

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA
WYDZIAŁ ELEKTRONIKI

KIERUNEK: Automatyka i Robotyka (AIR)
SPECJALNOŚĆ: Robotyka (ARR)

PROJEKT INŻYNIERSKI

Konstrukcja robota mobilnego kategorii
micromouse

Construction of a micromouse mobile robot

AUTOR:
Przemysław Kochoński

PROWADZĄCY PROJEKT:
dr inż. Janusz Jakubiak

OCENA PROJEKTU:

Spis treści

1	Wstęp	2
1.1	Cel projektu i zadanie robota	2
1.2	Przegląd istniejących konstrukcji	4
2	Założenia konstrukcyjne	5
2.1	Ograniczenia wynikające ze środowiska robota	5
2.2	Rozłożenie masy	6
2.3	Kryteria konstrukcyjne	6
3	Elektronika	7
3.1	Mikrokontroler	7
3.2	Sterownik silników	8
3.3	Czujniki odległości	8
3.4	Żyroskop	8
3.5	Silniki	10
3.6	Enkodery	10
3.7	Zasilanie	10
3.8	Komunikacja	10
4	Konstrukcja	11
4.1	Mechanika	11
4.2	Obudowy czujników i ich rozmieszczenie	11
4.3	Model 3D	11
4.4	Płytki obwodów drukowanych	13
5	Testy i podsumowanie	16
5.1	Testy	16
5.2	Podsumowanie	16
5.3	Dalsze kroki	17
	Bibliografia	17
	Załącznik A	20

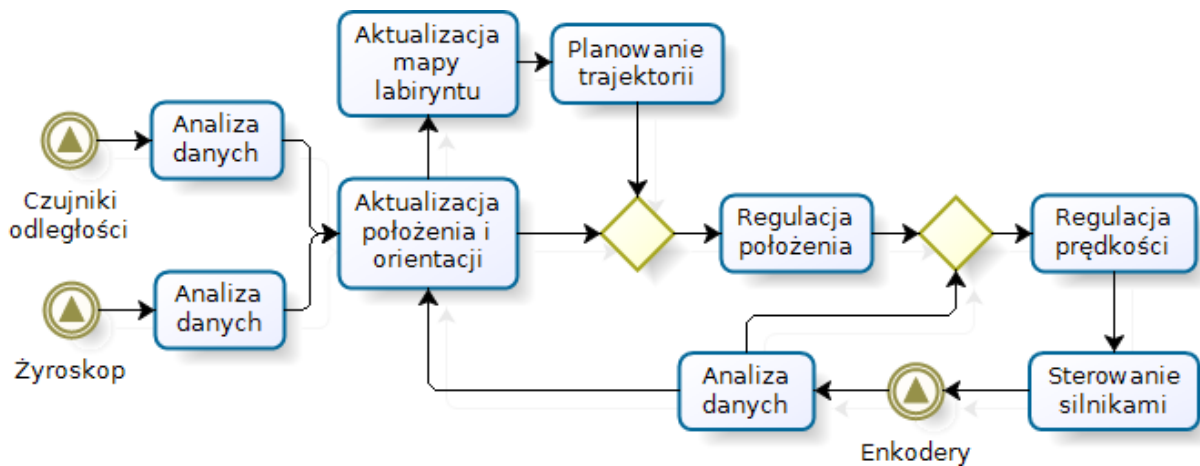
Rozdział 1

Wstęp

1.1 Cel projektu i zadanie robota

Celem projektu jest budowa robota mobilnego gotowego do startu w zawodach typu Micromouse. Zadaniem uczestniczącego w nich robota jest eksploracja labiryntu w celu znalezienia optymalnej drogi z podanej pozycji startowej do jego centrum. Robot musi być całkowicie autonomiczny. Kryterium wyłaniającym zwycięzcę zawodów jest zrealizowanie przez robota zadania w jak najkrótszym czasie. W ramach pracy wykonano:

- dobór elementów mechanicznych i elektronicznych
- projekt elektroniki i mechaniki
- komputerowy model 3D
- płytkę obwodów drukowanych
- konstrukcję mechaniczną
- montaż elementów elektronicznych i mechanicznych
- wstępne oprogramowanie podzespołów
- testy sprawdzające poprawność rozwiązań



Rysunek 1.1: Diagram koncepcyjny działania robota

Na rysunku 1.1 przedstawiono dostępne źródła danych sensorycznych oraz schemat działań podejmowanych na ich podstawie. Konstruowany robot powinien mieć możliwość realizacji następujących zadań:

- **Analiza danych z czujników odległości**

Na podstawie natężenia tego sygnału ustalana będzie obecność i odległość przeszkód od poszczególnych czujników.

- **Analiza danych z żyroskopu**

Prędkość kątowna w osi z będzie w określonych odstępach czasu całkowana tak, aby otrzymać aktualną orientację platformy.

- **Analiza danych z enkoderów**

Pomiędzy zboczami sygnału kwadraturowego z enkoderów zliczany będzie czas, dzięki czemu możliwe będzie ustalenie aktualnej prędkości robota oraz przejechanej przez niego drogi.

- **Aktualizacja położenia i orientacji**

Na podstawie znajomości odczytów żyroskopu, przejechanej drogi oraz odległości od ścian, a także ich poprzednich wartości, ustalone będzie aktualne położenie oraz orientacja robota w labiryncie.

- **Aktualizacja mapy labiryntu**

Przy znajomości położenia i orientacji robota będzie można za pomocą danych z czujników odległości określić położenie ścian. Korzystając z faktu, że ściany labiryntu mogą znajdować się tylko w określonych miejscach, będzie można skorygować pozycję robota.

- **Planowanie trajektorii**

Po zbudowaniu przez robota mapy labiryntu, za pomocą odpowiednich algorytmów będzie można wytyczyć optymalną ścieżkę do celu. Biorąc pod uwagę maksymalne prędkości i przyspieszenia osiągalne przez robota stworzona zostanie trajektoria.

- **Regulacja położenia**

Z wykorzystaniem pobranych danych sensorycznych, za pomocą regulatora PD korygowane będzie aktualne położenie poprzez zestawienie go z ustalonym przez planer.

- **Regulacja prędkości**

Aktualna prędkość robota ustalana będzie z użyciem regulacji PD uwzględniającej dane z enkoderów. Zastosowany zostanie także profil prędkości ograniczający maksymalne przyspieszenia.

- **Sterownie silnikami**

Osiągnięcie zadanej prędkości realizowane będzie poprzez generowanie sygnału o modulowanej szerokości impulsu i podawanie go na mostki H sterujące napędami robota.

