

Zajęcia Projektowe Podstawy Robotyki

*Platforma jeżdżąca automatycznie utrzymująca odległość od
ściany*

Autorzy:

Jakub Pająk
Łukasz Grabarski
Krzysztof Grądek
Piotr Legień
Bartosz Wuwer

AiR Grupa 5TI

Spis treści

1.	Wprowadzenie	2
1.1.	Cel projektu	2
1.2.	Założenia wstępne	2
2.	Realizacja projektu	2
2.1.	Panel sterowania w aplikacji	3
2.1.1.	Interfejs użytkownika aplikacji	3
2.2.	Implementacja połączenia Bluetooth	3
2.3.	Implementacja przesyłania danych	3
2.4.	Implementacja prostego skryptu w odczytującym dane z kanału BLE	3
2.5.	Proces wykonywania projektu obudowy robota	5
2.6.	Implementacja prostego kodu weryfikującego prawidłowe podłączenie silników	9
2.7.	Podłączenie oraz weryfikacja poprawności działania czujników laserowych	10
2.8.	Montaż silników wewnątrz dolnej komory obudowy	11
2.9.	Montaż ogniw wraz z układem BMS oraz podłączenie czujników	11
2.10.	Integracja czujników z silnikami oraz implementacja logiki sterowania	12
2.10.1.	Slave	12
2.11.	Testy poprawności działania algorytmu sterującego	13
3.	Napotkane problemy	13
3.1.	Połączenie aplikacji z Arduino	13
3.2.	Podłączenie laserowych czujników odległości	13
3.3.	Montaż silników oraz kół	13
4.	Podsumowanie	13

1. Wprowadzenie

1.1. Cel projektu

Celem niniejszego projektu jest opracowanie mobilnej platformy robotycznej, zdolnej do automatycznego utrzymywania określonej odległości od ściany. Platforma ta bazować będzie na mikrokontrolerze Arduino oraz laserowych czujnikach odległości typu ToF (ang. Time of Flight). Projekt ma na celu zbadanie i rozwinięcie zaawansowanych algorytmów sterowania i nawigacji, które umożliwią precyzyjne śledzenie ścian w zmiennych warunkach środowiskowych. Dodatkowym celem jest stworzenie wszechstronnego rozwiązania, które można łatwo dostosować do różnych zastosowań, takich jak roboty sprząające, inspekcyjne czy systemy autonomiczne w logistyce.

1.2. Założenia wstępne

Robot zostanie zaprojektowany w oparciu o mikrokontroler Arduino Uno R4, wybrany ze względu na wbudowany moduł Bluetooth LE (LE - Low Energy), co umożliwi zdalne monitorowanie i kontrolę. Silniki zastosowane w projekcie muszą być wyposażone w enkodery, bądź umożliwiać ich dołączenie, co zapewni precyzyjne sterowanie. Czujniki odległości zostaną podłączone do mikrokontrolera za pomocą magistrali I2C. Ze względu na planowaną liczbę czujników (osiem), połączenie ich innymi metodami nie byłoby efektywne.

Zasilanie platformy musi być wystarczające do obsługi co najmniej jednego mikrokontrolera oraz czterech silników. Optymalnym rozwiązaniem będzie zastosowanie czterech ogniw litowo-jonowych połączonych w konfiguracji 2S2P, co zapewni odpowiednią wydajność energetyczną. Dodatkowo, konieczne jest zastosowanie układu zarządzania baterią BMS (ang. Battery Management System), który zabezpieczy ogniwa przed nadmiernym rozładowaniem i przeładowaniem.

Całość konstrukcji zostanie zamknięta w obudowie wykonanej techniką druku 3D. Obudowa będzie podzielona na dwie główne sekcje: dolną, w której zostaną umieszczone silniki oraz ogniwa wraz z układem BMS, oraz górną, zawierającą płytkę stykową, mikrokontroler oraz czujniki. Taka konstrukcja zapewni łatwy dostęp do kluczowych komponentów i umożliwi ich sprawną wymianę w razie potrzeby.

Początkowo plan realizacji projektu zakładał stworzenie aplikacji, która byłaby odpowiedzialna za zdalne sterowanie robotem poprzez moduł BLE (ang. Bluetooth Low Energy). W wyniku późniejszych konsultacji plan uległ zmianie jednak aplikacja zostanie wykorzystana jako wsparcie dla automatycznego trybu robota.

