

Line Follower

Zuzanna Ossowska, Piotr Maksymiuk, Wojciech Malecha
Mateusz Kamiński, Maksymilian Ogiela

Sierpień 2025

Streszczenie

Zadaniem robota zbudowanego przez naszą drużynę było jak najszybsze przejechanie toru, podążając za czarną linią. Wszystkie elementy zostały przymocowane do wydrukowanej przy użyciu drukarki 3D ramy.

1 Taktyka

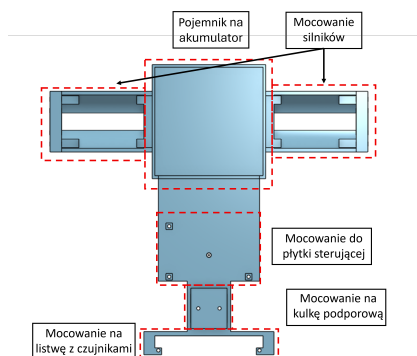
W celu uzyskania jak najlepszego wyniku w próbie czasowej nasza drużyna postawiła przede wszystkim na wysoką skrętność oraz sterowność robota. W tym celu najcieńszy, a zarazem największy element Line Followera, jakim był akumulator, umieszczono z tyłu robota pomiędzy kołami. Ta część również narzuciła stosunkowo duży rozmiar całej ramy oraz zmusiła do wykorzystania mocniejszych silników do napędzania kół. Kolejnym kluczowym elementem była listwa z czujnikami odbiciowymi, która umożliwiła w dokładny sposób przeanalizowanie w czasie rzeczywistym linii, po której miał się poruszać Line Follower.

2 Budowa

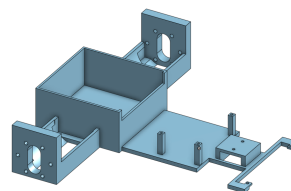
Podstawą, do której przymocowywano wszystkie elementy, jest rama. Została zaprojektowana przy użyciu programu Onshape, a następnie wydrukowana z plastiku PLA na drukarkach 3D. Znajdują się na niej obszary dostosowane pod montaż odpowiednich części: akumulatora, silników do kół, płytki z mikrokontrolerem, listwy z czujnikami oraz kulkę podporową. Jej zaletą jest to, że została wydrukowana jednocześnie, przez co cała konstrukcja była sztywniejsza i nie wymagała dodatkowych elementów łączących.

2.1 Pojemnik na akumulator

Jest to ważny element konstrukcji naszego robota, ponieważ zapobiega poruszaniu się akumulatora w trakcie wykonywania gwałtownych manewrów. Zdecydowaliśmy się na umiejscowienie źródła zasilania wewnątrz czterech pionowych ścian bez dodatkowych elementów mocujących, ponieważ wymiary pojemnika zostały dobrane tak, aby akumulator wchodził do niego z lekkim oporem.



Rysunek 1: Widok podstawy Line Followera od góry z zaznaczonymi poszczególnymi sekcjami.



Rysunek 2: Widok podstawy Line Followera pod kątem.

2.2 Montaż silników

Miejsca do montażu silników musiały być dobrze przygotowane pod ich wymiary, ponieważ zastosowane przez nas motory elektryczne są stosunkowo mocne w porównaniu do rozmiarów robota, co mogłoby skutkować w zniszczeniu konstrukcji ramy. W trakcie projektowania zależało nam na tym, aby środek ciężkości całego robota był jak najniżej, aby lepiej zachowywał się na zakrętach. W tym celu miejsce do przymocowania silników umiejscowiono tak, aby rama line followera znajdowała się jak najbliżej podłogi.

2.3 Mocowanie płytki sterującej

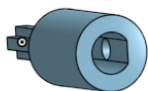
Do montażu płytki z elektroniką sterującą naszym robotem wykorzystaliśmy trzy pionowe nóżki, w których wykonano otwory. Dzięki takiemu rozwiązaniu cała elektronika zmieściła się w jednym miejscu oraz została przykręcona śrubkami do podstawy.

2.4 Mocowanie kulki podporowej oraz listwa z czujnikami odbiciowymi

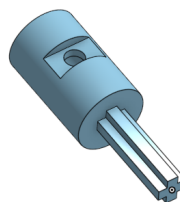
W swojej konstrukcji wykorzystaliśmy kulkę podporową, ponieważ jest to prostsze oraz lżejsze rozwiązanie niż tworzenie skrętnej przedniej osi kół. Do jej montażu w ramie zostało zaprojektowane wyniesienie 2 po to, aby rama robota znajdowała się możliwie jak najbliżej podłogi oraz żeby listwa z czujnikami znajdowała się na optymalnej wysokości do pracy.

2.5 Łączenie kół z silnikami

Jako koła zostały wykorzystane opony i felgi z klocków Lego Technic. Do połączenia ich z silnikami elektrycznymi zaprojektowaliśmy przejściówkę w programie OnShape, która jest widoczna na ilustracjach 3 i 4. Wydrukowano je na drukarkach 3D z PLA, a stosunkowo grube ścianki i wykorzystanie połączenia krzyżowego z Lego Technic sprawiły, że tak mały element był wystarczająco sztywny i wytrzymały do naszej konstrukcji.