1.2 Przegląd istniejących konstrukcji

Podczas projektowania robota wzorowano się na rozwiązaniach obecnych w innych konstrukcjach. Wybrano roboty osiągające sukcesy w międzynarodowych konkursach i będące jednocześnie opisane w internecie.

Na prestiżowych, odbywających się corocznie od 1980 roku w Japonii zawodach *All Japan Micromouse* w roku 2010 pierwsze miejsce zdobył robot *Tetra*[1] autorstwa *Kato-san* a w roku 2011 *Min7.1*[2] autorstwa *Ng Beng Kiat*. Roboty te znajdują się też regularnie w czołówce innych zawodów *Micromouse*. Ich konstrukcje stały się inspiracją dla tego projektu i zostały dogłębnie przeanalizowane.

Z uwagi na dobrą dokumentację i osiąganie wysokich miejsc w zawodach zapoznano się także z robotami *Decimus 4*[5] autorstwa *Peter Harrison*, *Yukikaze*[4] autorstwa *Takashi Nakashima* oraz *Min6*[3] autorstwa znów *Ng Beng Kiat*. Opis każdego z nich można znaleźć na stronach internetowych ich autorów.

Porównanie istotniejszych parametrów wspomnianych robotów przedstawiono w tabelach 1.1 i 1.2. Roboty te używając silników Faulhaber z rodziny 1717T osiągają przyspieszenia ponad $8 \frac{m}{s^2}$ i są zdolne do jazdy po prostej z prędkością ponad $3 \frac{m}{s}$.

Nazwa robota	Liczba kół	Stosunek przekładni	Model silnika	Maksymalna prędkość [$\frac{m}{s}$]	Maksymalne przyspieszenie [$\frac{m}{s^2}$]
Tetra	4	60:16	1717T-003SR	4.5	15
Min7.1	4	40:12	1717T-006SR	3.5	13
Decimus 4	4	35:11	1717T-006SR	3.5	8
Min6	2	32:12	1717T-006SR	3.5	9
Yukikaze	2	60:20	1717T-006SR	b. d.	b. d.

Tabela. 1.1: Porównanie parametrów istniejących konstrukcji – napęd

Nazwa robota	Liczba sensorów	Typ diody nadawczej	Typ i/lub wielkość opon (średnica x szerokość) [mm]	Masa robota [g]
Tetra	4 + żyroskop	SFH4550	Mini-Z (22 x 8.5)	71
Min7.1	4 + żyroskop	SFH4511	Mini-Z (b. d.)	90
Decimus 4	4 + żyroskop	SFH4550	Mini-Z (25 x 8.5)	93
Min6	4 + żyroskop	OPE5594	Mini-Z (b. d.)	94
Yukikaze	6 + żyroskop	SFH480	(26 x 8)	128

Tabela. 1.2: Porównanie parametrów istniejących konstrukcji – pozostałe parametry

Rozdział 2

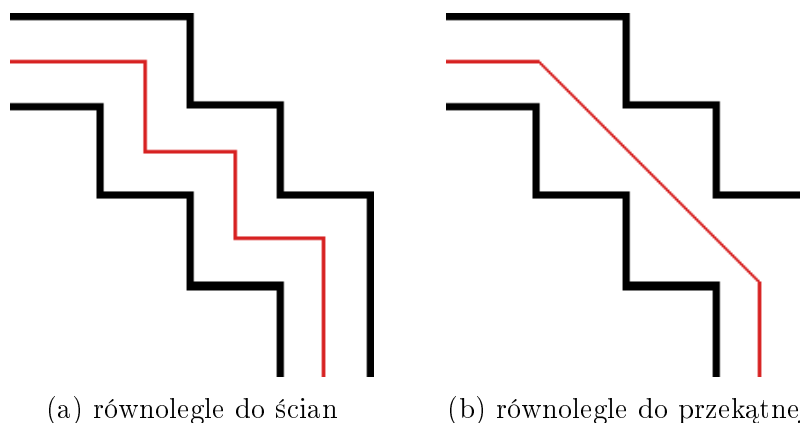
Założenia konstrukcyjne

2.1 Ograniczenia wynikające ze środowiska robota

Aby robot miał swobodę poruszania się po labiryncie jego wymiary powinny być jak najmniejsze. Zwiększy to jego manewrowość, zmniejszając tym samym możliwość uderzenia robota o ścianę wynikającą z błędów sterowania. Celem projektu jest więc zbudowanie robota o możliwie najmniejszych wymiarach. Za dotknięcia ścian labiryntu naliczane są kary czasowe, robot musi więc być zarówno szybki, jak i dokładny.

Zasady kategorii Micromouse opisane są w regulaminie *Robotic Arena*[6]. Standardowy labirynt obejmuje 16 x 16 pól o wymiarach 180 x 180 mm. Ściany labiryntu mają grubość 12 mm, co powoduje że szerokość pojedynczej komórki może wynosić 168 mm. Obrys robota musi się więc mieścić w okręgu o takiej średnicy. Pozycja startowa robota znajduje się w rogu labiryntu, a meta jest jego centrum składające się z 4 pustych komórek.

Przy konfiguracjach labiryntu jak na rysunku 2.1 opłacalna jest jazda równoległe do przekątnej komórek. Aby robot był w stanie się w ten sposób poruszać, jego szerokość powinna być mniejsza niż połowa przekątnej pojedynczego pola pomniejszona o przekątną słupka, czyli $78\sqrt{2} \approx 110$ mm. Budowa robota powinna dodatkowo pozwalać na pokonywanie zakrętów po łuku.



Rysunek 2.1: Możliwe ścieżki przejazdu przez specyficzną konfigurację labiryntu

Aby zapewnić robotowi wysoką manewrowość, w tym możliwość obrotu w miejscu, zdecydowano się na konstrukcję klasy 2.0. W związku z tym na przedniej i tylnej części podwozia konieczne będzie zamontowanie ślizgaczy aby zapewnić robotowi dodatkowe punkty podparcia.

2.2 Rozłożenie masy

Odśrodkowa siła bezwładności powstająca podczas pokonywania zakrętów po łuku może powodować poślizgi boczne robota. Nisko położony środek ciężkości zminimalizuje różnicę docisku pomiędzy wewnętrznym a zewnętrznym kołem podczas zakrętu. Szerokie koła o płaskiej powierzchni zwiększą przyczepność robota.

Masa robota powinna być równomiernie rozłożona, aby rozkład sił nacisku opon był identyczny podczas skrętu w prawo i w lewo. Środek ciężkości powinien znajdować się jak najbliżej osi kół, dzięki temu siła ciężkości robota oddziaływać będzie w największym stopniu na opony. Przyczepność opon jest proporcjonalna do siły nacisku, dlatego zminimalizuje to poślizgi wzdłużne i poprzeczne robota.