2. Realizacja projektu

Projekt był realizowany etapami, jednak nie został zastosowany szczegółowy harmonogram. Przybliżone etapy rozwoju projektu:

1. Napisanie aplikacji w wersji dedykowanej systemowi Android w języku Dart,
2. Realizacja prostego skryptu w Arduino IDE w celu weryfikacji połączenia BLE z mikrokontrolerem,
3. Wykonanie projektu obudowy robota w 3D oraz przygotowanie do druku,
4. Wykonanie prostego kodu w celu weryfikacji poprawności podłączenia silników do sterownika,
5. Podłączenie oraz weryfikacja poprawności działania laserowych czujników odległości,
6. Montaż silników wewnątrz dolnej komory obudowy,
7. Montaż ogniw wraz z układem BMS,
8. Integracja czujników z silnikami oraz implementacja logiki sterowania,
9. Testy poprawności działania algorytmu sterującego.

2.1. Panel sterowania w aplikacji

Podczas analizy możliwych rozwiązań problemu zdalnego sterowania robotem wybór padł na wykonanie aplikacji mobilnej oraz przysyłanie odpowiednich komend za pomocą protokołu BLE. Protokół BLE jest pewnym szczególnym przypadkiem ogólnego protokołu Bluetooth, jest on szczególnie często spotykany w przypadku mniej zaawansowanych mikrokontrolerów takich jak Arduino Uno R4. Dzięki odpowiedniej architekturze, protokół ten pozwala na bardziej efektywne zarządzanie pobieraną energią jednocześnie zachowując niezbędne funkcjonalności.

Przez wzgląd na wcześniej nabyte umiejętności tworzenia aplikacji za pomocą języka Dart przez jednego z członków sekcji, prace nad projektem rozpoczęto od implementacji podstawowej wersji aplikacji realizującej proste przysyłanie informacji w postaci całkowitoliczbowej w celu późniejszej interpretacji otrzymanych danych w środowisku Arduino.

Przez wzgląd na tematykę projektu implementacja aplikacji nie zostanie w poniższym raporcie szczegółowo omówiona. Zostanie przedstawiony podstawowy interfejs graficzny oraz zasada działania kluczowych funkcji, takich jak połączenie lub realizacja przesyłu danych. Autor uważa, iż pewne wyszczególnienie części metod oraz zastosowanych bibliotek może pomóc niektórym osobom w prostym znalezieniu informacji na temat poprawnie działającego połączenia z mikrokontrolerem Arduino poprzez Bluetooth.

2.1.1. Interfejs użytkownika aplikacji

2.2. Implementacja połączenia Bluetooth

2.3. Implementacja przesyłania danych

2.4. Implementacja prostego skryptu w odczytującego dane z kanału BLE

Fragment prezentowanego kodu rozpoczyna się od zadeklarowania zmiennych globalnych opisujących charakterystyki połączenia Bluetooth. Pierwsza charakterystyka określa identyfikator typu GUID serwisu, następna określa na jaki identyfikator przesyłane są zdarzenia typu "request". Ostatnia wartość definiuje identyfikator na jaki są przesyłane zdarzenia typu "response". W przypadku aktualnej wersji aplikacji istotna jest tylko wartość identyfikująca serwis oraz zdarzenia typu request, ponieważ mikrokontroler nie zwraca żadnej informacji do aplikacji. W razie dalszego rozwoju projektu zostanie zaimplementowane wyświetlanie diagnostyki robota, stanu naładowania baterii oraz stanu pracy silników.

Funkcja `t5Callback()` ma za zadanie pobierać wartość która aktualnie została przesłana do kanału Bluetooth z poziomu aplikacji. Argumenty wejściowe funkcji to urządzenie z którym Arduino nawiązało połączenie, drugi argument to wcześniej wspomniany identyfikator zdarzenia "request".

Następnie wartość jest odczytywana z kanału za pomocą funkcji `readValue()`. Funkcja ta jest częścią biblioteki `ArduinoBLE.h`.

