeszkód przy użyciu nawigacji termicznej w podczerwieni. Pierwszy z tych celów ma zostać osiągnięty dzięki wykorzystaniu optymalizacji rojem cząstek, co niewątpliwie może stać się rozwiązaniem szczególnie trafnym w przypadku występowania większej liczby robotów, które będą wymieniać swoje uprzednie doświadczenia z przebiegu procesu uczenia pomiędzy sobą poprawiając trafność podejmowanych decyzji.

Druga z proponowanych innowacji opiera się na wynikach wcześniejszych badań naukowych przeprowadzonych na macierzystej uczelni, gdzie wykorzystywano czujniki podczerwieni i kamery termowizyjne przy opracowaniu systemów wspomagających osoby niedowidzące oraz kierowców. Niewątpliwie rozwiązania te, bazujące głównie na występowaniu różnic w wartości współczynnika emisyjności powierzchni materiałów, mogą zostać wykorzystane także w systemach nawigacyjnych robotów mobilnych. Rozdział 7 podsumowuje jedynie Rozprawę analizując ją głównie pod kątem osiągnięcia określonych na wstępie celów badawczych oraz postuluje pewne dalsze udoskonalenia polegające min. na użyciu konwolucyjnych sieci neuronowych, czujników ultradźwiękowych czy też technik lidarowych.

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

Recenzowana Rozprawa, jak to już uprzednio wspomniano, dotyczy przede wszystkim bardzo aktualnej tematyki. Kierując się swoją intuicją inżynierską Doktorant zaadaptował, a następnie wykorzystał pewne istniejące algorytmy oraz rozwiązania sprzętowe, co umożliwiło opracowanie systemu nawigacji robota mobilnego samodzielnie uczącego się i poruszającego w nieznanym sobie otoczeniu. Poprawność zaproponowanych przez Autora rozwiązań została w Rozprawie częściowo zweryfikowana poprzez przeprowadzone symulacje numeryczne. Podsumowując, za szczególnie istotne rozwiązania własne Doktoranta należy uznać przede wszystkim:

- zastosowanie do uczenia autonomicznych robotów mobilnych poruszających się w nieznanym otoczeniu algorytmów uczenia przez wzmacnianie nie wymagających znajomości modelu tego środowiska,
- użycie w procesie uczenia robotów mobilnych sztucznych sieci neuronowych do szacowania wartości danego stanu $Q(s, a)$ na podstawie odpowiedzi środowiska, co pozwala na stopniową optymalizację działań wykonywanych przez roboty,
- proponowanie wykorzystania optymalizacji rojem cząstek w celu przyspieszenia procesu uczenia poprzez umożliwienie bezpośredniej wymiany doświadczeń pomiędzy robotami,
- ulepszenie systemu nawigacji robota mobilnego dzięki przeprowadzeniu segmentacji obrazu termowizyjnego bazującej na wykrywaniu różnic w wartościach współczynnika emisyjności powierzchni otaczających obiektów, co umożliwia wczesną detekcję przeszkód.

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

Rozprawa zawiera 142 numerowane strony. Rozpoczynają ją spis treści i streszczenia w języku angielskim oraz polskim, a także lista używanych w Rozprawie skrótów. Natomiast zdecydowanie odczuwalny jest brak spisu oznaczeń i symboli, w szczególności wykazu parametrów omawianych algorytmów. Zasadnicza część Rozprawy jest podzielona na 7 rozdziałów, a na jej zakończenie zamieszczono spisy rysunków i tabel, listę wszystkich publikacji Autora, w tym nie cytowanych bezpośrednio w Rozprawie oraz bibliografię.

Oceniając stronę formalno-merytoryczną Rozprawy należy przede wszystkim zauważyć, że nie posiada ona wyraźnie wyodrębnionej części teoretycznej, a treści przedstawiające wiedzę ogólną, począwszy od Podrozdziału 4.5, w którym to po raz pierwszy podano informacje dotyczące badań symulacyjnych Doktoranta, do Rozdziału 6 włącznie przeplatają się z opisem wyników przez niego uzyskanych. Ponadto wyraźnie odczuwalny jest też brak podania pewnych istotnych informacji dotyczących przeprowadzonych przez Doktoranta badań symulacyjnych, co zostało opisane szerzej w uwagach szczegółowych dotyczących strony formalno-merytorycznej Rozprawy.