2.3 Kryteria konstrukcyjne

Podczas projektowania robota kryteria, które będzie starano się osiągnąć to:

1. Minimalne wymiary, w szczególności:
 - Szerokość mniejsza niż 110 mm
 - Obrys mieszczący się w okręgu o średnicy 168 mm
2. Minimalna masa, ze środkiem ciężkości:
 - Położonym jak najniżej
 - Położonym jak najbliżej osi kół
3. Koła o dużej powierzchni styku z podłożem

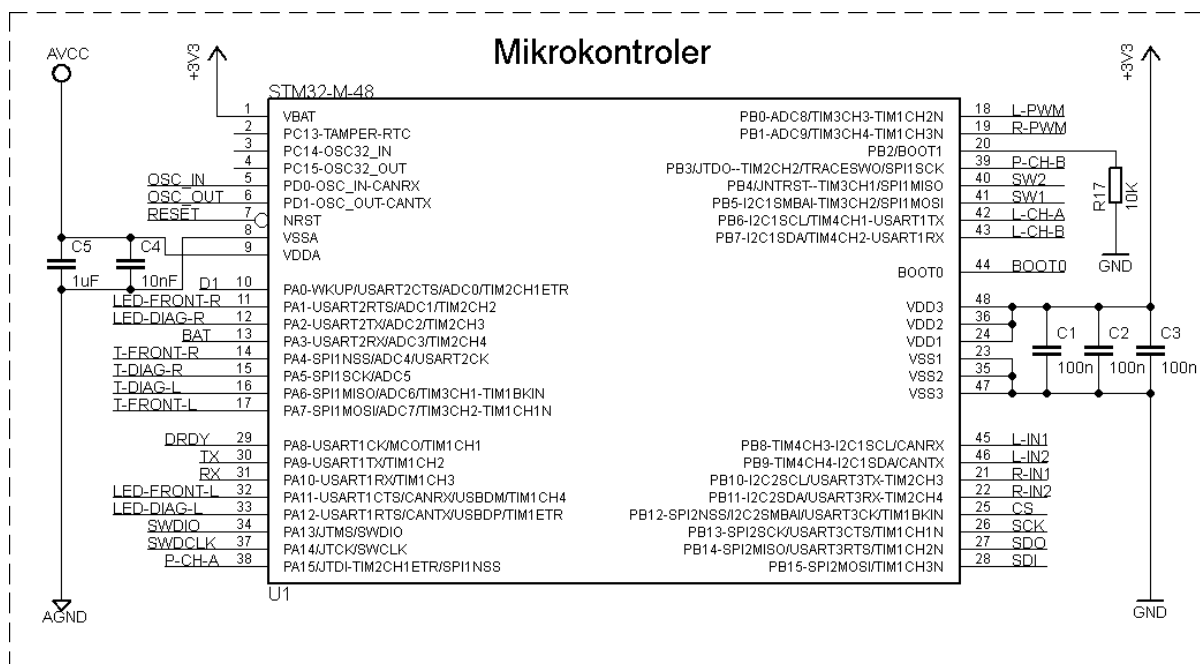
Rozdział 3

Elektronika

Aby zminimalizować wymiary i wagę robota zdecydowano się na użycie elementów elektronicznych w technologii SMD.

3.1 Mikrokontroler

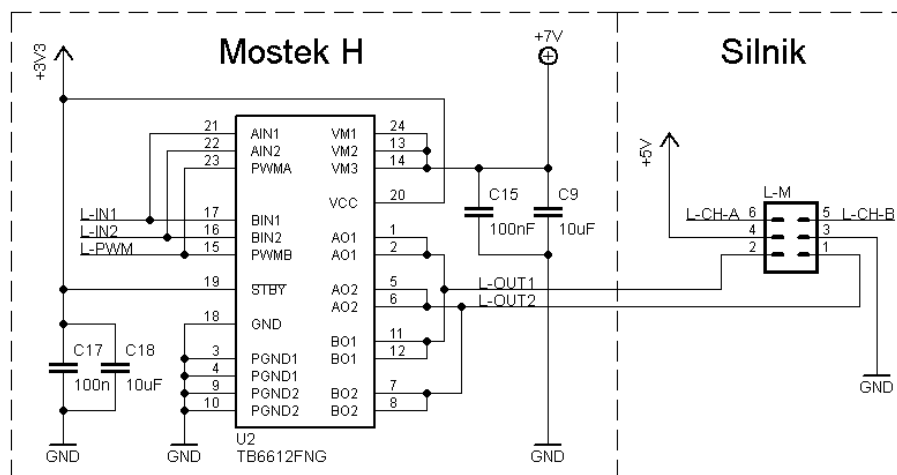
Wybrano mikrokontroler z procesorem *ARM* z serii **STM32F103C8**[7] wyposażonym w rdzeń *Cortex-M3*. Swoją nowoczesnością zapewnia niski pobór prądu oferując wysoką moc obliczeniową (72 MHz, 90 MIPS). Posiada 12-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowego przydatny do zbierania danych sensorycznych oraz sprzętową obsługę sygnałów kwadraturowych ułatwiającą odczyty z enkoderów. Dodatkowym atutem jest duża ilość dostępnych materiałów edukacyjnych.



Rysunek 3.1: Schemat ideowy połączeń mikrokontrolera

3.2 Sterownik silników

Do kontroli silników zostały użyte dwa układy z mostkami H **TB6612FNG**[8] – po jednym na silnik. Zostały one wybrane z uwagi na małe rozmiary oraz maksymalny ciągły prąd wyjściowy 1.2 A. Użyty układ zawiera w swojej obudowie dwa mostki H, ale aby zwiększyć maksymalny prąd oraz ograniczyć przegrzanie się układów w każdym z układów sprzężono oba mostki. Z silników wyprowadzono także wyjścia enkoderów.



Rysunek 3.2: Schemat ideowy połączeń pojedynczego mostka H i silnika

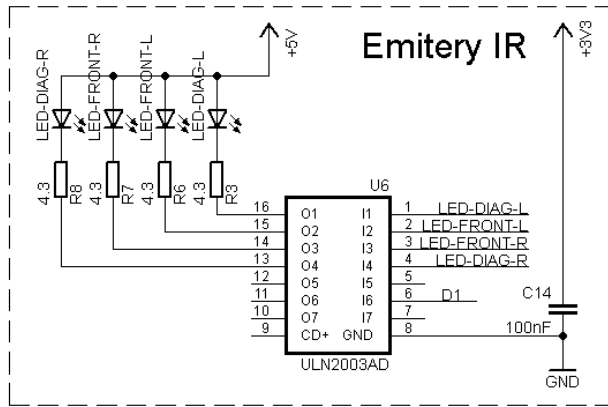
3.3 Czujniki odległości

Pojedynczy czujnik odległości został zbudowany z diody podczerwonej oraz odpowiadającego jej paśmie fototranzystora. Światło emitowane z diody po odbiciu od ściany trafia do fototranzystora w natężeniu odwrotnie proporcjonalnym do kwadratu odległości czujnika od przeszkody, co powoduje częściowe otwarcie fototranzystora. Napięcie z jego emitera podawane jest więc na przetwornik analogowo-cyfrowy w mikrokontrolerze, gdzie następuje odczyt dający informację o odległości od przeszkody.

