

Prof. dr hab. inż. Andrzej Burghardt
Katedra Mechaniki Stosowanej i Robotyki
Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa
Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza

Rzeszów 17.09.2025 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr. inż. Macieja Salwa pod tytułem:

Zastosowanie algorytmu sterowania w roju dla bezzałogowych obiektów latających

Podstawą opracowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr. inż. Macieja Salwa było pismo Dyrektora Naukowego Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Świętokrzyskiej, dr. hab. inż. Sławomira Błasiaka, prof. PŚK z dnia 22. 05. 2025 roku, o sygnaturze MAA-511/73/2025.

1. Ocena aktualności wybranego tematu

Aktualność wybranego tematu to zawsze wspólny mianownik takich czynników jak, zapotrzebowanie, dostępność rozwiązań i postęp wprowadzający dynamiczne zmiany czy to w produkcji czy w procesie. Tematyka rozprawy dotyczy opracowania symulatora pracy roju dronów, w którym realizuje zadania np. omijanie przeszkód z zastosowaniem dostępnych algorytmów.

Rozwój lekkich materiałów, systemów napędowych, miniaturyzacja, postęp w łączności i technice mikroprocesorowej umożliwiły realizację koncepcji budowy bezzałogowych statków powietrznych, których idee szkicował już Leonardo Da Vinci. Relatywnie tanie i dostępne rozwiązania spowodowały rozwój bezzałogowych statków powietrznych, dodatkowo napędzany uniwersalnością ich wykorzystania, jak implementacje wojskowe zarówno do działań taktycznych jak i ofensywnych, medycyna, służby graniczne i celne, straż pożarna, policja i inne służby porządkowe, straż leśna, transport, monitoring, rolnictwo, geodezja, fotografia, rekreacja i zabawa itp.

W obszarze rozwoju dronów prace dotyczą szeregu aspektów takich jak: postęp i wykorzystanie technologii i sposobów nawigowania, budowy nowych aktuatorów i sensorów, opracowywania nowych systemów transmisji danych oraz integracji AI, w celu autonomicznego podejmowania decyzji.

Problemy ograniczające rozwój dronów to maksymalny czas lotu, zasięg lotu, bezpieczeństwo użytkowania, podatność na możliwość celowego lub nie zakłócania sygnałów, regulacje prawne. Są to wyzwania z którymi mierzą się obecnie konstruktorzy i użytkownicy dronów.

Poszerzanie funkcjonalności i skuteczności dronów zarówno morskich, latających i kroczących możemy uzyskać przez wykorzystanie technologii rojów. Inspirowane biologicznie rozwiązania na przykładzie kluczy ptaków, kolonii mrówek, rojów pszczół, ławic ryb czy watah wilków, są obecnie intensywnie rozwijane.

Jest to stosunkowo nowy obszar nauki. Ze źródeł wynika, że nie ma jeszcze jednej spójnej i ogólnie przyjętej definicji roju dronów.

Amerykański urząd lotnictwa (FAA) definiuje rój dronów ('Swarm') dosyć dokładnie i szeroko, jako operację więcej niż 1 bezzałogowego statku powietrznego (BSP), w której wszystkie BSP działają według poleceń jednego pilota-dowódcy, który kieruje nimi za pośrednictwem wspólnego łącza. Inna definicja (NAP) mówi o roju, gdy grupa składa się z co najmniej 40 dronów oraz wygląda, jakby maszyny działały wspólnie jak zespół, ale każda wykonuje odrębne ruchy. Nie wszyscy uczestnicy grupy znają szczegóły misji, ale każdy komunikuje się z każdym z pozostałych członków grupy oraz każdy dron pozycjonuje się względem pozostałych maszyn roju, a nie względem absolutnej pozycji docelowej.

Jak duże znaczenie mają wojskowe drony i jak bardzo zmieniły obecny scenariusz pola walki widzimy dziś bardzo dobrze na przykładzie wojny w Ukrainie. Masowe użycie dronów wojskowych na współczesnym polu walki to największa rewolucja od czasów zimnej wojny.