W funkcji `setup()` następuje inicjalizacja odpowiednich charakterystyk oraz za pomocą funkcji `setEventHandler()` zostaje określona sytuacja w której nastąpi wywołanie funkcji `t5Callback` oraz odczytanie danych z kanału.

```

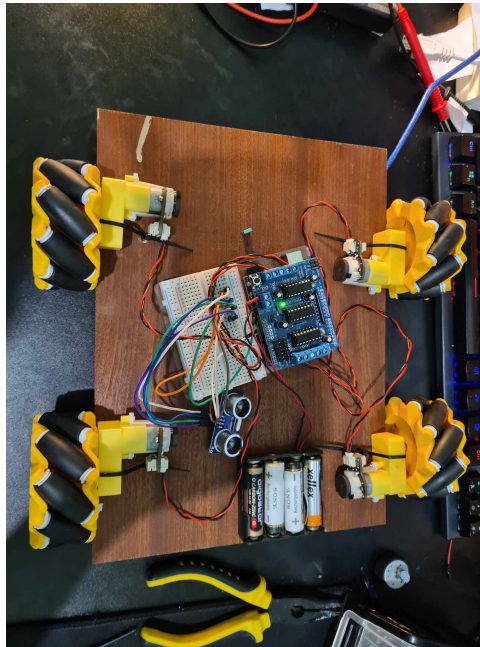
1  const char *deviceServiceUuid = "19b10000-e8f2-537e-4f6c-d104768a1214";
2  const char *deviceServiceRequestCharacteristicUuid = "19b10001-e8f2-537e-4f6c-d104768a1215";
3  const char *deviceServiceResponseCharacteristicUuid = "19b10001-e8f2-537e-4f6c-d104768a1216";
4
5  BLEService servoService(deviceServiceUuid);
6  BLEStringCharacteristic servoRequestCharacteristic(
7    deviceServiceRequestCharacteristicUuid, BLEWrite, 20); // Increased buffer size to 20
8  BLEStringCharacteristic servoResponseCharacteristic(
9    deviceServiceResponseCharacteristicUuid, BLENotify, 20); // Increased buffer size to 20
10
11 void t5Callback(BLEDevice central, BLECharacteristic characteristic) {
12   if (central.connected())
13   {
14     if (characteristic == servoRequestCharacteristic)
15     {
16       int16_t value = 0;
17       servoRequestCharacteristic.readValue(&value, 2);
18       Serial.println("Received value: ");
19       Serial.println(value);
20     }
21   }
22 }
23
24 void setup() {
25   Serial.begin(9600);
26
27   BLE.setDeviceName("Arduino APP");
28   BLE.setLocalName("Arduino APP");
29
30   if (!BLE.begin()) {
31     Serial.println("- Starting Bluetooth* Low Energy module failed!");
32     while (1);
33   }
34
35   BLE.setAdvertisedService(servoService);
36   servoService.addCharacteristic(servoRequestCharacteristic);
37   servoService.addCharacteristic(servoResponseCharacteristic);
38   servoRequestCharacteristic.setEventHandler(BLEWritten, t5Callback); // Set the callback function for when data is written to the characteristic
39   BLE.addService(servoService);
40   servoResponseCharacteristic.writeValue("0");
41
42   BLE.advertise();
43
44   Serial.println("Arduino BLE (Peripheral Device)");
45   Serial.println(" ");
46 }

```

Rysunek 1: Fragment kodu źródłowego przedstawiający implementację konfiguracji kanału Bluetooth na Arduino

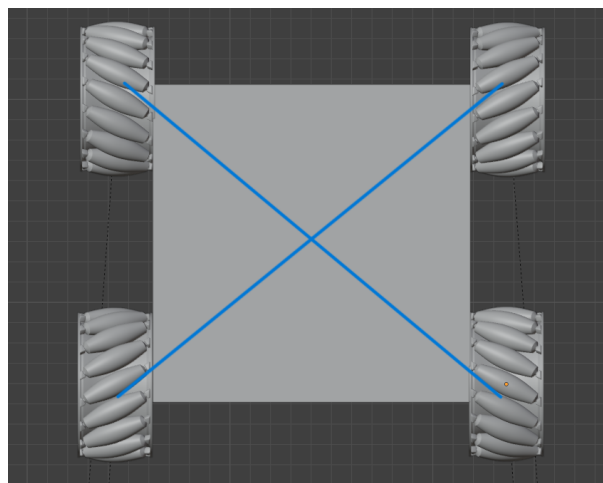
2.5. Proces wykonywania projektu obudowy robota

Proces projektowania obudowy dla platformy jeżdżącej stanowił wieloetapowe zadanie, które wymagało dokładnego zaplanowania i licznych poprawek. Pierwsza faza obejmowała stworzenie prototypu, który miał na celu optymalne rozmieszczenie komponentów oraz weryfikację ich poprawnego działania. Ten etap pozwalał zidentyfikować ewentualne problemy konstrukcyjne i funkcjonalne na wczesnym etapie prac.



Rysunek 2: Prototypowa konstrukcja mająca na celu sprawdzenie poprawności działania komponentów.

Kolejnym krokiem było opracowanie specjalnej obudowy, zdolnej pomieścić wszystkie wymagane elementy, przy jednoczesnym zachowaniu odpowiedniej geometrii kół szwedzkich (zwanymi również kołami Mecanum). Aby robot działał zgodnie z założeniami, koła musiały być rozmieszczone w orientacji X Y równych odstępach od siebie, a ich rolki powinny być skierowane do środka. Konieczne jest aby z rzutu górnego posiadał przedłużenie osi kół w kształcie znaku X.