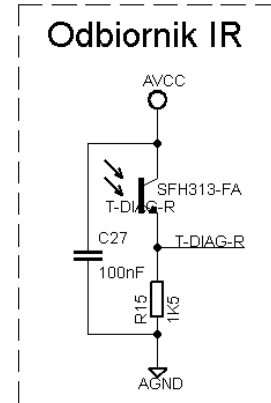
Emiter zbudowano z diody IR **SFH4511**[9] wybranej ze względu na wąski kąt świecenia 8° , wysoki maksymalny prąd chwilowy 1 A, dostępność na polskim rynku oraz używanie jej przez opisane w sekcji 1.2 konstrukcje. Do diody dobrano odpowiadający jej długości fali fototranzystor **HPTB5-14D-B**[10]. Do załączania emiterów czujników odległości z racji występowania dużego prądu chwilowego (650 mA) wykorzystano układ **ULN2003A**[11] posiadający zespół tranzystorów w układzie Darlingtona.

3.4 Żyroskop

W celu dostarczania informacji o aktualnej orientacji robota wyposażono go w żyroskop monitorujący prędkość kątową w osi z . Po scałkowaniu danych z niego napływających uzyskać można informację o aktualnej orientacji robota względem ścian. Informacja ta przydatna będzie przy korygowaniu jego pozycji oraz niwelacji wpływu poślizgów bocznych, które nie zostały by wykryte przez odczytywanie tej wartości różnicowo z enkoderów.



(a) Emitery IR



(b) Pojedynczy odbiornik IR

Rysunek 3.3: Schemat ideowy połączeń czujnika odległości

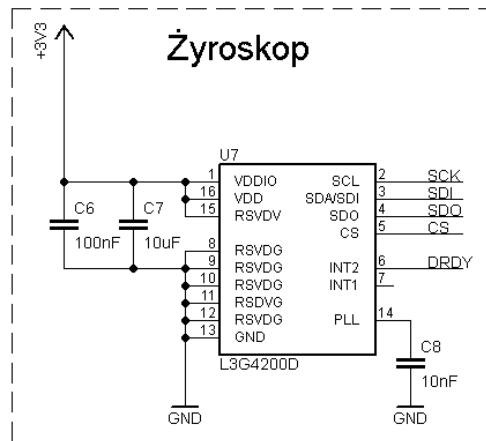
Razem z enkoderami czujniki te pozwolą na określenie pozycji, orientacji, prędkości i przyspieszenia robota.

Robot potrzebuje danych tylko na temat osi z , jednak pod uwagę brano także żyroskopy dwu- i trzy-osiowe. Przy wyborze żyroskopu brano pod uwagę takie kwestie jak maksymalna rozpoznawalna prędkość obrotowa, zmiana czułości w zależności od zmiany temperatury (odchylenie od 25°C), dryf temperaturowy oraz szумы. Parametry te zestawiono w tabeli 3.1. Przedstawione parametry dotyczą osi z .

Model żyroskopu	Maksymalna prędkość obrotowa [$^{\circ}/\text{s}$]	Zmiana czułości od temperatury [$\%/^{\circ}$]	Nieliniowość [$\%$]	Dryf temperaturowy [$^{\circ}/\text{s}/^{\circ}\text{C}$]	Szумы [$^{\circ}/\text{s}/\sqrt{\text{Hz}}$]
Cyfrowe					
L3G4200D	2000	0,03	0,2	0,04	0,03
L3GD20	2000	0,15	0,2	0,04	0,03
ITG-3200	2000	0,03	0,2	0,09	0,03
Analogowe					
LY3200ALH	2000	0,01	1	0,09	0,07
LPY550AL	500	0,04	1	0,08	0,06
LPY5150AL	1500	0,04	1	0,25	0,18
ISZ650	2000	0,15	0,5	0,15	b. d.
ISZ500	2000	0,15	0,5	0,15	b. d.

Tabela. 3.1: Porównanie parametrów dostępnych żyroskopów

Po przeanalizowaniu danych wybrano żyroskop **L3GD20**[12] charakteryzujący się najniższymi wartościami szumów i dryfu temperaturowego, najwyższą prędkością obrotową, a także niską w porównaniu do innych modeli ceną.



Rysunek 3.4: Schemat ideowy połączeń żyroskopu

3.5 Silniki

Do napędzania robota wykorzystane zostały dwa miniaturowe silniki **1717T-006SR**[13] firmy *Faulhaber* z wbudowanym 4-bitowym enkoderem optycznym. Cechują się one niską wagą (18 g) oraz małymi rozmiarami (17 x 23 mm) w stosunku do osiągalnego momentu obrotowego (2 mNm). Opisane w sekcji 1.2 konstrukcje używając tych napędów osiągają wysokie prędkości i przyspieszenia.

3.6 Enkodery

Robot został wyposażony w 4-bitowe enkodery optyczne wbudowane w silnik. Przy średnicy kół 25 mm oraz stosunku przekładni 5:1 pojawienie się stanu wysokiego na wyjściu pojedynczego kanału enkodera oznaczać będzie pokonanie przez robota:

$$\frac{\pi \cdot \text{średnica}}{2^{\text{rozdzielczosc}} \cdot \text{przełożenie}} = \frac{\pi \cdot 25}{2^4 \cdot 5} \approx 0.98 \text{ [mm]}$$

Przy otrzymywaniu z każdego z dwóch kanałów dwóch zboczy (narastającego i opadającego) można zwiększyć rozdzielczość czterokrotnie do około 0.245 mm.

3.7 Zasilanie

Do zasilania robota wykorzystano dwukomorowy akumulator litowo-polimerowy *Turnigy Nano-Tech* o pojemności 180 mAh. Został on wybrany ze względu na średnie napięcie zasilania 7,2 V, niską wagę (16 g), wysoką wydajność prądową (4.5 A) oraz małe wymiary.

