



Poniższa instrukcja stanowi część 2 kursu **PiBotta: zbudujmy go razem!**

Autorzy: uczymy.edu.pl

Wersja: 1.3

PiBotta: koncepcja

Budowę robota zaczniemy od określenia jakie zadania ma on realizować. Przyjrzymy się jego podstawowym komponentom i zależnościom między nimi. Tę instrukcję możecie potraktować jako uniwersalny przewodnik, który pomoże w tym i podobnych projektach.



Ten dokument opublikowano na zasadach licencji Creative Commons 3.0 Polska
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/pl/legalcode>

BY Uznanie autorstwa	Możesz kopiować i rozpowszechniać ten dokument w dowolnym medium i formacie, możesz go zmieniać i tworzyć na jego podstawie własne dokument (tzw. utwory pochodne) pod warunkiem umieszczenia informacji o jego twórcy – wystarczy link do nas: uczymy.edu.pl
NC Użycie niekomercyjne	Ten dokument i jego pochodne nie mogą być używane komercyjnie.
SA Na takich samych zasadach	Ten dokument i jego pochodne mogą być opublikowane jedynie na takiej samej licencji BY-NC-SA

Wprowadzenie

Zanim zabierzemy się do właściwej budowy, warto dokładnie przemyśleć stojące przed nami wyzwanie. Pomoże to w ocenie problemów i dobieraniu odpowiednich rozwiązań przybliżających do ukończenia projektu.



3 prawa robotów według Isaaka Asimov'a:

1. Robot nie może skrzywdzić człowieka, ani przez zaniechanie działania dopuścić, aby człowiek doznał krzywdy.
2. Robot musi być posłuszny rozkazom człowieka, chyba że stoją one w sprzeczności z Pierwszym Prawem.
3. Robot musi chronić sam siebie, jeśli tylko nie stoi to w sprzeczności z Pierwszym lub Drugim Prawem.

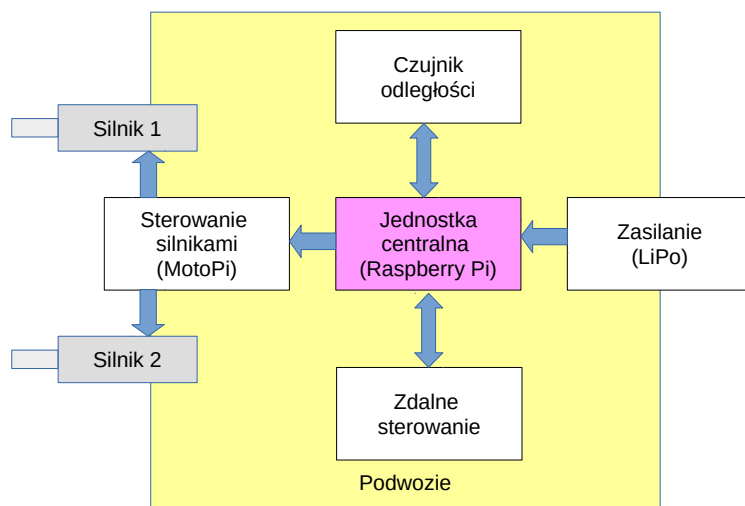
Zadanie

Celem tego kursu jest zbudowanie robota mobilnego.

Skoncentrujmy się najpierw na minimalnej konfiguracji robota. Takie podejście pozwoli w miarę szybko stworzyć podstawową platformę, którą później będziecie dowolnie rozszerzać o kolejne funkcje. Nasz robot będzie mógł się samodzielnie przemieszczać. Zainstalujemy czujnik odległości, który pozwoli mu na unikanie przeszkód. Własne zasilanie uniezależni go od ładowarek i gniazdek sieciowych. Będzie również zdalnie sterowany.

Wszystkie elementy razem

Poniższa grafika pokazuje najważniejsze elementy, które wejdą w skład podstawowej konfiguracji robota:



Najważniejsze elementy robota

Jednostka centralna

Sercem każdego robota jest sterująca nim jednostka centralna – popularnie mówiąc „komputer”. W hobbystycznych realizacjach najczęściej używane są:

- Minikomputery, takie jak Raspberry Pi, BeagleBone Black, BananaPi;
- Mikrokontrolery, jak seria Arduino.