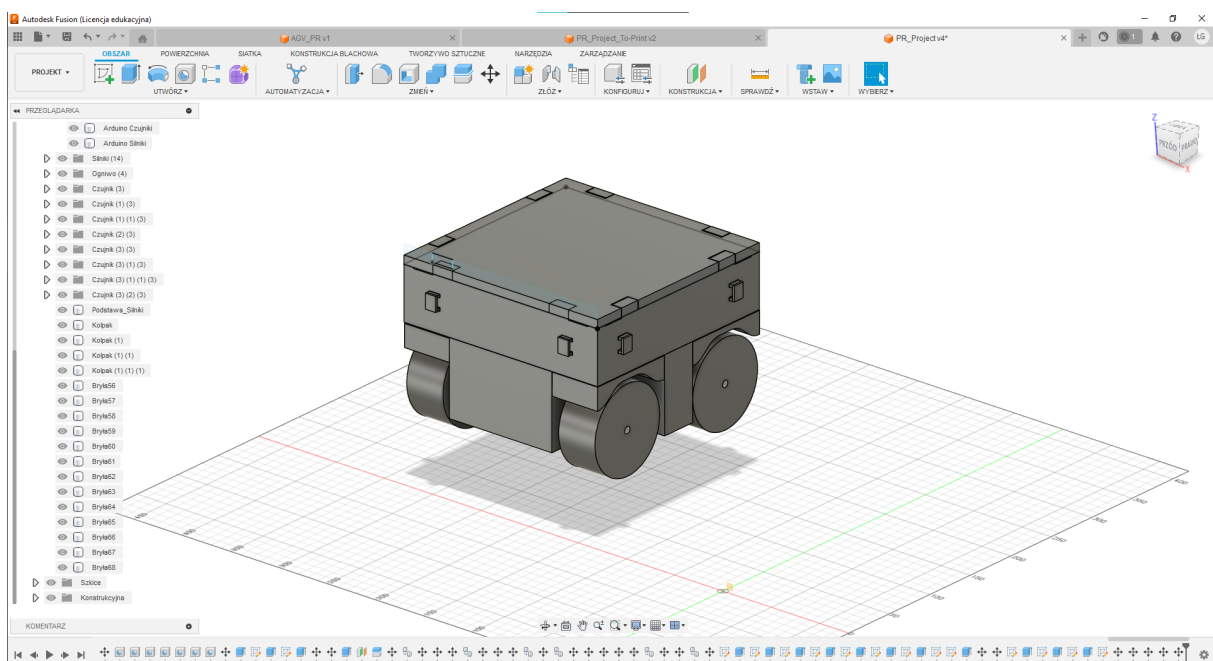


Rysunek 3: Plan rozmieszczenia kół szwedzkich. Kluczowe jest zachowanie kół w równych odstępach od siebie oraz utworzenie znaku X.



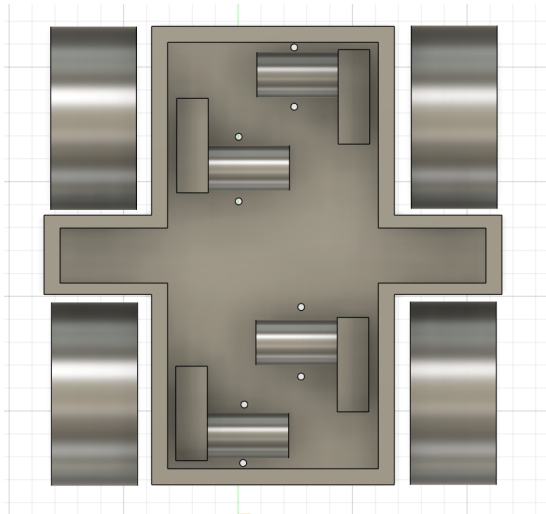
Rysunek 4: Pierwsza wersja projektu zamodelowana w programie Blender 4.1.

Jednakże podczas pierwszego etapu projektu nastąpiły problemy logiczne i konstrukcyjne. Pierwotnie używany darmowy program Blender 4.1 okazał się niewystarczający ze względu na niezgodność formatów eksportu z wymaganiami dostępnej drukarki 3D. W związku z tym, konieczne było przejście na bardziej zaawansowane narzędzie, jakim jest AutoDesk Fusion. To oprogramowanie pozwoliło na dokładniejsze zaprojektowanie modelu, uwzględniając specyfikację drukarki, która posiadała obszar roboczy o wymiarach 25 cm x 25 cm. Z tego powodu, model musiał zostać zaprojektowany od nowa, z uwzględnieniem ograniczeń.