3.8 Komunikacja

Robot posiada wyprowadzone złącze *ST-LINK* pozwalające na programowanie i debugowanie robota. Wyprowadzenie komunikacji szeregowej UART i działanie robota na zasilaniu 3,3 V pozwala na bezpośrednie podpięcie modułu Bluetooth w celu zebrania informacji podczas testowych przejazdów robota i zmiany nastaw jego algorytmów.

Rozdział 4

Konstrukcja

4.1 Mechanika

Jako koła zostały wybrane opony z felgami do zdalnie sterowanych samochodów *Mini-Z MR-02*. Mają one dużą szerokość (11 mm), płaską powierzchnię i szeroki wybór stopnia twardości opon – od 20° do 50°. Wybrano opony 20° zapewniające swoją miękkością największą przyczepność. Podobne koła używane są przez większość opisanych w sekcji 1.2 konstrukcji.

Aby zapewnić odpowiednie przełożenie prędkości obrotowej i momentu zbudowano przekładnię mechaniczną o przełożeniu 5:1. Składa się ona z dwóch kół zębatach o module 0.5 wykonanych z acetalu. Koło zębate napędzające, posiadające 8 zębów, umieszczone jest na wale silnika. Koło zębate odbierające o 40 zębach umieszczono w osi kół, przymocowując je do felgi.

Mosiężny wał, na który nałożone są koła napędowe jest nieruchomy względem podstawy robota. Koło napędowe obraca się wokół wału dzięki łożyskom zamontowanym wewnątrz felgi. Wał przymocowany jest do podstawy robota za pomocą aluminiowego kątownika z odpowiednio wywierconymi otworami. Przekrój wału przedstawiony jest na rysunku 4.4.

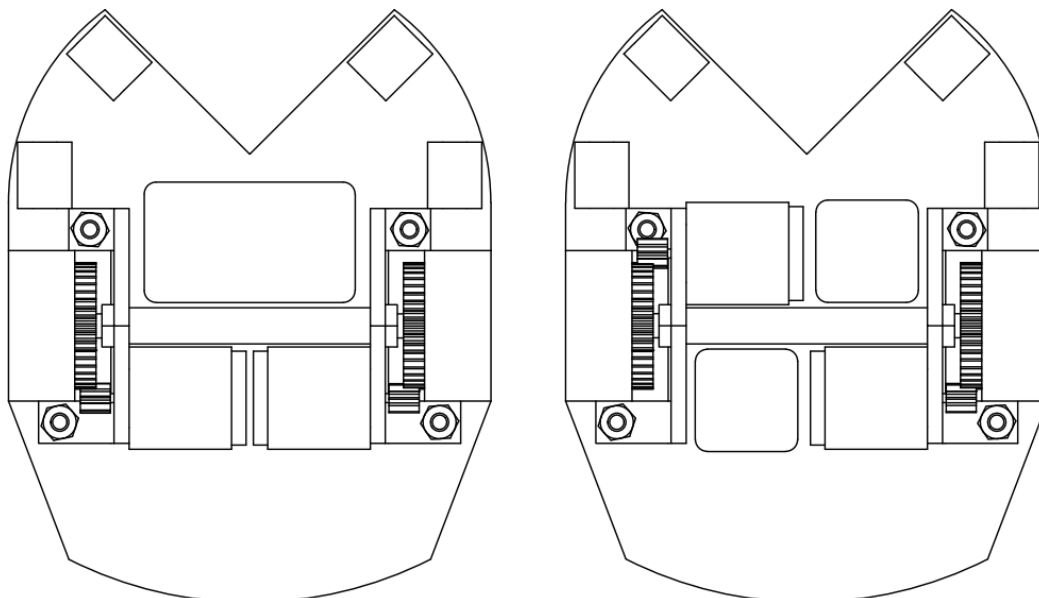
4.2 Obudowy czujników i ich rozmieszczenie

Para dioda-fototranzystor została umieszczona w plastikowej obudowie wykonanej na drukarce 3D. Konstrukcja taka gwarantuje ustawienie diody i fototranzystora pod tym samym kątem oraz chroni czujnik przed uderzeniami. Rozważano użycie czterech lub sześciu par takich czujników, jednak zdecydowano się jedynie na cztery. Rozmieszczono je tak, aby jedna para była zorientowana pod kątem 45° do ściany, a druga równolegle do przodu. Widoczne jest to na rysunku 4.2.

4.3 Model 3D

Przy użyciu oprogramowania *Autodesk Inventor* utworzono trójwymiarowy model robota. Wymiary wybranych wcześniej elementów pobrano z ich not katalogowych dostępnych na stronach producentów. Podczas budowania modelu starano się rozłożyć części w taki sposób, aby szerokość robota była jak najmniejsza.

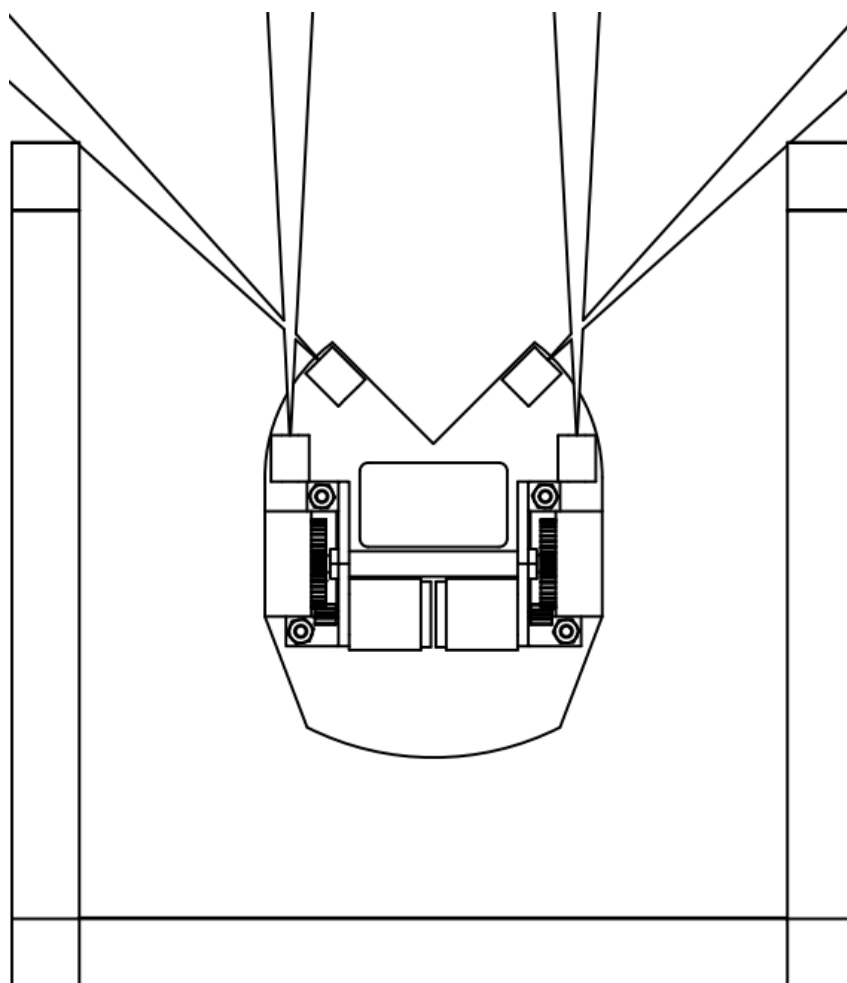
Głównym ograniczeniem był wymiar silników oraz akumulatora. Rozważano dwie konfiguracje ich rozmieszczenia przedstawione na rysunku 4.1. Ze względu na to, że wybrany