Amerykańska firma analityczna Markets and Markets opublikowała na swoim portalu raport o przyszłości dronów do roku 2030 wskazując główne trendy rozwojowe. Globalny rynek dronów wojskowych w 2024 roku został wyceniony na 15,23 mld USD. Prognozuje się jego wzrost do 22,81 mld USD w 2030 roku. Według raportu zastosowanie sztucznej inteligencji to kluczowa ścieżka rozwoju technologicznego bezzałogowców. Dzięki sztucznej inteligencji i samodzielnemu uczeniu się drony będą w stanie samodzielnie prowadzić misje zwiadowcze, logistyczne czy precyzyjne ataki, przy minimalnym udziale operatora. Maszyny zyskają zdolność omijania przeszkód i reagowania na dynamiczne zagrożenia w czasie rzeczywistym. Będą łączyć komponenty lądowe, powietrzne, morskie i kosmiczne. Dzięki sieciom satelitarnym, łączności 5G/6G oraz współpracy z załogowymi platformami, UAV będą pełnić rolę kluczowych węzłów w czasie rzeczywistym. Taka interoperacyjność pozwoli na szybsze podejmowanie decyzji oraz umożliwi dynamiczne wyznaczanie celów w różnych teatrach działań. Według analityków do 2030 roku znacząco rozwiną się taktyki prowadzenia działań z zastosowaniem rojów dronów. Setki małych i co ważne tanich maszyn będą mogły wykonywać zsynchronizowane manewry w ramach ofensywy, obrony czy rozpoznania.

Postępy w dziedzinie hybrydowych systemów napędowych, wydajności baterii i technologii zasilania słonecznego umożliwią bezzałogowcom długotrwałe operacje. Drony będą mogły utrzymywać się w powietrzu tygodniami, prowadząc stały nadzór nad kluczowymi rejonami – od morskich cieśnin, przez pustynie, po granice państw. W perspektywie kilku lat pojawić się mogą także rozwiązania umożliwiające tankowanie dronów w powietrzu lub ich doładowywanie w trakcie lotu.

Jak ocenia Markets and Markets przyszłe konstrukcje będą wyposażone w wymienne moduły. Mowa tu o sensorach, radarach, pociskach przeciwradiacyjnych czy systemach walki elektronicznej. Dzięki sztucznej inteligencji dron będzie mógł w czasie rzeczywistym zastosowane optymalnie dobierać uzbrojenie, zwiększając skuteczność każdej misji. W obszarze rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych nowe materiały i koncepcje mają objąć: mniejszą sygnaturę radarową, termiczną i akustyczną dronów.

Postęp w obszarze obronności będzie implikował równoległe poszukiwanie rozwiązań w obszarach cywilnych.

Główne cywilne zastosowania to: rozpoznanie i likwidacja różnego typu zagrożeń, w rolnictwie precyzyjne monitorowanie upraw i wykonywanie oprysków, w ratownictwie przeszukiwanie obszarów po katastrofach, inspekcja infrastruktury, monitoring środowiska, a także w celach promocyjnych i widowiskowych.

Reasumując rozwój technologii rojów w różnych aspektach jest obecnie tematem szeregu prac badawczych znaczących firm i instytucji badawczych.

Olbrzymi rozwój dronów spowodował, że powstała w 2022 r. europejska strategia rozwoju dronów, zwana Drone Strategy 2.0 definiująca 19 „flagowych działań”. W jej zapisach znajdujemy szacunki że w jednolitej unijnej przestrzeni powietrznej będzie operować do roku 2035, 200 000 dronów obsługiwanych przez operatorów komercyjnych i rządowych, a do 2050 r. takich statków powietrznych ma być 395 000. Natomiast perspektywy i przewidywania rozwoju rynku dronów w Polsce znajdziemy w opracowaniu przygotowanym przez Instytut Lotnictwa pt. „Scenariusze rozwoju rynku dronowego do 2040 r.”, gdzie oprócz wskazania zagrożeń nakreślono wizję dynamicznego rozwoju tej branży.

Konkludując podjęta przez Doktoranta w dysertacji problematyka budowy symulatora sterowania rojem w sposób zaprezentowany w dysertacji jest w mojej ocenie aktualna.