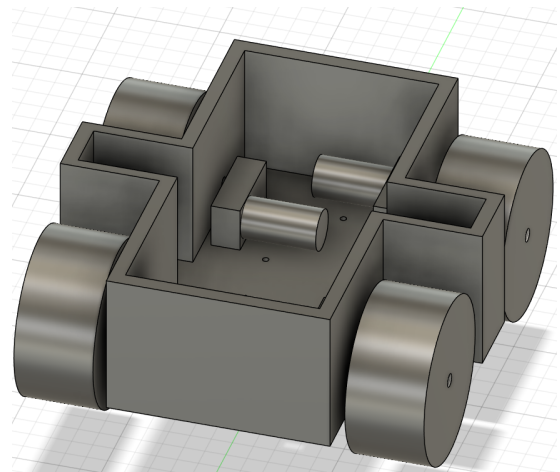


Rysunek 5: Wizualizacja gotowego modelu w programie AutoDesk Fusion.

Gotowy produkt składa się z dwóch pięter, z których każde pełni inną funkcję. Pierwsze piętro to "piętro maszynowe", gdzie umieszczone zostały moduły napędowe, takie jak silniki kątowne z przekładnią oraz ogniwa zasilające w ilości dwóch wraz ze sterownikiem BMS. Wszystkie istotne kable zostały przeprowadzone przez specjalnie przygotowany otwór do drugiego piętra.

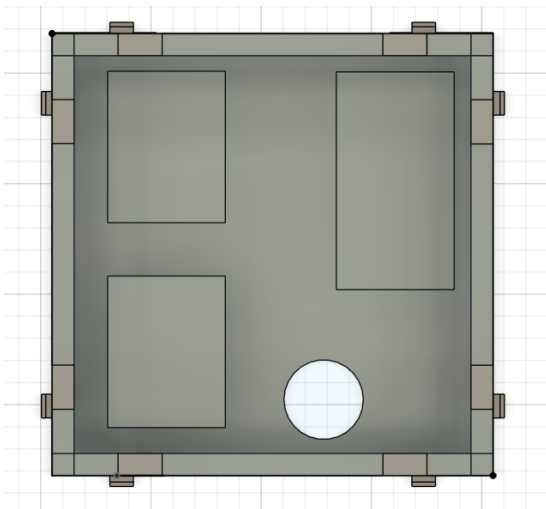


Rysunek 6: Widok rzutu górnego na pierwsze piętro modelu. Znajdują się w nim silniki kątowne z przekładnią oraz miejsce na ogniwa zasilające wraz z BMS.

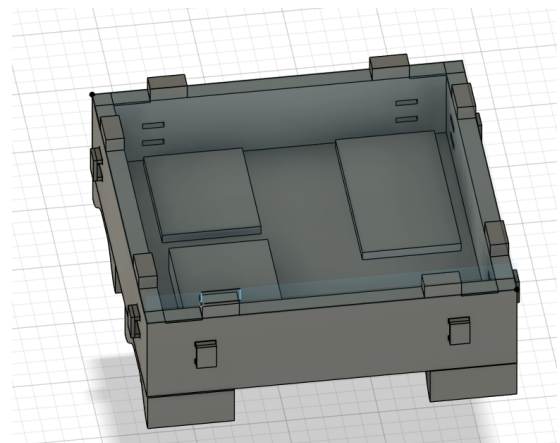


Rysunek 7: Widok rzutu bocznego na pierwsze piętro modelu.

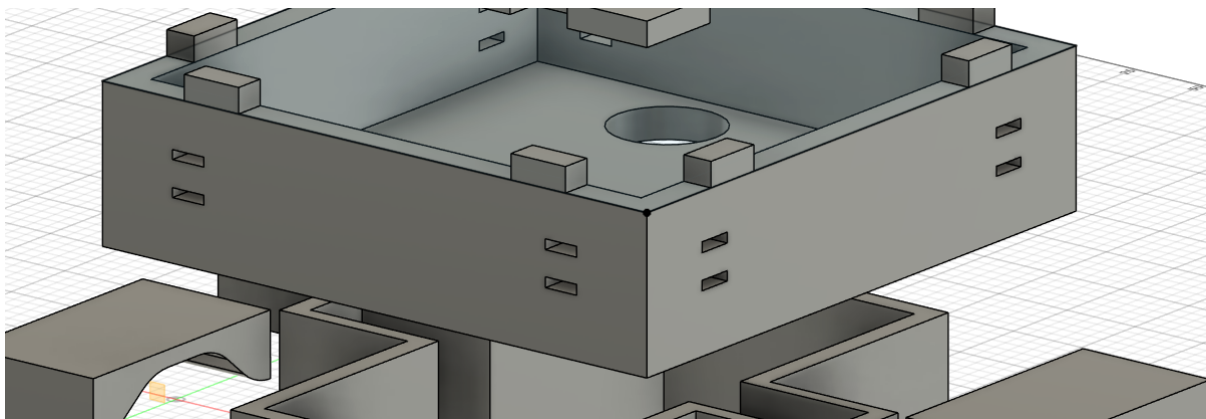
Drugie piętro to "mózg operacyjny" całego projektu. Zawiera ono kluczowe połączenia elektroniczne, w tym dwa mikrokontrolery Arduino UNO 4 i 3 w konfiguracji Master-Slave, oraz osiem czujników laserowych umieszczonych w przygotowanych otworach na ścianach bocznych. Takie rozmieszczenie i organizacja komponentów pozwalają na efektywne zarządzanie funkcjami robota.