(a) Z akumulatorem jednoczęściowym

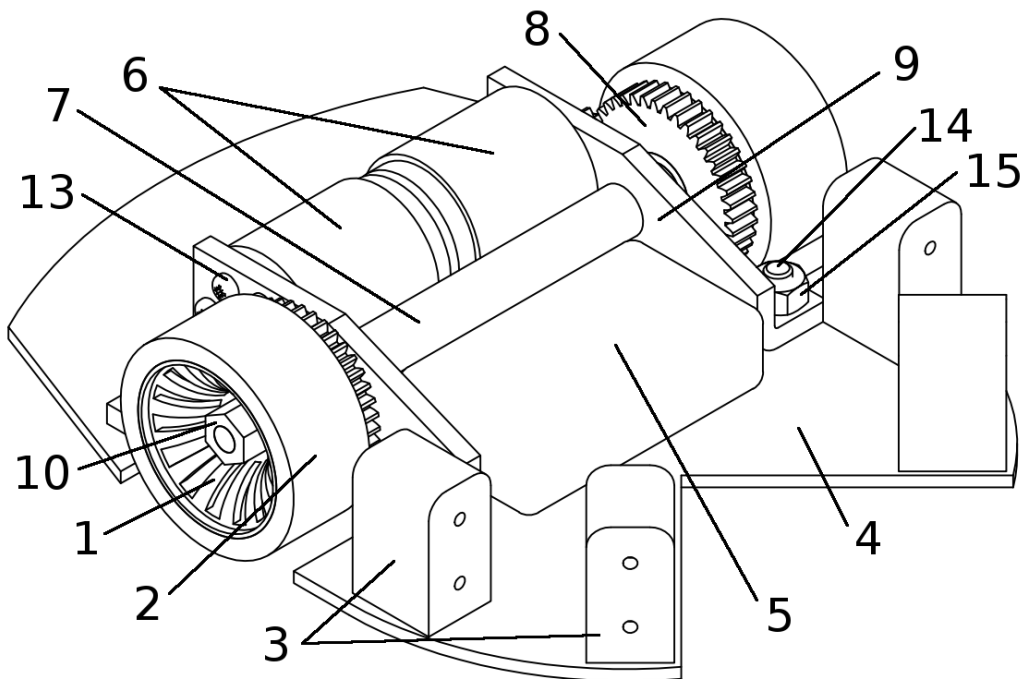
(b) Z akumulatorem dwuczęściowym

Rysunek 4.1: Rozważane konfiguracje rozmieszczenia silników i akumulatora

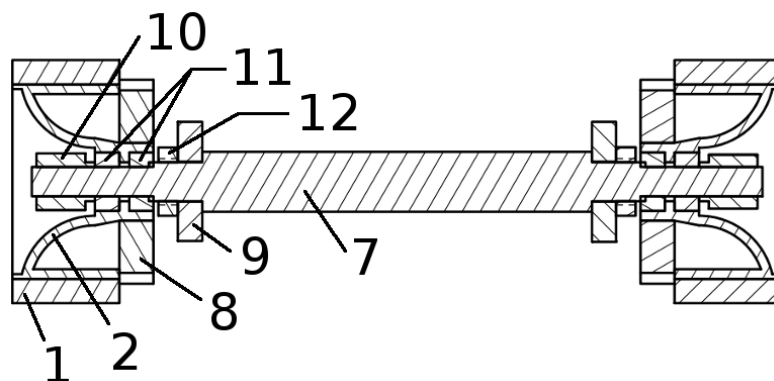


Rysunek 4.2: Sposób padania światła emiterów w komórce labiryntu

akumulator był jednoczęściowy, zdecydowano się na konfigurację 4.1a – silniki umieszczono na jednej osi możliwie blisko siebie i przymocowano do kątownika. Montaż kół zębatych i napędowych zwiększył szerokość modelu robota do 80 mm. Dzięki ustaleniu tej wielkości można było zaprojektować płytę główną robota będącą jednocześnie jego podstawą. Efekt finalny zaprezentowano na rysunku 4.3. Elementy składowe przestawiono w tabeli 4.1.