2. Przegląd treści pracy

Treść opiniowanej rozprawy doktorskiej mgr. inż. Macieja Salawy pt. „Zastosowanie algorytmu sterowania w roju dla bezzałogowych obiektów latających” zawiera 256 stron, podzielonych na 6 rozdziałów, wykaz ważniejszych skrótów i terminów, 4 załączniki oraz bibliografię obejmującą 217 pozycji literaturowych stanowiących materiał źródłowy podczas przygotowania dysertacji. Praca zawiera 6 zdjęć, 98 rysunków oraz 9 tabel.

Pracę rozpoczyna wykaz ważniejszych skrótów i terminów. Następnie mamy wstęp wprowadzający nas w problematykę roju.

W rozdziale pierwszym Autor podaje zalety i wzrost możliwych do realizacji zadań w przypadku zastosowania nie pojedynczego drona, a roju złożonego z dronów. Następnie przytacza wymagania stawiane rojom dronów w sektorze cywilnym i militarnym. Na podstawie źródeł literaturowych podaje definicję roju, wykonuje przegląd rozwiązań sterowania rojem bezzałogowych jednostek latających. Przegląd rozwiązań w obszarze ustalenia hierarchiczności obiektów sterowanych, mechanizmów podejmowania decyzji, komunikacji umożliwiającej nawigację wzajemną oraz wypracowania algorytmów sterowania, wykorzystujących inteligencję maszynową. Następnie Autor przeprowadza przegląd prac pod kątem algorytmów inspirowanych biologicznie jak, roje pszczoł i kolonie mrówek. Dalej mamy opis, które z krajów w ostatnich dziesięciu latach przodują w badaniach nad sterowaniem pojazdów z zastosowaniem teorii roju i rzeczywistych obiektów latających. Alternatywą dla drogich badań z wykorzystaniem rzeczywistych obiektów np. latających są różnego rodzaju symulatory. Symulatory z definicji odwzorowują rzeczywistość z pewną dokładnością. W pracy znajdujemy opis koncepcji budowy symulatora, którego elementy składowe są weryfikowane i walidowane na etapie budowy.

W końcowej części rozdziału znajdujemy informacje przytaczane na podstawie badań literaturowych nad kierunkami prac dotyczących roju, stawianym im wymaganiom oraz oczekiwaną funkcjonalnością.

Przyjęto założenia realizowanej pracy dotyczące komunikacji, autonomiczności, modułowości, możliwości symulacji, możliwości wdrożenia. Jako cel rozprawy zdefiniowano opracowanie algorytmu sterowania grupą bezzałogowych obiektów latających w szyku, określaną mianem roju.

Ponadto zdefiniowano cele szczegółowe jako: wypracowanie koncepcji jednostki będącej uczestnikiem roju, określenie zadań, jakie mają być realizowane po stronie obiektu, przygotowanie modelu fizycznego i matematycznego dla przykładowej jednostki, opracowanie sterownika lotu, weryfikacja powszechnie dostępnych rozwiązań, ustalenie minimalnych wymagań, aby jednostka mogła brać udział w grupie typu rój. Koniec rozdziału to opis zakresu badań.

W rozdziale 3 opisano stosowane w rojach rozwiązania komunikacji bezprzewodowej. Przyjęto podział na komunikację wewnątrz grup roju i komunikację liderów grup z matką-operatorem.

Dla komunikacji z matką-operatorem zaproponowano dwa możliwe rodzaje komunikacji: komunikację IoT wykorzystującą sieci komórkowe, a także komunikację radiową w różnych wariantach. Jako rozwiązanie komunikacji wewnątrz roju zastosowano komunikację UWB. Autor w rozdziale 3 poza wymaganymi modułami do komunikacji zdefiniował wymagania sprzętowe. Jako zalecane wyposażenie wskazał dla każdego obiektu odbiornik GPS, jako wymagane: akcelerometr, żyroskop, magnetometr, barometr. Uzupełnienie osprzętu stanowią opcjonalne komponenty, które mogą być potrzebne zgodnie ze specyfiką danego zadania.