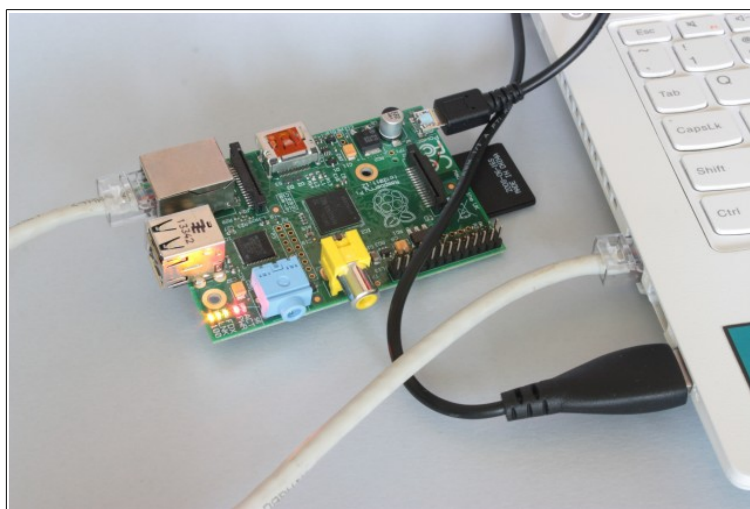


Dokładniej: **Arduino nie jest mikrokontrolerem**. Mikrokontrolerem jest napędzający go układ firmy Atmel z serii AVR ATmega. Arduino to płytki i zestaw dodatkowych układów (zasilających, sprzęgających) ułatwiających korzystanie z niego. Arduino nazywa się „mikrokontrolerem”, żeby podkreślić różnicę w stosunku do minikomputerów takich jak Raspberry Pi.



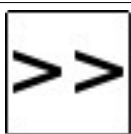
W tym opracowaniu będziemy używać słowa „minikomputer” na określenie jednostki centralnej sterującej robotem (w domyśle: minikomputer Raspberry Pi).

W naszej realizacji użyjemy **Raspberry Pi** (w skrócie: RPi).



Raspberry Pi model B podłączony do laptopa

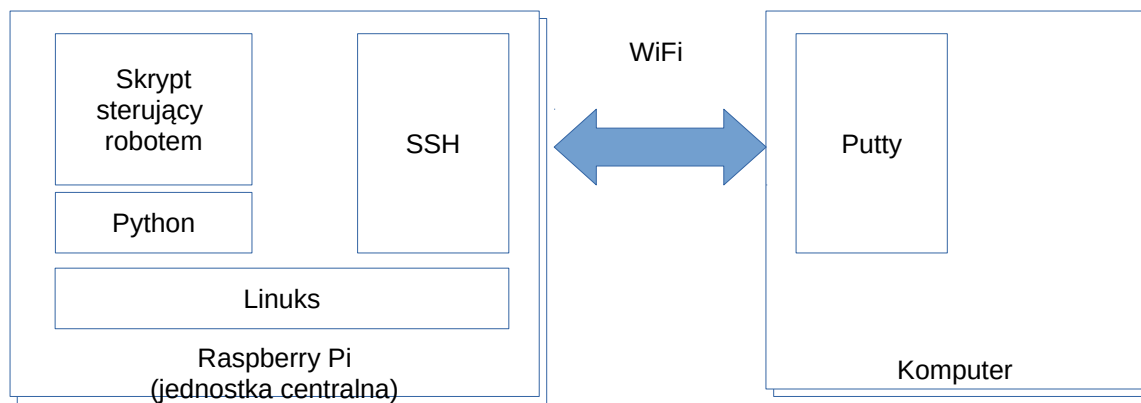
- Ten minikomputer to bardzo elastyczna platforma. Może służyć zarówno jako podstawa do zbudowania robota, jak i domowego centrum multimedialnego. Wybierajcie między wersjami B czy B+ - każda z nich jest wystarczająco wydajna do naszych zastosowań. My polecamy model **B+**. Jest obecnie najłatwiej dostępny, tańszy od Pi 2 i ma większe możliwości niż jego poprzednicy.



Więcej na temat Raspberry Pi dowiedziecie się z innego naszego kursu: **Raspberry Pi: pierwsze kroki**. Szukajcie tego kursu na naszym portalu edukacyjnym: uczmy.edu.pl/moodle.

Zdalne sterowanie – komunikacja z robotem

Nie pozwolimy, żeby robot wyrwał się spod naszej kontroli. Musimy wyposażyć go w możliwość bezprzewodowej komunikacji z domowym komputerem. Korzystając z połączenia WiFi użyjemy klienta SSH (np. Putty), który pozwoli na zdalne logowanie się do Raspberry. Uruchamiając odpowiedni skrypt będziemy sterować naszym robotem.