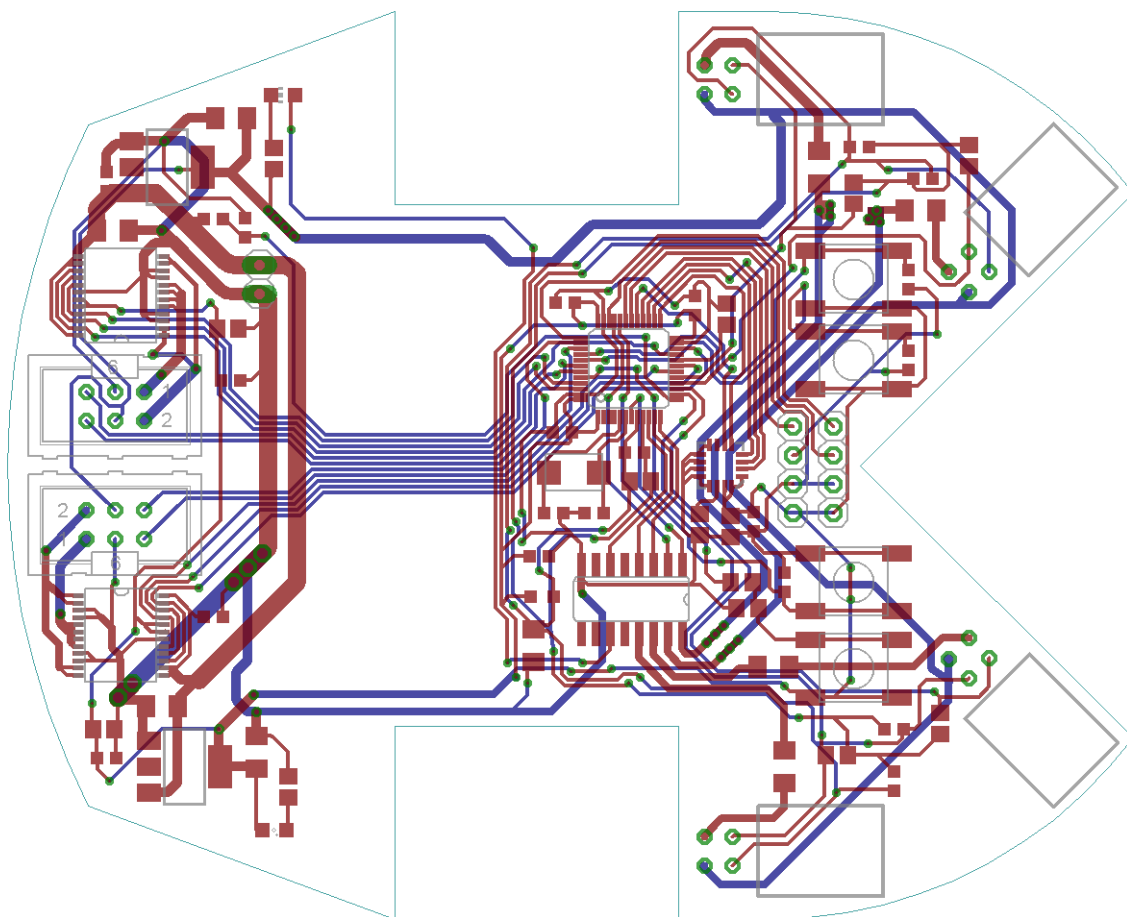
Rysunek 4.3: Rzut modelu robota wygenerowany przez program *Autodesk Inventor*



Rysunek 4.4: Przekrój wału napędowego wygenerowany przez program *Autodesk Inventor*

4.4 Płytki obwodów drukowanych

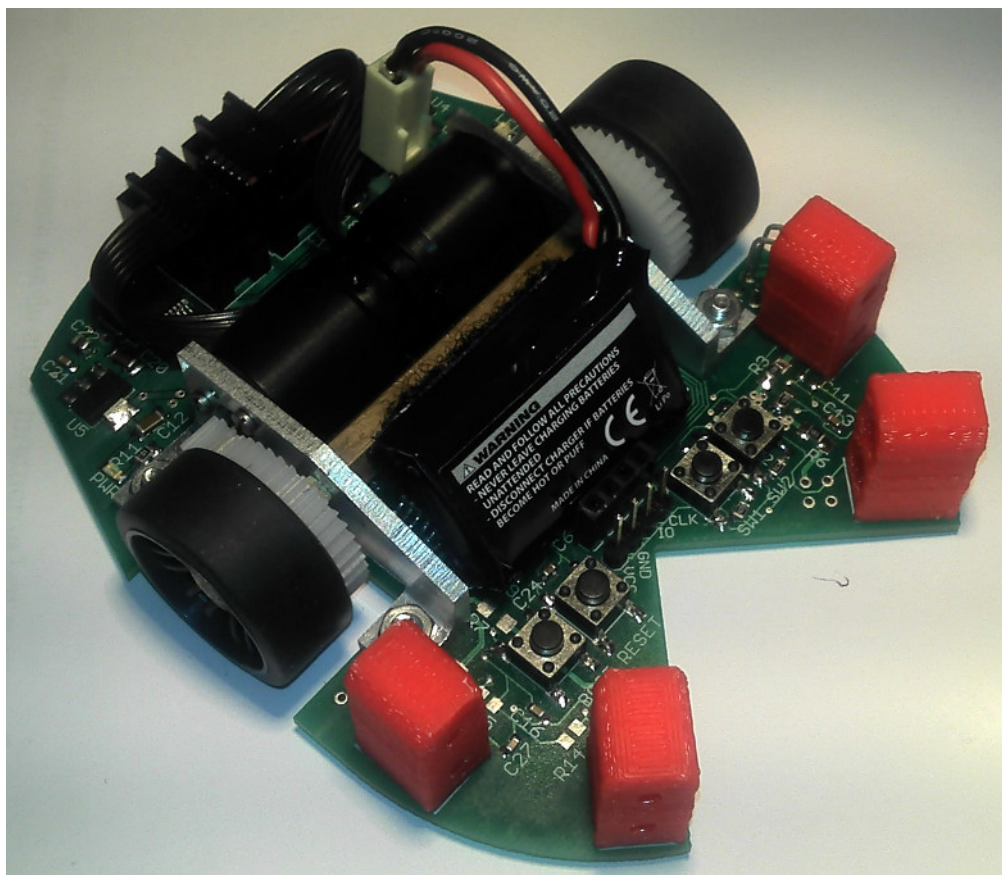
Projekt elektroniki został wykonany w programie *CadSoft EAGLE* i przedstawiony na rysunku 4.5. Płytki zostały wykonane w firmie produkującej prototypy obwodów drukowanych. Takie rozwiązanie pozwoliło na użycie w projekcie ścieżek o najmniejszej grubości 10 mil.



Rysunek 4.5: Projekt płytki obwodów drukowanych

L. p.	Nazwa części	Liczba części
1	Felga	2
2	Opona	2
3	Czujnik odległości	4
4	Płytki obwodów drukowanych	1
5	Akumulator	1
6	Silnik	2
7	Wał	1
8	Koło zębate odbierające	2
9	Kątownik	2
10	Nakrętka M3 z tulejką	2
11	Łożysko 3 x 6 x 2.5 mm	4
12	Nakrętka M4	2
13	Śruba M1.6 1.6 mm	6
14	Śruba M3 8 mm	4
15	Nakrętka M3	4

Tabela. 4.1: Lista elementów robota z rysunków 4.3 i 4.4



Rysunek 4.6: Zdjęcie skonstruowanego robota

Rozdział 5

Testy i podsumowanie

5.1 Testy

Wstępne oprogramowanie robota napisano w języku C przy użyciu środowiska *Atollic TrueSTUDIO* posługując się biblioteką *STM32F10x Standard Peripherals Library*[16] i programatorem z debuggerem *ST-LINK*. Kod źródłowy załączono na płycie CD. Sprawdzono działanie:

- Przetwornika analogowo-cyfrowego. Pobierane wartości analogowe z czujników odległości zmieniają się w zależności od odległości przeszkody.
- Komunikacji SPI z żyroskopem. Zwracana przez niego w osi z prędkość kątowna zmienia się w zależności od prędkości obrotu robota.
- Mostków H sterujących napędami. Wygenerowany sygnał PWM wprawia robota w ruch.
- Enkoderów. Impulsy płynące z ich wyjść kwadraturowych zwiększają swoją częstotliwość przy większej prędkości robota.