W dalszej części znajdujemy informacje o oprogramowaniu sterowników lotu. Szczególnie dużo miejsca poświęcono informacjom o otwartoźródłowych programach ArduPilot i PX4. Finalnie Autor wybiera ArduPilot nazywając go optymalnym.

W celu modelowania obiektu latającego na potrzeby symulacji opracowano autorski model matematyczny szczegółowo opisany w dodatku.

W rozdziale czwartym Autor przedstawił wady i zalety różnych symulatorów dedykowanych do testowania scenariuszy poruszania się roju dronów. Jako punkt odniesienia pozwalający sprawdzić poprawność konfigurowanego przez siebie symulatora przyjął pracę Silano, Aucone, Iannelliego. W celu uniknięcia błędów w obliczaniu pozycji przez oprogramowanie sterownika lotu, dodano zewnętrzne laserowe źródło pomiarowe, mierzące wysokość drona. Wyniki przedstawiono w formie graficznej oraz tabelarycznej, posługując się kryterium całki wartości bezwzględnej błędów.

Zrealizowano dwa scenariusze. Pierwszy polegał na zatrzymaniu drona na zdefiniowanej wysokości, drugi natomiast na zatrzymaniu drona na dwóch wysokościach bez międzylądowania.

Wykazano, że najmniejszym błędem charakteryzuje się oprogramowanie Gazebo w którym zastosowano oprogramowanie ArduPilot do kontroli drona. Dodatkowo wskazano zalety proponowanego rozwiązania w postaci możliwości uruchamiania dla każdej jednostki niezależnie oprogramowania ArduPilot, możliwości komunikacji przez metasytem ROS, możliwości użycia programu stacji naziemnej QGC w celu np. ręcznego sterowania poszczególnymi jednostkami roju przez operatora, możliwości dodawania swoich skryptów, możliwość współpracy z jednostkami fizycznymi.

W rozdziale piątym przedstawiono proponowane rozwiązanie dotyczące komunikacji pomiędzy jednostkami roju. Do wymiany danych z matką roju zastosowano protokół MAVLink. Natomiast komunikację wzajemną wewnątrz roju zrealizowano w sposób autorski. Zaproponowano własny protokół komunikacyjny, wykorzystując technologię UWB. Uzyskano takie funkcjonalności rozwiązania jak możliwość wymiany danych o pozycji oraz danych z obiektów i informacji o potencjalnych awariach.

Jest to szczególnie przydatne w pracy w warunkach, gdzie mogą wystąpić przesłonięcia sygnałów dalekiego zasięgu i utrata komunikacji z matką roju. Umożliwia to bezkolizyjność bezzałogowych obiektów latających, jak również rozmieszczenie dronów w równych wzajemnych odległościach, co jest najczęściej pożądanym układem podczas wykonywania różnych typów misji. Ponadto w rozdziale 5 przeanalizowano użycie odbiorników GPS, w kontekście wad i zalet. Autor zaproponował zastosowanie czujników inercyjnych, znajdujących się na pokładzie każdego sterownika lotu, modułów UWB oraz minimalnej ilości odbiorników GPS. Takie rozwiązanie zapewnia autonomiczność poszczególnych jednostek w sytuacji braku komunikacji z matką. Przeprowadzono doświadczenia z różnymi sterownikami lotu, które potwierdziły skuteczności działania opracowanego systemu komunikacji i nawigacji obiektów w roju. Następnie zaimplementowano opracowaną metodę komunikacji wraz z autorskim protokołem w środowisku symulacyjnym. Przeprowadzono eksperymenty dotyczące zachowań roju w przypadku awarii jednego z dronów.

W rozdziale 6 przedstawiono w zaproponowanym oprogramowaniu symulacyjnym środowisko pracy dronów, zdefiniowano misję, rodzaj formacji roju. Zachowano możliwość ingerencji operatora w zakresie przejęcia sterowania poszczególnej jednostki, a także monitorowania bezzałogowych obiektów latających przy użyciu protokołu MAVLink w programie QGC. Omówiony został przepływ danych w systemach komunikacji. Opisano symulację ruchu dla kilku typowych formacji dronów. Z wykorzystaniem gotowych bibliotek zastosowano algorytm uczenia ze wzmocnieniem do sterowania ruchem roju.