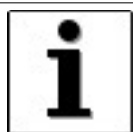


Idea sterowanie robotem



Wszystkie zagadnienia związane ze sterowaniem robotem i Linuksem będziemy jeszcze wielokrotnie analizować i tłumaczyć. Nie przejmujcie się jeżeli niektóre terminy nie są jeszcze jasne – będzie czas, żeby je sobie przyswoić.

Dzięki Linuksowi napędzającemu Raspberry Pi, połączenie WiFi jest najłatwiejszym, najbardziej uniwersalnym i najtańszym rozwiązaniem komunikacji bezprzewodowej. Sama Raspberry Pi nie jest w taki moduł wyposażona. Na rynku dostępnych jest jednak wiele modeli małych odbiorników wpinanych do gniazda USB. Ich ceny zaczynają się od kilkunastu złotych i większość z nich nie sprawi żadnych problemów podczas instalacji i późniejszego użytkowania. Polecamy urządzenia typu „mikro”, które jak najmniej wystają poza gniazdo USB Raspberry.

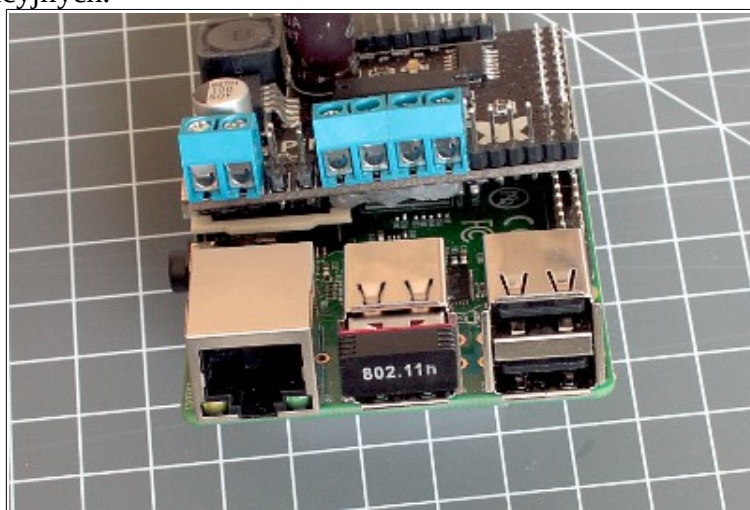


Pytanie: czy ten odbiornik WiFi będzie działał z Raspberry?

Odpowiedź: Szukajcie urządzeń kompatybilnych z Linuksem. Gdy nie jesteście pewni – spytajcie sprzedawcę. Powinien Wam udzielić wyczerpującej odpowiedzi. Zwróćcie też uwagę na stronę: http://elinux.org/RPi_VerifiedPeripherals

Na tym portalu użytkownicy zbierają dane o różnych urządzeniach zgodnych z Raspberry. Jeżeli Waszego urządzenia nie ma na liście – wcale nie oznacza to, że nie będzie poprawnie działać! Kilka porad na temat uruchamiania różnych kart WiFi znajdziecie na naszym blogu: www.uczymy.edu.pl/wp.

Instalacja odbiornika WiFi ogranicza się do wpięcia go w gniazdo USB i wykonania kilku czynności konfiguracyjnych.



Raspberry Pi z wpiętym modulem WiFi

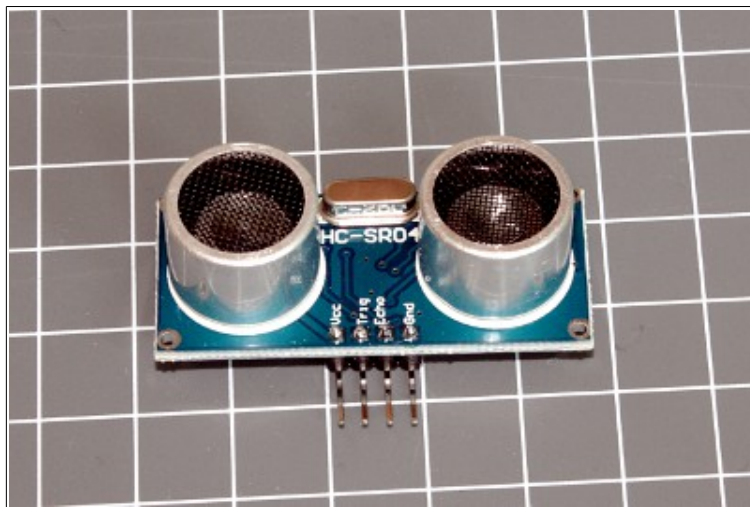
Czujniki

Podstawą robotów II generacji są czujniki. Pozwalają one robotowi orientować się w otoczeniu, na przykład wykrywać przeszkody.