Równie ważna, jeśli nie najważniejsza, jest kwestia niedostatecznie precyzyjnego określonego w tekście Rozprawy wkładu własnego Doktoranta. Przede wszystkim, prezentując wyniki swoich badań używał przeważnie pierwszej osoby liczby mnogiej, a słowa 'we' czy też 'our' wyraźnie sugerują istnienie współautorów biorących udział w badaniach. Podrozdział 5.4 opisujący wyniki badań eksperymentalnych nie zawiera żadnych odnośników literaturowych. Brak jest też referencji przy algorytmach przedstawionych w Rozdziale 5 oraz Rys. 5.2. Podobnie mówiąc o wykorzystaniu sieci neuronowej do szacowania wartości funkcji w podejściu zastosowanym przez autora brak jest jakiegokolwiek odnośnika. Ponadto Doktorant prezentując osiągnięcia własne w Rozdziałach 4-5 często powołuje się na publikacje, których nie jest autorem, np. [85] i [87], w Rozdziale 5 oraz [121], [124], [126], w Rozdziale 6. Wprowadzając Równanie 5.15 Autor mówi, że jest to podejście stosowane przez niego natomiast referencja wskazuje na publikację obcą [85]. W całej Rozprawie Doktorant cytuje tylko 10 publikacji, których jest współautorem, w tym aż 5 w rozdziale wstępnym. Wszystko to sprawia, że w czytelniku mogą rodzić się pewne wątpliwości dotyczące rzeczywistego wkładu Autora w uzyskane wyniki badań.

Dalsze uwagi szczegółowe dotyczące strony formalno-merytorycznej recenzowanej Rozprawy można sformułować następująco:

- nie do końca wiadomo dlaczego na s. 15 Autor odnosi się do regionów tropikalnych,
- nie jest jasne co Doktorant rozumie przez pojęcie 'insatiable policy' na dole s. 61, czy jest ono tożsame z 'greedy policy',
- z tekstu Rozprawy nie wynika jednoznacznie czy prezentowany przez Autora na Rys. 4.7 układ ścian oraz przeszkód w pomieszczeniu służącym do uczenia robota mobilnego był zawsze taki sam, a także czy przeszkody poruszały się, lub mogły zamieniać miejscami,
- zapis w Równaniu 5.7 kończy się na warstwie $a^{(3)}$, a w Równaniu 5.8 na $a^{(4)}$,
- na s. 90-91 nie wyjaśniono dokładnie co Autor rozumie pod pojęciami dziewięciowymiarowej 'computational complexity D_t ' związanej z odczytami czujników odległości oraz 'target region V_t ' przyjmującym jedną z 9 wartości,
- wartości nagród zamieszczone w Tabeli 5.1 zostały zaczerpnięte z publikacji [85], nie wiadomo czy podjęte zostały próby ich modyfikacji,
- nie wyjaśniono jaki w danym przypadku jest sens wartości temperatury T w Równaniu 5.15 opisującym rozkład Boltzmanna i co to znaczy, że wartość ta jest nieodpowiednia oraz jaka była jej wartość początkowa,