Przeprowadzono szereg symulacji przelotu jednostek w zdefiniowanym szyku w środowisku zawierającym przeszkody. Scenariusze wykonano w warunkach losowych, badając dynamiczną odpowiedź roju.

W podsumowaniu wykazano, że zdefiniowany cel pracy doktorskiej został osiągnięty.

3. Wyniki pracy i ich ocena

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy tematyki budowy symulatora środowiska pracy roju dronów, którego pewne elementy zostały zweryfikowane w warunkach rzeczywistych.

Autor podczas pisania pracy wykazał się dobrym rozeznaniem w rozpatrywanej problematyce naukowej. Na podkreślenie zasługuje sprawność w organizacji warsztatu badawczego i umiejętność wyciągania właściwych wniosków choć czasem niepopartych procesem dowodowym.

Poszczególne etapy pracy świadczą o dobrym przygotowaniu merytorycznym Autora oraz o jego umiejętności prowadzenia prac badawczych. Warto tu zwrócić uwagę na wielorakość stosowanych narzędzi i metod, których właściwe używanie wymaga solidnej podbudowy teoretycznej i doświadczenia. Część pracy dotyczącą modelowania oceniam wysoko.

Praca dotyczy zagadnień mechaniki, informatyki, automatyki, łączności, metrologii, czy sterowania. Przez to praca ma charakter interdyscyplinarny i jest to niewątpliwie jej mocna strona. Autor wykazał umiejętność poruszania się w zagadnieniach z różnych dyscyplin takich jak: inżynieria mechaniczna, automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne, informatyka techniczna. Jest to niewątpliwie zaleta pracy. Jako osiągnięcie Doktoranta można przyjąć:

- Opracowanie modelu matematycznego drona.
- Zasymulowanie w oprogramowaniu Matlab/Simulink, stosując model matematyczny obiektu latającego, wzlotu drona na zadaną wysokość.
- Zaproponowanie środowiska graficznego, w którym osiąganie zadanej wysokości przez dron w warunkach symulacyjnych porównano z pomiarami wykonanymi z wykorzystaniem rzeczywistej jednostki latającej.
- Przeprowadzenie testów komunikacji wzajemnej pomiędzy dronami w warunkach poprawnej ich pracy oraz w przypadku awarii jednego z nich.

- Przeanalizowanie wpływu awarii jednej z jednostek na poprawną realizację sztyku liniowego złożonego z 4 dronów, w środowisku graficznym.
- Zaproponowanie rozwiązania umożliwiającego omijanie przeszkód przez rój złożony z dronów wykorzystujących elementy inteligencji maszynowej.
- Przetestowanie zaproponowanego rozwiązania z zastosowaniem różnych konfiguracji roju.

Praca charakteryzuje się niestety szeregiem uproszczeń, niedociągnięć i drobnych omyłek czy błędów.

Kilkukrotnie w pracy znajdujemy sformułowanie „autorski model matematyczny obiektu”. Na czym polega wkład Autora?. Analogicznie mamy „autorski sterownik lotu”, „autorski protokół komunikacyjny”, proszę o podanie informacji na czym polegał wkład autorski.

Autor jako kryterium poprawności osiągnięcia przez dron zadanej wysokości przyjął IAE, czyli całkę wartości bezwzględnej błędu. W mojej ocenie jest to niewłaściwe lub mogłoby stanowić kryterium pomocnicze. Całka wartości bezwzględnej błędu jest zależna od czasu, jej wartość będzie więc sumą błędu realizacji lotu i błędu osiągnięcia pozycji. Ponadto czas w jakim wykonujemy pomiar musi być identyczny dla każdego eksperymentu. Można by zastąpić ten wskaźnik np. najprostszym rozwiązaniem max. błąd względny. Ponadto w pracy nie podano zależności na wyznaczanie wskaźnika błędu oraz informacji z jakim krokiem to robiono.

