



**WYDZIAŁ  
ELEKTROTECHNIKI  
I INFORMATYKI**  
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

**Michał Bazan**

Porównanie algorytmów nawigacyjnych

**PRACA MAGISTERSKA**

Opiekun pracy:  
dr inż. Dariusz Rzońca

Rzeszów, 2024



# Spis treści

<b>1. Wstęp . . . . .</b>	<b>6</b>
<b>2. Inżynierska część projektu . . . . .</b>	<b>8</b>
2.1. Budowa robota . . . . .	8
2.1.1. Wymagania sprzętowe . . . . .	8
2.1.2. Schemat elektryczny . . . . .	10
2.1.3. Testy . . . . .	11
2.2. System operacyjny robota . . . . .	11
2.2.1. Wymagania dotyczące oprogramowania . . . . .	11
2.2.2. Implementacja . . . . .	11
2.2.3. Obsługiwane komendy . . . . .	11
2.3. Sterowanie robotem . . . . .	11
<b>3. Badane algorytmy . . . . .</b>	<b>12</b>
3.1. Algorytm genetyczny . . . . .	12
3.2. Uczenie ze wzmocnieniem . . . . .	12
3.3. Algorytmy nawigacyjne . . . . .	12
<b>4. Badania . . . . .</b>	<b>13</b>
4.1. Optymalizacja nastaw regulatora PID prędkości obrotowej . . . . .	13
4.2. Optymalizacja nastaw regulatora położenia i orientacji . . . . .	13
4.3. Porównanie algorytmów nawigacyjnych w terenie bez przeszkód . . . . .	13
4.4. Porównanie algorytmów nawigacyjnych w terenie z przeszkodami . . . . .	13
<b>5. Podsumowanie i wnioski końcowe . . . . .</b>	<b>14</b>
<b>Literatura . . . . .</b>	<b>16</b>



## Wykaz symboli, oznaczeń i skrótów

# 1. Wstęp

W dzisiejszych czasach, wraz z dynamicznym rozwojem technologii mobilnych, algorytmy nawigacyjne i uczenia maszynowego [2] odgrywają kluczową rolę w różnorodnych aplikacjach, począwszy od systemów nawigacji w samochodach po autonomiczne roboty poruszające się w różnych środowiskach. Biorąc pod uwagę aktualność tych zagadnień i rosnące zapotrzebowanie, zdecydowano o przeprowadzeniu badań dotyczących systemów nawigacyjnych.

Celem tej pracy jest zbadanie heurystycznych metod [4] optymalizacji regulatorów PID oraz porównanie wybranych algorytmów pod kątem kryteriów takich jak dokładność wyznaczania trasy oraz wydajność obliczeniowa w różnych warunkach terenowych.

Zakres pracy obejmuje dwie części:

- a) część inżynierska - wykonanie robota mobilnego, implementacja systemu wbudowanego oraz implementacja oprogramowania sterującego robotem poprzez dostępny interfejs,
- b) część badawcza - badanie algorytmów uczenia maszynowego do optymalizacji nastaw regulatorów PID oraz porównanie wybranych algorytmów nawigacyjnych.

Zastosowanie standardu ASPICE [5] zapewnia wysoką jakość procesu budowy robota oraz implementacji oprogramowania co pozwoli na przeprowadzenie rzetelnych badań i wyciągnięcie wiarygodnych wniosków.

W dalszej części pracy szczegółowo omówione zostaną poszczególne etapy realizacji każdego z tych komponentów, prezentując zarówno teoretyczne założenia, jak i praktyczne wyniki osiągnięte w ramach projektu.

W następnych rozdziałach pracy przedstawiono szczegółowy opis inżynierskiej części projektu oraz wyniki przeprowadzonych badań. W rozdziale poświęconym inżynierskiej części projektu omówiono budowę robota, jego system operacyjny oraz prostą stację operatorską, które stanowią podstawę do realizacji badań algorytmicznych. Następnie, w rozdziale dotyczącym badanych algorytmów, zaprezentowano teoretyczne i praktyczne aspekty algorytmu genetycznego, algorytmów nawigacyjnych statycznych oraz dynamicznych. Kolejny rozdział skupia się na opisie przeprowadzonych badań, w których dokonano optymalizacji nastaw regulatora PID oraz przeprowadzono porów-

nanie skuteczności algorytmów nawigacyjnych. Te szczegółowe analizy mają na celu ocenę wydajności poszczególnych rozwiązań oraz identyfikację optymalnych metod nawigacyjnych dla zbudowanego robota.