- sieć neuronowa opisana w Podrozdziale 5.3.5 jest niezgodna co do liczby warstw i neuronów w porównaniu z siecią opisaną w Podrozdziale 5.3.1,
- Równanie 5.12 mówi o możliwości podjęcia 8 różnych akcji, natomiast w Równaniu 5.17 jest uwzględnione tylko 5,
- w podrozdziale 5.4 stwierdzono, że robot nie zna liczby, rozmiarów i położenia przeszkód, ale nie wiadomo czy wie gdzie znajdują się ściany,
- w eksperymentach robot mobilny miał za zadanie przejść z pozycji (10, 10) do (240, 240), lecz nie podano jaka była wielkość kroku,
- jak ustalono wartości parametrów algorytmu Q-learning podane w Tabeli 5.3 i czy próbowano je modyfikować,
- co oznacza, że drogi wybrane przez robota 'satisfied standard references' jak stwierdza Autor na dole s. 101,
- liczby dotyczące odsetka udanych prób bezpośrednio przed Rysunkiem 5.3 nie znajdują w nim odzwierciedlenia i nie wiadomo jak zostały one obliczone,
- w dyskusji na początku Podrozdziału 5,5 Autor stwierdził, że działanie algorytmu NNQL było lepsze, lecz nie podał nazwy drugiego z algorytmów,
- co Autor rozumie przez 'basic infrared matrix' na s. 108 bezpośrednio po referencji [123], czy jest to maczyca czujników podczerwieni,
- czy wielkość 'thermal emission factor' używana przez Autora w opisie nawigacji termicznej jest tożsama ze współczynnikiem emisyjności powierzchni powszechnie wykorzystywanym min. w oprogramowaniu kamer termowizyjnych,
- dlaczego Autor zdecydował się wykorzystać kamerę termowizyjną, można było wykorzystać także sygnał z kamery pracującej w świetle widzialnym i odpowiednio klasyfikować obrazy,
- w 3 linijce od góry s. 109 Autor wspomina o umieszczeniu czujników podczerwieni na modelu robota, do tej pory opisywano jedynie wyniki badań symulacyjnych, czy były przeprowadzone badania z rzeczywistym robotem,
- Doktorant zaadaptował wyniki wcześniejszych badań dotyczących nawigacji w podczerwieni prowadzonych w macierzystej uczelni, lecz w Rozprawie powinien je przedstawić jedynie pod kątem jej użycia w przypadku robotów mobilnych, a opisywanie systemów opracowanych dla osób niedowidzących nie do końca jest związane z tematyką Rozprawy, podobnie dyskusyjne jest opisywane w Rozdziale 6 wykorzystanie sygnału GPS do nawigacji w budynkach z uwagi na zbyt małą rozdzielczość przestrzenną tego sygnału.

Pod względem edytorskim Rozprawa jest przygotowana dosyć starannie, chociaż Doktorant nie ustrzegł się pewnych nielicznych błędów, co jest jednakże w pełni zrozumiałe biorąc pod uwagę znaczne rozmiary pracy. Rozprawa napisana jest w języku angielskim, a Doktorant swobodnie posługuje się poprawnym językiem technicznym,. Uwagi szczegółowe dotyczące strony edytorsko-językowej zestawiono poniżej:

- oprócz wcześniej wspomnianego braku wykazu oznaczeń należy zauważyć, że lista używanych skrótów nie jest kompletna (np. HAR na s. 37 oraz PGP ze s. 49), a niektóre z nich nie zostały są zdefiniowane, lub pojawiają się zanim zostaną wyjaśnione (np. MR w drugim paragrafie Rozdziału 1),
- listę typów robotów mobilnych na s. 20 należałoby po prostu wypunktować zamiast używać numeracji podrozdziałów,