W pracy, gdzie mówimy w tytule o sterowaniu, podajemy kryterium błędu, brak jest wykresu błędu realizacji zadanej wysokości i jest to słaba strona pracy. Ponadto Autor stwierdza że kryterium IAE „jest najlepszym kryterium błędów w sterowaniu obiektów” z czym się stanowczo nie zgadzam. Jako literaturę Doktorant podaje tu pracę dotyczącą sterowania reaktorów jądrowych, sprężarek odśrodkowych oraz pracę teoretyczną dotyczącą sterowania odpornego procesami opisanymi równaniami różnego rzędu.

Błąd wyznaczono na podstawie pomiaru dalmierzem laserowym. Niestety w pracy nie znajdujemy informacji o rodzaju dalmierza, jego dokładności pomiarowej oprócz ogólnikowych stwierdzeń „bardzo dokładne”.

W pracy tor i trajektoria to często pojęcia używane zamiennie. W przypadku toru to prosta lub krzywa np. w układzie xy , trajektoria jest natomiast w dziedzinie czasu.

Proszę o wyjaśnienie jakie wartości otrzymane w oprogramowaniu Matlab/Simulink zostały wprost wykorzystane w finalnym rozwiązaniu symulatora. W jakim celu prowadzono prace w Matlabie.

Po lekturze dysertacji nasuwa się pytanie, w jaki sposób zdefiniowano kształt formacji? W pracy przedstawiono jedynie rysunki. Dlaczego dla zachowania kształtu formacji użyto sieci neuronowych wykorzystujących uczenie ze wzmocnieniem. Jak wygląda wektor wejść tej sieci. Jak wygląda jej struktura, w jaki sposób dobrano jej parametry?. W jakim celu wprowadzono jak Pan to nazywa „metodę gradientu polityki”?

To co uważam za największy mankament pracy to niepoprawny i niegramatyczny tytuł oraz źle zdefiniowany cel pracy oraz brak możliwości odnalezienia opisu jego realizacji. Tytuł pracy to „Zastosowanie algorytmu sterowania w roju dla bezzałogowych obiektów latających”,

w definicji celu pracy znajdujemy stwierdzenie „Celem niniejszej rozprawy doktorskiej było opracowanie algorytmu sterowania grupą bezzałogowych obiektów latających w szyku określonym mianem roju”. Algorytm z definicji to opis matematyczny lub w postaci instrukcji, sekwencji kroków który służy do rozwiązania problemu lub wykonania zadania, przekształcając dane wejściowe w pożądane dane wyjściowe. Gdzie w pracy możemy znaleźć tytułowy czy zdefiniowany jako cel pracy algorytm sterowania grupą bezzałogowych obiektów latających?

W literaturze mamy szereg źródeł internetowych, które pochodzą z czasopism nierecenzowanych, stanowią opisy reklamowe, czy są fragmentami instrukcji producentów. W większości w mojej ocenie są właściwe, natomiast jako materiał źródłowy, do którego odwołuje się Autor dysertacji, mają znikomą wartość. Mimo iż Polska norma ma charakter zalecający i nie jest obligatoryjna proponowałbym Autorowi zastosowanie się do zawartych w niej reguł tworzenia cytowań (PN-ISO 690 Dokumentacja. Przypisy bibliograficzne: zawartość, forma i struktura, PN-ISO 690-2 Informacja i dokumentacja. Dokumenty elektroniczne i ich części).

Występujące w pracy błędy stylistyczne i językowe wpływają znacząco na jakość przekazywanych informacji. Poniżej kilka przykładów.

Używa Pan sformułowania „uczenie przez wzmocnienie”, a mamy do czynienia z uczeniem ze wzmocnieniem, czego czytelnik może się spodziewać po podrozdziale 1.1 „Literatura naukowa a sterowanie w roju”, a czego w podrozdziale 1.2 „Przegląd literatury dla koncepcji sterowania w roju.” Dlaczego tytuł podrozdziału 4.2 jest w języku angielskim, skoro praca jest w języku polskim?. Co oznacza sformułowanie „abstrakcja oprogramowania”, „technologii komputeryzacji”, na czym polega „walidacja wzlotu” itp. Pozostałe zamieściłem w uwagach ogólnych i szczegółowych.