## 2. Inżynierska część projektu

W tym rozdziale przedstawiono kompleksowy opis prac związanych z implementacją oraz funkcjonowaniem robota. Niniejszy rozdział stanowi szczegółowe omówienie trzech kluczowych elementów projektu, które skupiały się na budowie fizycznej robota zgodnie z procedurami SPICE, implementacji oprogramowania w języku C++ z uwzględnieniem unit testów oraz oprogramowania do sterowania robotem. Dzięki zastosowaniu tych trzech elementów możliwe było zapewnienie nie tylko skutecznej implementacji samego robota, ale również jego oprogramowania oraz efektywnego zarządzania nim w czasie rzeczywistym. Dokładna dokumentacja wszystkich komponentów projektu oraz testów znajduje się na repozytorium Github [1].

### 2.1. Budowa robota

Pierwszym aspektem, który zostanie przedstawiony, jest proces budowy robota. Opisane zostaną tutaj szczegóły dotyczące wyboru komponentów oraz implementacji elektroniki sterującej.

#### 2.1.1. Wymagania sprzętowe

W celu dobrania właściwych elementów do budowy robota, sformułowano niżej umieszczone wymagania wysokiego poziomu:

Tablica 2.1. Wymagania wysokiego poziomu HWE1

ID_HWE1	Opis
HWE_1_010	Sprzęt powinien wspierać obsługę czujników odległości.
HWE_1_020	Kontroler powinien udostępniać moduł WiFi.
HWE_1_030	Robot powinien być wyposażony w szczotkowe silniki DC z enkoderami.
HWE_1_040	Sprzęt powinien wspierać obsługę enkoderów.
HWE_1_060	Sprzęt powinien mieć zaimplementowany odpowiedni system dystrybucji zasilania.



Na podstawie wyżej ukazanych, sformułowano następujące wymagania niskiego poziomu:

Tablica 2.2. Wymagania niskiego poziomu HWE2

ID_HWE2	Opis
HWE_2_010	Wszystkie interfejsy komunikacyjne powinny wspierać logikę 3V3.
HWE_2_020	Mikrokontroler powinien być wyposażony w moduł WiFi.
HWE_2_030	System dystrybucji zasilania powinien zasilić logikę.
HWE_2_040	System dystrybucji zasilania powinien zasilić silniki.
HWE_2_060	Czujnik odległości powinien mieć zakres pomiarowy wynoszący conajmniej 200 cm.
HWE_2_070	Czujniki odległości powinny udostępniać interfejs komunikacyjny kompatybilny z interfejsami mikrokontrolera.