Roboty I generacji: programowane do wykonania określonych zadań, ale niezdolne do zbierania informacji z otoczenia (tzw. otwarty układ sterowania);
Roboty II generacji: potrafią obserwować otoczenie i siebie za pomocą zestawu czujników (tzw. sprzężenie zwrotne, zamknięty system sterowania);
Roboty III generacji: rozwinięcie II generacji o możliwości zaawansowanego rozpoznawania obiektów z otoczenia za pomocą analizy obrazu.

Naszego robota wyposażymy w jeden czujnik: ultradźwiękowy miernik odległości typu HC-SR04. Jest on tani, bardzo prosty w budowie i obsłudze. Oczywiście później będziecie mogli rozszerzyć swojego robota o inne czujniki, na przykład reagujące na ruch, światło a nawet kamerę.



Czujnik HC-SR04



Zasada działania HC-SR04 została bardzo praktycznie opisana w 27 numerze darmowego The Mag Pi: <http://www.themagpi.com>

Rozważmy kilka ważnych aspektów, które należy rozpatrzyć przy dodawaniu czujników do robotów:

- Napięcie zasilania;
- Prąd zasilania;
- Napięcie logiki.

Każdy czujnik jest elementem elektronicznym, który wymaga zasilania. W układach sterowania najpopularniejsze są dwa napięcia: 3,3V i 5V. Raspberry Pi potrafi dostarczyć oba te poziomy.



Niektóre modele Arduino (np. ProMini) posiadają tylko wyjścia 5V. Chcąc użyć czujnik zasilany 3,3V, konieczne jest zastosowanie dodatkowych układów obniżających napięcie do 3,3V. Urządzenie (układ) obniżający napięcie zasilania nazywa się przetwornicą obniżającą (ang. *step-down*).

Oprócz napięcia, każdy czujnik pobiera prąd. Na szczęście większość z nich wymaga naprawdę

minimalnych prądów (np. 10mA) i może być zasilane bezpośrednio z minikomputerów. Ostatnim z parametrów jest napięcie logiki. Jak wiecie, komputery (jako maszyny cyfrowe) posługują się „0” i „1”. Każdemu z tych stanów przyporządkowane są odpowiednie zakresy napięć. Dla przykładu: „0” dla RPi to napięcie 0-0.8V; wszystko powyżej 1.3V do 3,3V to „1”. Niektóre układy posługują się logiką, gdzie „1” oznacza napięcie np. 3.5 – 5V (np. Arduino). Oznacza to, że za cyfrową „1” mogą się kryć bardzo różne napięcia!



W przypadku standardu RS232, „0” oznacza napięcie nawet 25V!

Podanie napięcia wyższego niż 3,3V na pin Raspberry może doprowadzić do jej nieodwracalnego zniszczenia!

Taka sytuacja może wystąpić nie tylko w przypadku np. zwarcia. Nasz miernik odległości jest zasilany napięciem 5V. Zapytany – **również odpowie sygnałem 5V**. Podłączenie wyjścia takiego czujnika bezpośrednio do Raspberry Pi **spowoduje jej uszkodzenie**. Żeby tego uniknąć, łączymy nasz czujnik za pomocą układu nazywanego **konwerterem logiki**. Obniży on poziom sygnału z czujnika do zakresu akceptowalnego przez Raspberry Pi.

Zasilanie

Nasz robot ma operować bez żadnych dołączonych kabli. Musimy go więc wyposażyć w niezależne zasilanie. Możliwości rozwiązania tego problemu ograniczają się właściwie do wyboru między akumulatorkami NiMH (popularny rozmiar AA lub AAA) lub pakietem LiPo.



Wybór zasilania zależy od napięcia i prądu, jakie wymagają komponenty Waszego robota. Silniki potrzebują zazwyczaj 3-12V, minikomputer Raspberry: 5V, czujniki 3,3V lub 5V. Każdy element robota będzie wymagał też odpowiedniego prądu. Sama Raspberry Pi potrzebuje około 350 mA. A silniki nawet 2A! Wybrane źródło zasilania musi dostarczyć wymagane napięcie i prąd albo konieczne będą dodatkowe układy dopasowujące.