- słowo 'despite' jest czasami używane w niewłaściwym kontekście, np. na s. 37 lepiej byłoby napisać 'without the need for humans', podobnie na s. 108 w 5 wierszu od dołu powinno być 'without the need to charge batteries',
- litera t bezpośrednio pod Równaniem 4.8 na s. 60 powinna być indeksem dolnym,
- w pierwszych liniijkach podrozdziału 4.3.1 na s. 67 jest 'policy iteration iterates. Until an ideal policy is reached', oprócz błędu stylistycznego najprawdopodobniej miała to być kontynuacja poprzedniego zdania,
- w pierwszej linijce podrozdziału 4.4.1 na s. 72 jest 'is the find', a powinno być 'is to find',
- na s. 87 w 9 wierszu od góry jest 'contains nothing to input', a prawdopodobnie powinno być, 'contributes nothing to input',
- na górze s. 88 jest 'a real number, denoted as the hypotheses', błąd gramatyczny lp./lm.,
- na s. 88 jest odwołanie do Równania 6.7, a powinno być 5.7,
- nawiasy pod Równaniem 5.9 na s. 89 powinny zostać odwrócone, tzn. $[-1, 1]$,
- składnia zdania w ostatniej linijce na s. 90 jest niepoprawna, najlepiej aby fragment ten brzmiał w rodzaju: 'whether an object is identified as an obstacle or a wall',
- zestaw parametrów d określających odległość opisany na s. 92 powinien zostać zdefiniowany przed ich pierwszym użyciem w Równaniu 5.14,
- stan zagrożenia ('unsafe') zamieszczony w Tabeli 5.1 nie został określony w Równaniu 5.14,
- referencje odnoszące się do obliczania wartości π i Q w opisie Algorytmu 5.4 powinny odnosić się do Równań 5.15 oraz 5.18,
- większość rysunków w Rozdziale 6 jest niezbyt ostra,
- w przedostatniej linijce na dole s. 104 słowo 'unpredictable' powtarza się,
- zdanie 'The control module ... MR sensor.' ze strony 105 powtarza się na stronie następnej,
- pierwsze zdanie w Podrozdziale 6.2 na s. 106 jest powtórzone dwukrotnie bezpośrednio jedno po drugim,
- słowo 'point' w wierszu pod Równaniem 6.4 powinno być użyte w liczbie mnogiej,
- jak rozumiana jest długość drogi A w Równaniu 6.5,
- wariancja jest pojęciem statystycznym i w linijce bezpośrednio pod Równaniem 6.5 należałoby posłużyć się słowem różnica 'difference',
- zdanie 'Sampling all potential ... there is no instructor.' ze strony 121 jest praktycznie tożsame ze zdaniem 'Evaluating all potential ... there is no trainer present' na następnej stronie,
- dosyć częste są także błędy związane z nieprawidłowym użyciem, lub też brakiem rodzajników a/the, lecz nie utrudnia to zrozumienia treści Rozprawy.

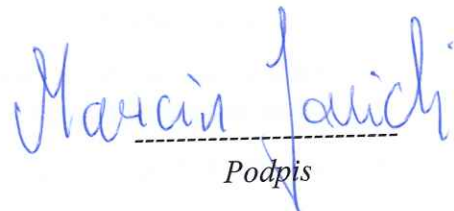
6. Jaka jest przydatność Rozprawy dla nauk inżynieryjno-technicznych?

Niewątpliwie znaczenie praktyczne przedstawionych przez Doktoranta w Rozprawie rozważań teoretycznych oraz wyników badań symulacyjnych jest niezwykle ważne dla nauk inżynieryjno-technicznych. Obecnie liczba robotów mobilnych i innego typu pojazdów, które mają za zadanie samodzielnie poruszać się w powietrzu, na lądzie czy też w wodzie lawinowo rośnie. Rozprawa niniejsza proponuje wprowadzenie dla tego typu układów pewnych udoskonaleń, które wydatnie przyspieszą proces uczenia, a także poprawią jakość i bezpieczeństwo nawigacji.

7. Ocena końcowa

Rozprawa ma charakter teoretyczno-symulacyjny, a jej tematyka, główne osiągnięcia i wkład merytoryczny Autora niewątpliwie mieszczą się w ramach dyscypliny automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne dziedziny nauk inżynieryjno-technicznych. Wykazał się On też dogłębną znajomością tematyki Rozprawy, a wszystkie zaproponowane w niej rozwiązania praktyczne zostały pozytywnie zweryfikowane na drodze symulacji. Przedstawione w recenzji uwagi krytyczne mają jedynie charakter konstruktywny i nie obniżają zdecydowanie pozytywnej oceny Rozprawy.

Zatem w konkluzji stwierdzam, że Rozprawa doktorska pt. „Inteligentny system sterowania robotem mobilnym” (oryginalny tytuł angielski ‘Intelligent Control System for Mobile Robot’) napisana przez mgr. inż. Ravi Raja spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, wraz z późniejszymi zmianami i wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony. Ponadto biorąc uwagę poziom naukowy recenzowanej Rozprawy, wysokie wartości wskaźników nauko- i bibliometrycznych oraz dorobek publikacyjny Autora z wyraźnym nadmiarem spełniający kryteria wyróżniania rozpraw doktorskich określone przez Radę Dyscypliny AEEiTK AGH wnoszę o jej wyróżnienie.



Podpis