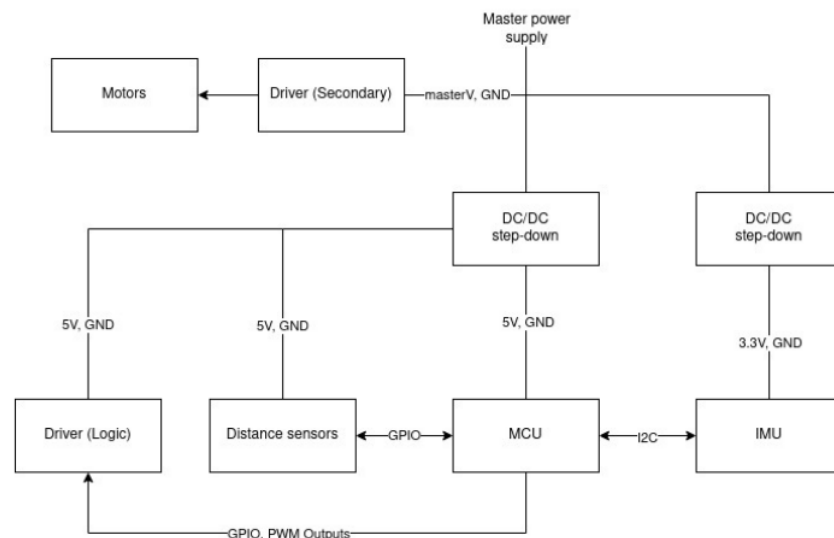


Figure 1: Hardware block diagram

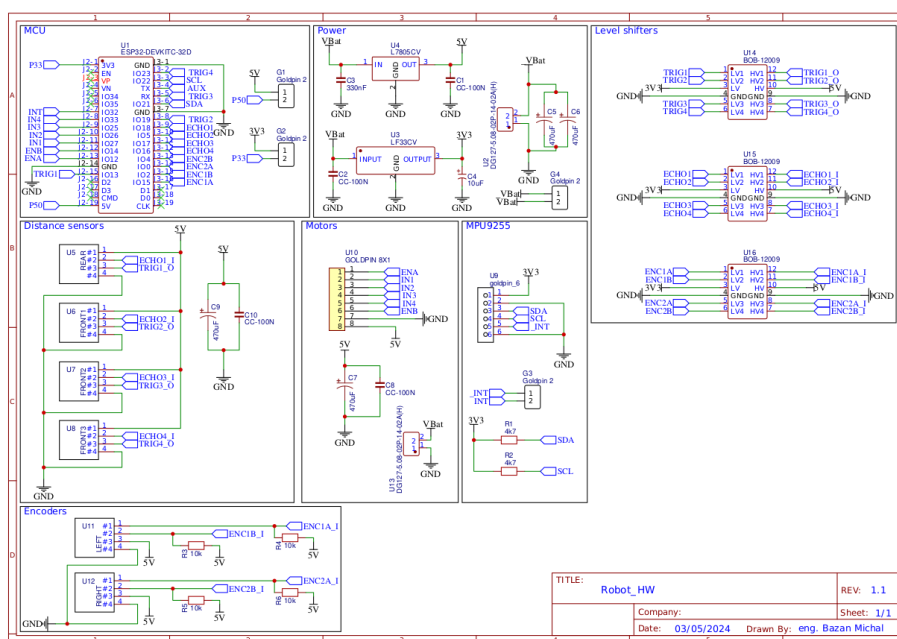
Rys. 2.1. Schemat blokowy sprzętu

Wyżej załączona figura 2.1 ukazuje schemat blokowy utworzony na podstawie wcześniej zdefiniowanych wymagań sprzętowych. Wskazuje, jakie interfejsy i poziomy napięć zasilania zostały wykorzystane pomiędzy poszczególnymi blokami. Sprzęt zdefiniowany w ten sposób i zbiór wymagań stawianych przed urządzeniem zezwolił na dobranie właściwych komponentów.

### 2.1.2. Schemat elektryczny

Niniejsza sekcja skupia się na wyjaśnieniu schematu elektrycznego robota. Na podstawie umieszczonych w poprzedniej sekcji wymagań dokonano wyboru komponentów, które zostały wykorzystane w projekcie, ale dokładny opis elementów został umieszczony w dokumentacji tej części projektu na repozytorium Github [1].

W celu ułatwienia procesu implementacji i zmitigowaniu potencjalnych błędów, schemat elektryczny został podzielony na bloki zgodnie z podziałem ukazanym na rysunku 2.1.



- f) MPU9255 - blok został zaimplementowany, ale nie jest wykorzystywany,
- g) Encoders - ta sekcja ukazuje sygnały wyjściowe z enkoderów.

### **2.1.3. Testy**

Testowanie tej części projektu polegało głównie na weryfikacji założeń i projektu płytki, dlatego aspekt ten nie został poruszony w tej sekcji. Szczegółowa dokumentacja znajduje się w zdalnym repozytorium [1].

## **2.2. System operacyjny robota**

Ta sekcja skupia się na implementacji oprogramowania w języku C++, obejmującej zarówno projektowanie jak i implementacja funkcjonalności.