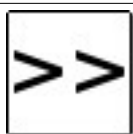
Ze względu na znaczny ciężar akumulatorków NiMH (potrzeba by ich co najmniej 6), ograniczone miejsce oraz konieczność dostarczenia znacznych prądów, użyjemy pakietów litowo - polimerowych (LiPo).



Pytanie: Dlaczego potrzebujemy aż 6 baterii/akumulatorków AA NiMH?
Odpowiedź: Nasza Raspberry Pi wymaga napięcia dokładnie 5V. Ponieważ nie ma takich ogni (AA: 1,5V, AAA:1,2V, akumulatorki AA:1,2V/baterię; LiPo 3,6 V/ogniwo – zmienne w czasie), będziemy musieli użyć kilku baterii i przetwornicy dopasowującej napięcie. Przetwornica obniżająca, którą użyjemy do naszego robota, wymaga napięcia wejściowego wyższego niż napięcie wyjściowe – o ok. 1V. Stąd minimalne napięcie na wejściu przetwornicy to 6V. Potrzebujemy więc co najmniej 5 szeregowo połączonych baterii AA – a ponieważ nie ma takich pojemników – potrzebujemy 6 baterii. 4 baterie nie wystarczą ($4 \times 1,5 = 6V$), bo ich napięcie bardzo szybko spadnie poniżej 6V i przetwornica przestanie działać. Od strony prądu: 1 dobra bateria alkaliczna AA posiada pojemność około 2000mAh; teoretycznie może więc dostarczyć prądu 2A przez godzinę (w praktyce nie jest to takie liniowe). Przy łączeniu szeregowym sumaryczna pojemność jest równa pojemności najmniejszego ogniwa (sumuje się tylko przy połączeniu równoległym). 9V bateria ma pojemność średnio 150mAh.

Wystarczające parametry zapewni pakiet typu 2S (nominalnie 7,4V) o pojemności 1300 mAh. W tym projekcie użyjemy produktu firmy Redox, ale każdy inny o zbliżonych parametrach też będzie odpowiedni. Możecie oczywiście użyć pojemniejszej baterii o większym napięciu (np. 3S), ale wtedy wzrosną koszty projektu i pojawią się problemy z upakowaniem wszystkich elementów. Poniżej zestawiliśmy kilka pakietów, które również możecie użyć.

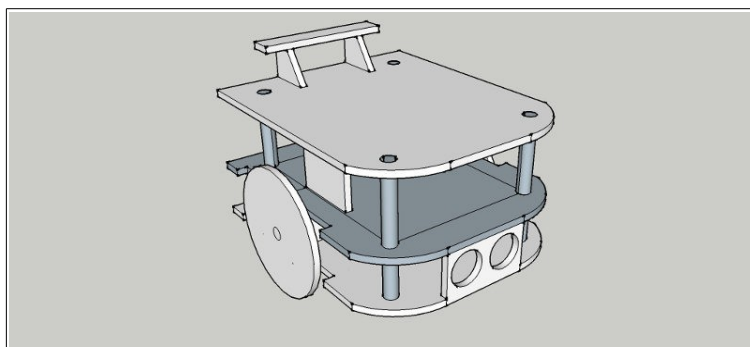
Bateria	Napięcie nominalne - maksymalne [V]	Pojemność	Rozmiary/ waga	Orientacyjna cena
Redox 2S 1300mAh 20C (nasz wybór)	7,4 - 8,4	1300 mAh	70 x 35 x 15mm, 80g	40 PLN
Dualsky 7.4V 1300mAh 20C	7,4 - 8,4	1300 mAh	65,5x36x15,5mm 73g	40 PLN



Więcej informacji o pakietach LiPo znajdziesz na naszym blogu: uczymy.edu.pl/wp/baterie-lipo

Podwozie

Budujemy robota na bazie trój-punktowego podwozia. Z przodu będzie podparty przez obrotową kulkę. Z tyłu znajdują się dwa niezależnie napędzane koła. Kolejne poziomy robota będą montowane do poprzednich z użyciem metalowych dystansów. Górna platforma scali i ustabilizuje całą konstrukcję.