Uwagi ogólne

Str. 23 Str. 45¹¹ – jak Pan rozumie „elastyczność algorytmiki”?

Str. 49₂ – co to jest „skalarność algorytmu”?

Str. 54 – cel szczegółowy w końcowej sentencji jest niepoprawny stylistycznie.

Str. 55 – cel szczegółowy sformułowany jest niepoprawnie. Cel to osiągnięcie jakiegoś rozwiązania, wyniku, skutku, natomiast narzędzia jego osiągnięcia nie są istotne.

Str. 61⁵ – dlaczego masa czujników nie powinna przekraczać 3% masy konstrukcji?

Str. 51³, Str. 53₇ – częste użycie w pracy zwrotu „koresponduje do”, koresponduje się z kimś, listy pisze się do. Zwrot często używany w kontekście wymiany danych, a z definicji korespondencja jest wymianą informacji w sposób pisemny.

Str. 88₇ – jak uzyskano optymalny „zestaw nastaw”, jaka była funkcja celu, jakie metody optymalizacyjne zastosowano, a przede wszystkim co optymalizowano?

Str. 90³ – jak otrzymano „optymalną koncepcję pracy”?

Str. 100₇ – w jaki sposób jak pisze Autor, „model CAD wprowadza dynamikę jednostki”?

- Str. 109³ – „bardzo precyzyjny pomiar”, względem czego?
- Str. 109¹⁴ – „wysokiej dokładności” potrzebny jest poziom odniesienia lub dane numeryczne.
- Str. 116₆ – „duża precyzja”, dlaczego Autor uważa ją za dużą, kiedy jest mała, średnia?
- Str. 119₆ – na jakiej podstawie można uznać, że (cytuję) „dane zbierane z drona są poprawne”, a kiedy nie?
- Str. 125² – „z dużą precyzją” sformułowanie nieprecyzyjne.
- Str. 137 – w jakim celu wprowadzono autorski protokół, dlaczego komercyjnie dostępne protokoły były nieodpowiednie, na czym polegał wkład Autora?
- Str. 182₉ – „Jej struktura jest zbieżna”, gdzie w pracy znajdziemy te struktury, na podstawie czego wyciągnięto taki wniosek?
- Str. 183₁₆ – „Po wyznaczeniu optymalnej trajektorii”, jakie kryterium optymalizacyjne zastosowano, jaką metodą wyznaczono optymalne rozwiązanie.
- Często Autor w pracy opisuje kilka rozwiązań i wskazuje jedno jako najlepsze nie podając żadnej analizy wskaźnikowej zdefiniowanych kryteriów.
- Str. 184₆ – co oznacza sformułowanie „bardzo dobrze sterowalne”, kiedy coś jest słabo lub średnio sterowalne?
- Str. 193¹ – co oznacza sformułowanie „w kontekście uczenia wzmacniającego”?
- Str. 197⁷ – „mniejsze przesterowanie” aby mówić o przesterowaniu należy posłużyć się wykresem zmian wartości lub wykresem zmian sygnału sterowania, proszę o komentarz skąd ten wniosek.
- Str. 198³ – „bardzo nieoptymalne” albo coś jest optymalne albo nie, nie można tego stopniować.
- Str. 199⁹ – w jaki sposób przechylenie zostało zoptymalizowane, jakie kryterium optymalizacyjne przyjęto, jaką metodą wykorzystano.