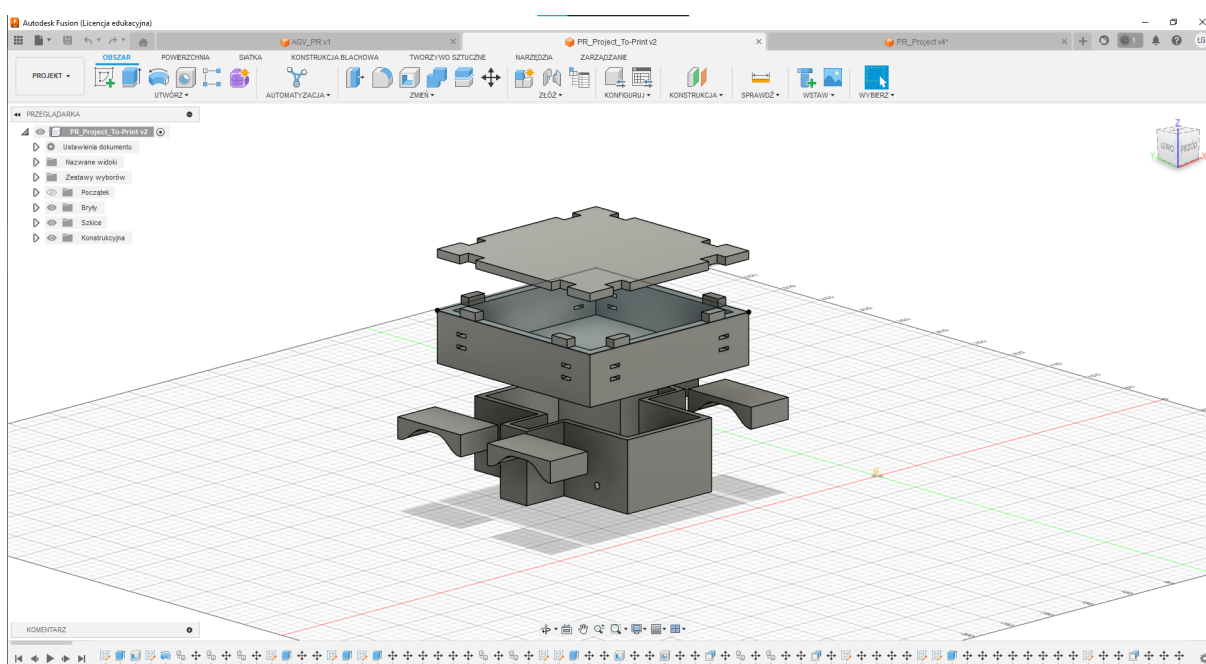
Rysunek 8: Widok rzutu górnego na drugie piętro modelu. Znajdują się w nim dwa mikrokontrolery Arduino UNO oraz płytka stykowa.



Rysunek 9: Widok rzutu bocznego na drugie piętro modelu.

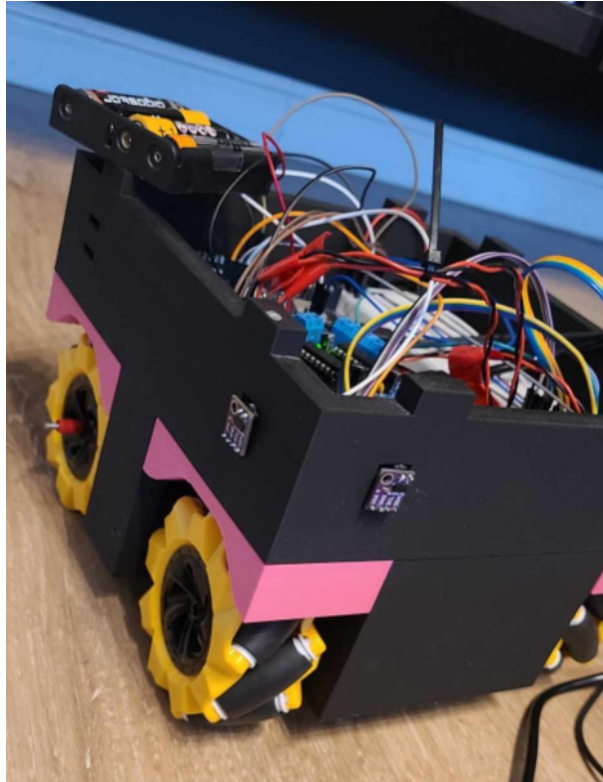


Rysunek 10: Widok rzutu boczego na specjalnie przygotowane miejsca do wsunięcia czujników laserowych.