Uzyskanie powyższych wyników testów potwierdza poprawność przedstawionego projektu mechaniki oraz elektroniki.

5.2 Podsumowanie

W pracy zaprojektowano, udokumentowano oraz wykonano mechanikę i elektronikę robota. Przetestowano obsługę żyroskopu, enkoderów, silników oraz czujników odległości. Robot potrafi poruszać się oraz zbierać dane sensoryczne z peryferiów. Wyniki zebranych podczas projektu doświadczeń prowadzą do następujących wniosków:

- Niski prześwit robota (odległość pomiędzy podstawą a podłożem) w niektórych wypadkach powoduje zatrzymywanie robota na łączeniach komórek niektórych labiryntów. Aby tego uniknąć w podobnych konstrukcjach prześwit powinien być większy i wynosić przynajmniej 4 mm.
- Masa robota wynosi 130 g. Możliwe byłoby jej zredukowanie poprzez zmianę mosiężnego wału na aluminiowy oraz zmniejszenie grubości kątowników z 2.5 mm do 1.5 mm.

- Po wybraniu rozłożenia silników z dwuczęściowym akumulatorem (opisanym na rysunku 4.1b) okazało się, że środek ciężkości obecnie znajduje z tyłu robota. Przy obecnej konstrukcji myszy środek ciężkości powinien zostać przesunięty do przodu na oś kół.
- Obudowy na czujniki ułatwiły kalibrację odczytów sensorów odległości i pozwoliły uniknąć zniekształceń orientacji czujników przy kolizjach robota ze ścianą.
- Płytką obwodów drukowanych została wykonana precyzyjnie dzięki zleceniu tego profesjonalnej firmie. Uniknięto dzięki temu wielu problemów pojawiających się po samodzielnym wykonaniu takiej płytki. Użycie soldermaski zabezpieczyło obwody drukowane robota.
- Część mechaniczna konstrukcji pozwala na jej całkowite rozebranie. Wprowadza to możliwość wymiany zużytych części, a także modyfikacji robota w przyszłości. Dzięki zaprojektowaniu modelu 3D robota przed jego wykonaniem, części mechaniczne zostały dokładnie wykonane i precyzyjnie do siebie pasują.

5.3 Dalsze kroki

Kolejnymi działaniami będzie kalibracja sensorów oraz analiza zbieranych z nich danych. Uruchomiona zostanie komunikacja Bluetooth w celu bezprzewodowego zbierania i wysyłania informacji. Dobrane zostaną nastawy regulatorów robota oraz powstaną algorytmy przeszukiwania labiryntu i znajdowana optymalnej drogi do celu. Robot weźmie udział w rozgrywkach Micromouse.

Bibliografia

- [1] Dokumentacja robota Tetra na stronie autora <http://wiki.livedoor.jp/roboLABO/d/Tetra> [dostęp: 13 listopada 2012]
- [2] Dokumentacja robota Min7.1 na stronie autora <https://sites.google.com/site/ngbengkiat/Downhome/Topic1/min7> [dostęp: 13 listopada 2012]
- [3] Dokumentacja robota Min6 na stronie autora <https://sites.google.com/site/ngbengkiat/Downhome/Topic1/min6> [dostęp: 13 listopada 2012]
- [4] Dokumentacja robota Yukikaze na stronie autora <http://homepage1.nifty.com/hfd01577/mymouse.html#2008> [dostęp: 13 listopada 2012]
- [5] Testy robota Decimus 4 na stronie autora <http://www.micromouseonline.com/2012/05/12/going-too-fast-without-thinking/> [dostęp: 13 listopada 2012]
- [6] Regulamin zawodów Robotic Arena 2012 kategoria Micromouse http://roboticarena.pwr.wroc.pl/download/regulaminyRA2012_pl/RA2012_REG_MICROMOUSE_pl.pdf [dostęp: 13 listopada 2012]
- [7] Nota katalogowa mikrokontrolera STM32F103C8 http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00161566.pdf [dostęp: 2 grudnia 2012]
- [8] Nota katalogowa mostka TB6612FNG http://www.pololu.com/file/download/TB6612FNG.pdf?file_id=0J86 [dostęp: 2 grudnia 2012]
- [9] Nota katalogowa diody SFH4511 http://catalog.osram-os.com/jsp/download.jsp?rootPath=/media/&name=SFH4511_Pb_free_2009_08_21.pdf&docPath=Graphics/00052501_0.pdf&url=/media//_en/Graphics/00052501_0.pdf [dostęp: 2 grudnia 2012]
- [10] Nota katalogowa fototranzystora HPTB5-14D-B [http://files.hueyjann.tw/IR%20PRODUCT/5\)%20Phototransistor/HPTB5-14D-B.pdf](http://files.hueyjann.tw/IR%20PRODUCT/5)%20Phototransistor/HPTB5-14D-B.pdf) [dostęp: 2 grudnia 2012]
- [11] Nota katalogowa układu ULN2003A <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/uln2003a.pdf> [dostęp: 2 grudnia 2012]
- [12] Nota katalogowa żyroskopu L3GD20 http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/DM00036465.pdf [dostęp: 2 grudnia 2012]
- [13] Nota katalogowa silnika 1717T-006SR http://www.faulhaber.com/uploadpk/EN_1717_SR_DFF.pdf [dostęp: 2 grudnia 2012]

-
- [14] Elektornika Praktyczna 2/2009, Mikrokontrolery STM32 – Użycie interfejsu I2C, USART, SPI <http://ep.com.pl/files/2193.pdf> [dostęp: 2 grudnia 2012]
- [15] Elektornika Praktyczna 1/2009, Mikrokontrolery STM32 – Wykorzystanie ADC i DMA <http://ep.com.pl/files/2136.pdf> [dostęp: 2 grudnia 2012]
- [16] Biblioteka STM32F10x Standard Peripherals Library wraz z kodem źródłowym przykładów oprogramowania http://www.st.com/internet/com/SOFTWARE_RESOURCES/SW_COMPONENT/FIRMWARE/stm32f10x_stdperiph_lib.zip [dostęp: 3 grudnia 2012]

Załącznik A

Do pracy załączono płytę CD zawierającą w poszczególnych katalogach:

- */praca.pdf* – wersję cyfrową pracy
- */electronics/eagle* – projekt elektroniki
- */electronics/doc* – noty katalogowe elementów elektronicznych
- */mechanics/inventor* – projekt mechaniki
- */mechanics/docs* – noty katalogowe elementów mechanicznych
- */software/src* – kod źródłowy wstępnego oprogramowania