Uwagi szczegółowe

- Str. 16¹⁹ – brak literatury.
- Str. 21 – zdj. 1.1 brak literatury.
- Str. 22₁₀ – jest „do problemu roju” powinno być do problemów roju.
- Str. 27 – rys. 1.1, rys. 1.2 i rys. 1.3 opisy w języku obcym, rys. 1.2 i rys. 1.3 nieczytelny.
- Str. 30 – rys. 1.4 opisy w języku obcym.
- Str. 32 – brak przerwy przed podrozdziałem 1.3.
- Str. 32 – rys. 1.5 opisy w języku obcym.
- Str. 37¹¹ – jest użyty potoczny zwrot „zarządzanie wodą” powinno być zarządzanie zasobami wodnymi.
- Str. 38¹² – brak literatury.
- Str. 43 – rys. 1.6 opisy w języku obcym.
- Str. 45⁸ – personifikacja, prace nie skupiają uwagi, tego typu zwrotów w całej pracy jest wiele np. str. 61- sformułowanie model oddaje.

Str. 47⁶ – błąd stylistyczny.

Str. 47¹¹ – błąd stylistyczny.

Str. 49¹²⁻¹⁵ – błąd stylistyczny.

Str. 51³ – sens.

Str. 52² – Autor odnosi się do koloru czerwonego na rys 2.2, którego tam nie znajduję.

Str. 53₇ – sens.

Str. 54₅ – wzory zachowań, a nie „wzory zachowania”.

Str. 66⁷ – układ sterowania nie może być sparaliżowany.

Str. 61₁₂ – nie „analiza dynamiki”, a analiza zadań dynamiki.

Str. 73³ – kamera służy do akwizycji danych a nie jak podaje Autor nagrywania wideo.

Str. 75⁶ – o co chodzi w sformułowaniu „.....wstaw.....”.

Str. 76¹⁸ – odradzam sformułowania o pokrywaniu się wyników, proponuje analizę porównawczą.

Str. 90¹⁵ – logika i sens zdania „Z kolei....”

Str. 94 – rys. 4.2 nieczytelny.

Str. 97 – rys.4.3 opisy w języku obcym.

Str. 98 – rys.4.4 nieczytelny.

Str. 109¹³ – co oznacza „wysokiej dokładności”, kiedy dokładność jest niska o kiedy wysoka?

Str.110 – tabela wisząca, nie kończymy podrozdziału tabelą.

Str. 116₆ – co oznacza sformułowanie „z dużą precyzją”.

Str. 124₁₁ – błąd stylistyczny.

Str. 126⁶ – zdanie błędne stylistycznie.

Str. 126₁₀ – „pod systemem Linux” błąd stylistyczny.

Str. 126₁₀ – co oznacza sformułowanie „pod systemem Linux”.

Str. 130 – nie kończymy podrozdziału wymienianiem.

Str. 130₁ – „ilość pól” powinno być liczba pól.

Str. 172⁵ – mamy 10m w całej pracy mamy odstęp między jednostką a wartością.

Str. 173 – wisząca tabela.

Str. 174 – wiszący rysunek.

Str. 175⁵ – styl.

Str. 179₁ – styl.

Str. 180⁵ – mamy „mostem połączeniowym” chyba łączącym.

Str. 187² – błąd stylistyczny.

Str. 189₂ – brak literatury.

Str. 191₁₅ – dlaczego Autor używa wielokrotnie w całej pracy sformułowania „uczenie przez wzmocnienie” lub „uczenie wzmacniające” str. 193, jest to uczenie ze wzmocnieniem.

Str. 191₄ – błąd stylistyczny

Str. 200 – nie kończymy podrozdziału wypunktowaniem.

Str. 203 – nie zaczynamy podrozdziału rysunkiem.

4. Wnioski końcowe

W ramach pracy opracowano model matematyczny bezzałogowego obiektu latającego na przykładzie quadrocoptera, przedstawiono sposób wykorzystania komercyjnego środowiska graficznego do symulacji pracy roju złożonego z dronów. Zaproponowano autorski system komunikacji, którego elementy zweryfikowano. Wykorzystując elementy inteligencji maszynowej w postaci sieci neuronowych ze wzmocnieniem przeprowadzono symulacje ruchu różnych formacji dronów w środowisku z przeszkodami. Całość podsumowano, wyciągnięto wnioski i zaproponowano kierunki dalszych badań.

Uważam, że opiniowana praca Pana mgr. inż. Macieja Salwa spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w rozumieniu obowiązującej Ustawy i może być dopuszczona do dalszego procedowania.

Andrzej Burghardt