Platforma robota mobilnego

Jest to najprostszy i najłatwiejszy do zbudowania układ. Manewrowanie polega na manipulacji szybkością i kierunkiem obracania się poszczególnych kół, np.:

- Jazda do przodu: oba koła naprzód;
- Jazda do tyłu: oba koła do tyłu;
- Skręt w lewo: lewe koło stop, prawe naprzód;
- Skręt w prawo: prawe koło stop, lewe naprzód;
- Obrót w lewo: lewe koło do tyłu, prawe naprzód;
- Obrót w prawo: lewe koło do przodu, prawe do tyłu.

Przy ograniczonej długości i szerokości robota, układ taki jest dostatecznie stabilny.

Należy jednak zwrócić uwagę na odpowiednie rozłożenie ciężaru. Zbytne przesunięcie ciężkich elementów do tyłu może sprawić, że niewielkie nierówności (np. podjazd pod krawędź dywanu) oderwą przednią kulkę od powierzchni co w rezultacie może doprowadzić do „dachowania”. Kolejnym ciekawym zagadnieniem jest odpowiednie dobranie kół. Jeżeli będą one gładkie, robot będzie się ślizgał np. na płytkach podłogowych czy panelach. Przyczepność poprawi obciążenie kółek uszczelką do rur PCV lub gumą z dętki rowerowej. Najlepszym rozwiązaniem w przypadku wykładzin lub dywanów jest jednak płytkie ponacinanie kół na obwodzie. Jeżeli nacięcia będą wąskie, robot nie będzie podskakiwał nawet na równej nawierzchni.

Napęd

Roboty mobilne mogą być napędzane na kilka różnych sposobów. Najpopularniejsze rozwiązania opierają się na silnikach krokowych, serwomechanizmach lub silnikach DC (DC: ang. *Direct Current*, napięcie stałe). Każde z tych rozwiązań ma swoje wady i zalety. Zebraliśmy je w poniższej tabeli.

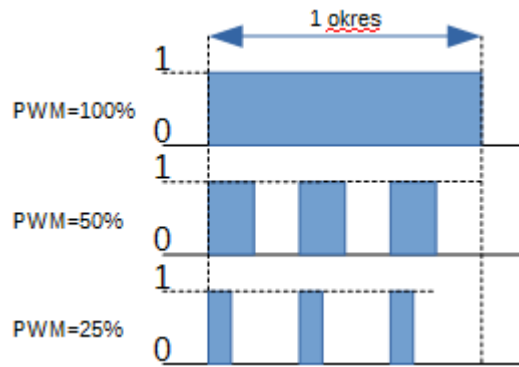
Napęd	Zalety	Wady	Zastosowanie
Silniki krokowe	Możliwość precyzyjnego sterowania. Można je pozyskać z np. starych drukarek	Wymagają większych prądów; skomplikowane sterowanie (duża ilość wyprowadzeń do obsłużenia), stosunkowo wolne ale przede wszystkim duże i ciężkie.	Większe i cięższe roboty mobilne, roboty stacjonarne, drukarki 3D.
Serwomechanizmy	Bardzo popularne i łatwo dostępne; łatwo się je steruje (PWM, 1 kabel sygnałowy), duża precyzja i ograniczony apetyt na prąd. Bardzo duży wybór - od małych i lekkich (nawet 2-3 gramy!) aż po duże i bardzo wydajne. Niska cena.	Zwykłe serwomechanizmy obracają się jedynie o 180 stopni; można je przerobić, ale nie jest to trywialne (+utrata gwarancji). Dostępne są również serwa 360, ale ich cena zazwyczaj przekracza 40PLN/sztukę.	Uniwersalne - modelarstwo, robotyka
Silniki DC (nasz wybór)	Duża moc i szybkość obrotowa; niska cena	Wymagają dodatkowych przekładni, które ograniczą obroty i zwiększą moment obrotowy. Są mało precyzyjne.	Roboty mobilne