Rysunek 3: Widok przejściówki z silnika elektrycznego do krzyżowego łączenia z Lego Technic.



Rysunek 4: Widok przejściówki z silnika elektrycznego do krzyżowego łączenia z Lego Technic.

3 Elektronika

Część elektroniczna Line Followera składała się z poniższych elementów:

- Listwa z czujnikami odbiciowymi QTR-8
- 2 silniki DC 37Dx57L z przekładnią 12V
- 2-kanałowy sterownik silników DC L298N
- Mikrokontroler STM32F4 - blackpill
- Przetwornica DC-DC
- Bateria Li-Ion 3S2P dostarczona przez organizatorów

Bateria była bezpośrednio podłączona do sterowników silników DC oraz do przetwornicy. Dzięki temu rozwiązaniu silniki mogły pracować ze swoją maksymalną mocą, jako że nominalne napięcie baterii i silników wynosiło około 12V. Przetwornica DC-DC regulowała napięcie do 5V w celu zasilenia mikrokontrolera STM32. Listwa z czujnikami także była zasilana z przetwornicy napięciem

5V. Mikrokontroler STM32 miał wbudowaną przetwornicę LDO do 3.3V. Napięcie to było dostarczone do sterownika silników DC-DC jako napięcie referencyjne, jako że STM32 pracuje na logice cyfrowej 3.3V.

Sterownik silników DC oraz listwa z czujnikami odbiciowymi były połączone kablami sygnałowymi do mikrokontrolera STM32. Listwa z czujnikami odbiciowymi działała w następujący sposób:

1. Wyjścia mikrokontrolera były ustawiane w stan wysoki na 1ms w celu naładowania wewnętrznych kondensatorów listwy.
2. Wyjścia STM32 przestawiane były w tryb wejścia o wysokiej impedancji.
3. W zależności od jasności światła odbitego opór foto rezystora na listwie się zmieniał, efektywnie szybciej rozładowywując kondensator.
4. Im szybciej odczytany był stan niski na danym sensorze tym jaśniejsze było światło odbite.

W ten sposób można było precyzyjnie określić położenie czarnej linii względem Line Followera.

4 Sterowanie

Do sterowania robotem zastosowaliśmy listwę czujników odbiciowych, która umożliwia wykrywanie położenia linii względem robota. Odczyty z czujników były na bieżąco przetwarzane i na ich podstawie określaliśmy odchylenie robota od wyznaczonej trasy. Aby zapewnić płynne i stabilne poruszanie się po torze, zaimplementowaliśmy algorytm regulacji PID (proporcjonalno-całkująco-różnicujący). Dzięki temu robot mógł automatycznie korygować swoje ruchy – minimalizować odchylenia, kompensować błędy nagromadzone w czasie oraz reagować na nagłe zmiany kierunku linii.

5 Podział pracy

- **Zuzanna Ossowska** - lutowanie
- **Piotr Maksymiuk** - elektronika
- **Wojciech Malecha** - programowanie
- **Mateusz Kamiński** - sterowanie
- **Maksymilian Ogiela** - mechanika

6 Popełnione błędy

- W trakcie prac zakupiliśmy mniejsze silniki ale nie były one w stanie pracować przy obciążeniu jakim był duży i ciężki akumulator. Po dyskusji zdecydowaliśmy się na zakup większych silników, które zwiększyły masę i rozmiar robota co sprawiło że zmniejszyły się jego możliwości skrętne. Powinniśmy byli kupić mniejszy akumulator, który pozwoliłby na użycie małych silników, co sprawiłoby że robot byłby bardziej skrętny, a zapewne także szybszy.
- Zgubiliśmy zakupioną kulkę podporową. Mieliśmy szczęście znaleźć inny w MakerSpace, ale sprawiło to, że spędziliśmy bardzo dużo czasu tuż przed konkursem na dostosowywaniu (piłowaniu lub odłamywaniu plastiku) obu ram do nowych wymiarów.
- Nie zabezpieczyliśmy wystarczająco dobrze kabli, co sprawiło, że odpiwały się podczas testów lub transportu robota.
- Jedne ze złącz na kable zostały przylutowane w sposób, który sprawiał, że ich wymiana była bardzo czasochłonna, prawie niemożliwa, więc po ułamaniu się jednego z pinów musieliśmy zaklejać ten kabel aby go zabezpieczyć.

7 Podsumowanie i dalsze usprawnienia

Zastosowana przez nas taktyka niestety nie doprowadziła do uzyskania zamierzonych rezultatów. Z tego powodu jest wiele miejsc, w których możemy udoskonalić nasz projekt:

- zastosowanie mniejszych i lżejszych akumulatorów, co pozwoliłoby na wykorzystanie mniejszych silników oraz zmniejszenie rozmiarów całego Line Followera
- poświęcenie więcej czasu na wyregulowanie systemu sterowania
- zaprojektowanie własnej płytki z elektroniką, w celu zmniejszenia jej rozmiarów.