Rysunek 11: Gotowy model przesłany do wydruku. Został pozbawiony elementów stylistycznych takich jak koła, silniki kątowe, mikrokontrolerów Arduino UNO oraz czujników laserowych.

Gotowy model zawiera się w wymiarach 20 cm x 20 cm x 15 cm oraz wykonuje wszystkie zadane ruchy zdolne do wykonania tylko przy pomocy kół szwedzkich. Pojazd wykonuje jazdę w kierunku w przód i w tył oraz w lewo i w prawo jak i obrót w miejscu.



Rysunek 12: Gotowy model po złożeniu wszystkich elementów w całość.

2.6. Implementacja prostego kodu weryfikującego prawidłowe podłączenie silników

Do połączenia silników z Arduino wykorzystano nakładkę Iduino ST1138. Umożliwia ona sterowanie czterema silnikami prądu stałego, o poborze prądu do 600 mA i napięciu zasilania do 36 V. Nakładka jest zasilana dwoma ogniwami 18650.

Weryfikacja połączenia silników została wykonana przy użyciu skryptu zamieszczonego poniżej. Na początku skryptu dodane są biblioteki Wire i AFMotor. Biblioteka Wire jest wykorzystywana do połączenia obu modułów Arduino w konfiguracji master-slave, natomiast biblioteka AFMotor służy do sterowania silnikami z nakładki Iduino.

W następnych liniach zdefiniowane są: adres urządzenia slave oraz globalna wartość bezpiecznego dystansu, który jest potrzebny, aby w przypadku wystającego gzymsu, który mógłby ominąć czujniki, pojazd nie zahaczył o niego.

Dalsza część kodu zawiera wykorzystanie biblioteki AFMotor i przypisanie konkretnych silników do zmiennych.

W ostatniej części, czyli setup, znajduje się połączenie przez bibliotekę Wire, rozpoczęcie komunikacji z prędkością 9600 bitów na sekundę (`Serial.begin(9600)`) oraz ustawienie prędkości wszystkich silników.

Do weryfikacji działania silników można zakomentować pozostałe ustawienia `setSpeed`, tak aby pozostało tylko jedno i sprawdzić, który silnik jest uruchomiony.

```

#include <Wire.h>
#include <AFMotor.h>

#define SLAVE_ADDR 9          // Address of the slave device
#define THRESHOLD_DISTANCE 20 // borderline for distance to the wall

// -----
// Creation of all necessary global instances
// -----

// Motor drivers
AF_DCMotor motor1(1);
AF_DCMotor motor2(2);
AF_DCMotor motor3(3);
AF_DCMotor motor4(4);

// -----
// Other global variables
// -----

int rd; // Global variable that stores value from I2C BUS

// -----
// -----

void setup() {
    Wire.begin(SLAVE_ADDR);
    Wire.onReceive(receiveEvent);
    Serial.begin(9600);
    motor1.setSpeed(250);
    motor2.setSpeed(250);
    motor3.setSpeed(250);
    motor4.setSpeed(250);
    Serial.println("Set up done.");
}

```

Rysunek 13: Fragment kodu źródłowego przedstawiający weryfikację prawidłowego połączenia silników

2.7. Podłączenie oraz weryfikacja poprawności działania czujników laserowych

We wczesnej fazie planowania zakładano wykorzystanie ultradźwiękowych czujników odległości. Pomysł ten okazał się nietrafiony ze względu na sposób przekazywania danych przez te czujniki. Każdy czujnik posiada dwa wyprowadzenia, co przy użyciu ośmiu czujników wymagałoby wykorzystania co najmniej 16 pinów Arduino.

Następnie analiza skupiła się na wykorzystaniu magistrali I2C, która umożliwia podłączenie dużej

liczby czujników za pomocą niewielkiej liczby pinów. Kluczowym warunkiem jest poprawna komunikacja między czujnikiem a mikrokontrolerem.

Laserowe czujniki odległości VL53L0X okazały się trafnym wyborem ze względu na ich korzystny stosunek jakości do ceny. Pomiary odległości są wystarczająco dokładne, a biorąc pod uwagę charakter obiektu wykrywanego, wysoka precyzja nie jest wymagana.