Silniki DC

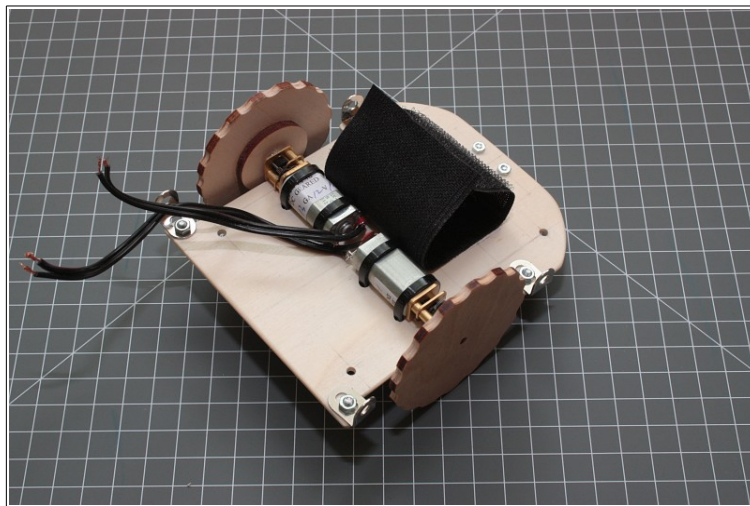
Do napędzania naszego robota użyjemy dwóch silników DC. Silniki tego typu mają tylko dwa wyprowadzenia, do których należy podłączyć masę i zasilanie. Sterowanie odbywa się poprzez zamianę biegunów (obroty lewo/prawo) i zmianę wypełnienia sygnału sterującego (szybciej/wolniej, tzw. PWM - zobacz ramka). Dla uproszczenia będziemy sterować jedynie kierunkiem obrotów.



PWM polega na podawaniu sygnału o określonej częstotliwości i wypełnieniu, tzn. stanów wysokich przeplatanych stanami niskimi. Wartość PWM to stosunek czasu trwania sygnału wysokiego do czasu trwania sygnału niskiego.



Prędkości obrotowe silników DC sięgają kilkunastu tysięcy obrotów na minutę. Mają też ograniczony moment obrotowy. Z tego powodu proste podłączenie ich do koła napędowego nie da pożądanych efektów. Konieczne jest zastosowanie odpowiedniej przekładni, która ograniczy ich obroty (do 100-120 na minutę) i zwiększy moment obrotowy.



Platforma z dwoma silnikami 12V – 120obr/min: Pololu MT60

Kolejnym parametrem silników jest wymagane przez nie napięcie zasilania. Jest to wartość charakterystyczna dla danego silnika. Zazwyczaj podaje się:

- Napięcie nominalne (w woltach - [V]);
- Zakres dopuszczalnych napięć - minimalne do maksymalne;

Napięcie nominalne określa optymalny punkt pracy silnika. Przykładowo, silnik DC o napięciu nominalnym 12 [V] może mieć zakres dopuszczalny 4,5 [V] - 13,5 [V]. Przy napięciu mniejszym niż nominalne (12 [V]) będzie się wolniej obracać i szybciej zużywać. Poniżej napięcia minimalnego (tu: 4,5 [V]) przestanie się obracać. Zasilanie napięciem większym niż maksymalne (tu: 13,5 [V]) może uszkodzić silnik lub znacznie skrócić jego żywotność.



Pytanie: Skoro mniejsze napięcie to wolniejsze obroty – to po co nam PWM? Nie można po prostu regulować napięcia?

Odpowiedź: Nie. Taka regulacja jest skomplikowana. Dużo łatwiej wygenerować odpowiedni sygnał sterujący (PWM)!

Kolejnym ważnym parametrem są prądy pobierane przez silniki:

- Pobór prądu na biegu jałowym (w miliamperach - [mA]);
- Pobór prądu w szczycie (w miliamperach - [mA] lub amperach [A]).

Silnik pracuje na biegu jałowym gdy kręci się bez żadnego obciążenia. Silnik pobiera prąd szczytowy w przypadku zatrzymania jego wału - np. gdy robot spotka się z przeszkodą, która nie pozwoli mu na dalsze poruszanie się. Obydwa prądy są bardzo ważne, gdyż **stawiają konkretne wymagania co do wydajności źródła zasilania i elementów sterujących takim silnikiem**. Źródło zasilania musi dawać co najmniej prąd szczytowy.



Pytanie: jaki prąd maksymalny może dostarczyć pakiet LiPo?

Odpowiedź: Parametr ten określany jest dla każdej baterii LiPo i kryje się pod oznaczeniem np. '20C'. '20C' oznacza, że bateria może dać maksymalnie $20 \cdot \text{pojemność}$; u nas: $20 \cdot 1,3 = 26A!$

Elementy sterujące silnikiem muszą w stanie taki prąd przełączać. Również kable połączeniowe należy dobrać w ten sposób, aby mogły przenieść prąd szczytowy z zapasem co najmniej 20%. Inaczej w sytuacji zatrzymania robota może dojść do jego spalenia.