### **2.2.1. Wymagania dotyczące oprogramowania**

Na podstawie wcześniej omówionych wymagań sprzętowych oraz celów tego projektu, sformułowano następujące wymagania wysokiego poziomu:

- a) Oprogramowanie powinno odczytywać sensory periodycznie,
- b) Interfejs WiFi powinien być wykorzystany do komunikacji z oprogramowaniem sterującym,
- c) Oprogramowanie powinno udostępniać interfejs do sterowania silnikami,
- d) Komunikacja powinna wykorzystywać prosty protokół komunikacyjny do wymiany danych pomiędzy robotem a oprogramowaniem sterującym,
- e) Oprogramowanie powinno implementować algorytm wyznaczający odometrię.

### **2.2.2. Implementacja**

### **2.2.3. Obsługiwane komendy**

## **2.3. Sterowanie robotem**

Kolejnym istotnym zagadnieniem będzie omówienie wykorzystania ROS2 oraz technologii Docker w kontekście sterowania robotem. Przedstawione zostaną tutaj zarówno zalety jak i wyzwania związane z integracją tych narzędzi.

### **3. Badane algorytmy**

#### **3.1. Algorytm genetyczny**

#### **3.2. Uczenie ze wzmocnieniem**

#### **3.3. Algorytmy nawigacyjne**

## 4. Badania

4.1. Optymalizacja nastaw regulatora PID prędkości obrotowej

4.2. Optymalizacja nastaw regulatora położenia i orientacji

4.3. Porównanie algorytmów nawigacyjnych w terenie bez przeszkód

4.4. Porównanie algorytmów nawigacyjnych w terenie z przeszkodami

## 5. Podsumowanie i wnioski końcowe

## Załączniki



## Literatura

- [1] [https://github.com/DevxMike/master\\_degree](https://github.com/DevxMike/master_degree)
- [2] Francois Chollet: Deep Learning. Praca z językiem Python i biblioteką Keras. Helion 2019
- [3] Paweł Cichosz: Systemy uczące się. WNT 2007
- [4] Riccardo Poli, William B. Langdon, Nicholas F. McPhee, John R. Koza: A Field Guide to Genetic Programming. Lulu Enterprises Uk Ltd 2008
- [5] [https://mfiles.pl/pl/index.php/Automotive\\_SPICE](https://mfiles.pl/pl/index.php/Automotive_SPICE)

## **STRESZCZENIE PRACY DYPLOMOWEJ MAGISTERSKIEJ**

### **PORÓWNANIE ALGORYTMÓW NAWIGACYJNYCH**

Autor: Michał Bazan, nr albumu: EF-163881

Opiekun: dr inż. Dariusz Rzońca

Słowa kluczowe: (Algorytmy nawigacyjne, Robot mobilny, Inżynieria, ASPICE, Machine Learning)

Praca koncentruje się na badaniu wybranych algorytmów nawigacyjnych oraz metod optymalizacji nastaw regulatorów PID z wykorzystaniem zbudowanego robota mobilnego, który został skonstruowany zgodnie z procedurami ASPICE. Celem jest ocena dokładności, szybkości wyznaczania trasy oraz ogólnej wydajności tych algorytmów. Analiza wyników pozwoli wyciągnąć wnioski dotyczące skuteczności i efektywności badanych algorytmów nawigacyjnych. Dzięki zastosowaniu standardów ASPICE zapewniona została wysoka jakość procesu budowy robota, co umożliwia rzetelne i wiarygodne badania nad jego funkcjonalnością i algorytmami nawigacyjnymi.

RZESZOW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
Faculty of Electrical and Computer Engineering

Rzeszów, 2024

## **MSC THESIS ABSTRACT**

### **COMPARISON OF NAVIGATION ALGORITHMS**

Author: Michał Bazan, album number: EF-163881

Supervisor: Dariusz Rzońca, dr. engineer

Key words: (Navigation algorithms, Mobile robot, Engineering, ASPICE, Machine Learning)

The work focuses on the study of selected navigation algorithms and methods for optimising PID controller settings using a built mobile robot that has been constructed according to ASPICE procedures. The aim is to evaluate the accuracy, routing speed and overall performance of these algorithms. Analysis of the results will allow conclusions to be drawn regarding the effectiveness and efficiency of the navigation algorithms studied. Through the use of ASPICE standards, the high quality of the robot construction process is ensured, enabling reliable and credible research into its functionality and navigation algorithms.