Czujniki zostały podłączone zgodnie z przeznaczeniem poprzez magistralę I2C. Kluczową rolę w podłączaniu wielu identycznych czujników odegrało użycie dodatkowego pinu XSHUT oraz odpowiedniej sekwencji kodu, aby pomyślnie zmienić adres czujnika na magistrali I2C.

Pierwszym krokiem jest ustawienie odpowiedniego pinu GPIO (ang. General Purpose Input/Output) Arduino, podłączonego do pinu XSHUT czujnika, w trybie OUTPUT. Następnie należy skorzystać z funkcji `setAddress()`, aby ustawić odpowiedni adres dla wybranego czujnika. Kolejnym krokiem jest przełączenie stanu pinu Arduino na INPUT oraz odczekanie 10 milisekund.

Wykonanie powyższej sekwencji gwarantuje poprawną zmianę adresu czujnika na magistrali I2C. Użycie samej funkcji `setAddress()` bez zastosowania pinu XSHUT nie zmienia adresu czujnika.



```
1  #define Sensor2_newAddress 42
2
3  pinMode(XSHUT_pin2, OUTPUT);
4
5  Sensor2.setAddress(Sensor2_newAddress);
6  pinMode(XSHUT_pin2, INPUT);
7  delay(10);
```

Rysunek 14: Fragment kodu źródłowego przedstawiający sekwencję konieczną do zmiany adresu czujnika

2.8. Montaż silników wewnątrz dolnej komory obudowy

2.9. Montaż ogniw wraz z układem BMS oraz podłączenie czujników

2.10. Integracja czujników z silnikami oraz implementacja logiki sterowania

2.10.1. Slave

Mikrokontroler Arduino UNO 3 skonfigurowany do pracy typu Slave odbiera paczkę danych przez zmienną "rd" wysyłane przez Master.

```
21 int rd;
22 int rd_old; // Global variable that stores value from I2C BUS
23
24 // -----
25 // -----
26
27 > void setup() { ...
41 }
42
43 void loop() {
44
45     if(rd == 0){
46         Stop();
47     }
48
49     if(rd == 1){
50         Left();
51     }
52
53     if(rd == 2){
54         Right();
55     }
56
57
58     if(rd == 3){
59         Forward();
60     }
61
62     delay(50);
63 }
```

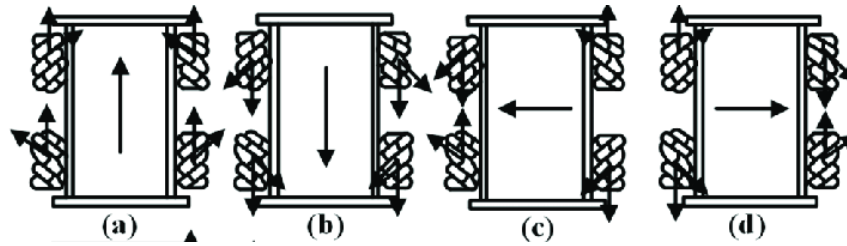
Rysunek 15: Fragment kodu źródłowego przedstawiający odbiór komunikatów przesyłanych przez mikrokontroler Master.

Zgodnie z odbieranymi komunikatami o zmianie kierunku indeksowanymi od 0 do 3, program wywołuje odpowiednie funkcje.

```
88 void Right(){
89
90     motor1.run(BACKWARD); //LT
91     motor2.run(FORWARD); //PT
92     motor3.run(BACKWARD); //PP
93     motor4.run(FORWARD); //LP
94 }
95
96 void Left(){
97
98     motor1.run(FORWARD); //LT
99     motor2.run(BACKWARD); //PT
100     motor3.run(FORWARD); //PP
101     motor4.run(BACKWARD); //LP
102 }
103
104 void Forward(){
105
106     motor1.run(BACKWARD);
107     motor2.run(BACKWARD);
108     motor3.run(BACKWARD);
109     motor4.run(BACKWARD);
110 }
111
112 void Stop(){
113     motor1.run(RELEASE);
114     motor2.run(RELEASE);
115     motor3.run(RELEASE);
116     motor4.run(RELEASE);
117 }
118
119 // TODO:
120 // This function is responsible for calculating the steering
```

Rysunek 16: Fragment kodu źródłowego przedstawiający implementację ruchu pojazdu w odpowiednich kierunkach.

Funkcje określające kierunek jazdy zostały skonstruowane wedle logiki i geometrii działania kół szwedzkich.



Rysunek 17: Wizualizacja zależności kierunku jazdy od obrotu kół szwedzkich.

2.11. Testy poprawności działania algorytmu sterującego

3. Napotkane problemy

3.1. Połączenie aplikacji z Arduino

3.2. Podłączenie laserowych czujników odległości

3.3. Montaż silników oraz kół

4. Podsumowanie