Parametr	Znaczenie	Przykładowe wartości
Napięcie nominalne	Optymalne napięcie pracy silnika	12 [V]
Napięcie maksymalne	Maksymalne napięcie, jakie może być podane na silnik bez jego uszkodzenia	13,5 [V]
Napięcie minimalne	Minimalne napięcie wymagane, aby silnik się obracał	4,5 [V]
Prąd jałowy	Prąd pobierany przez silnik przy nieobciążonym wale	50 [mA]
Prąd szczytowy	Prąd pobierany przez silnik przy zablokowanym wale	2 [A]
Ilość obrotów na minutę	Silniki DC używane w robotyce wymagają przekładni.	60, 100, 120 [obr/min]

Sterowanie silnikami

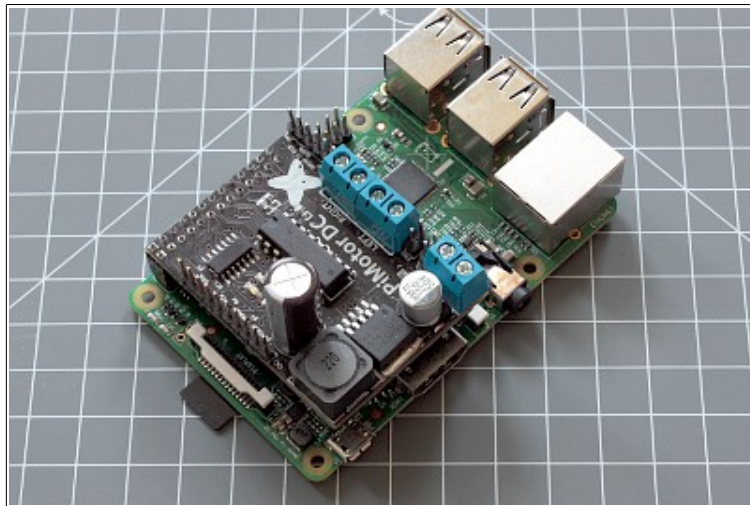
Problem z silnikami polega na tym, że do pracy potrzebują dużych prądów – znacznie większych, niż jakikolwiek minikomputer lub mikrokontroler może sam wygenerować.



Mostek H: układ elektryczny pozwalający na sterowanie kierunkiem obrotu silnika DC. Dostępny jako pojedynczy układ scalony. W naszym robocie zastosujemy PiMotor zbudowany na L293DNE. Nominalny prąd, jaki może przenieść ten układ to 600mA, maksymalny: 1.2A. Musicie więc szukać silników, które przy zatrzymaniu wału pobiorą prąd mniejszy od 1A.

Kolejną kwestią jest to, że silniki DC generują w sieci zasilania bardzo dużo zakłóceń. Potrafią powodować impulsy elektryczne o bardzo wysokim napięciu (tzw. szpilki). Bezpośrednie podłączenie ich do minikomputera (pomijając kwestie mocy) mogłoby spowodować jego uszkodzenie - w najlepszym wypadku ciągle restartowanie. Dlatego konieczne jest stosowanie dodatkowych układów, które przejmą na siebie ciężar sterowania mocami i uchronią inne układy przed zakłóceniami z silników.

W naszym projekcie użyjemy właśnie takiego układu, który jest rozszerzeniem nakładanym na złącze GPIO Raspberry Pi. Umożliwia on nie tylko cyfrowe sterowanie silnikami, ale i zasilanie samej Raspberry Pi (tzw. ang. back-power).



Raspberry Pi z rozszerzeniem PiMotorDC firmy msx-elektronika.pl

Na koniec...

Poznaliście już koncepcję naszego robota. W następnej lekcji zaczniemy go budować!

Słowniczek

	Znaczenie
A	Amper, jednostka prądu
DC	ang. Direct Current, napięcie stałe
mA	Miliamper, jednostka prądu równa 1/1000 A (ampera)
Mostek H	Układ elektryczny pozwalający na sterowanie kierunkiem obrotów silnika
Przetwornica step-down	Element elektroniczny obniżające napięcie w zakresie 0 – napięcie zasilania przetwornicy
PWM	ang. Pulse Modulated Width, sterowanie wypełnieniem sygnału sterującego – do zmieniania szybkości obrotowej silnika
RPi	Raspberry Pi, minikomputer sterujący naszym robotem
V	Wolt, jednostka napięcia

Rozszerzenie PiMotorDC dostarcza:



Wszystkie materiały znajdziecie na:

uczymy.edu.pl/moodle

(dostępne za darmo po zalogowaniu jako „gość” - nie ma potrzeby rejestracji)

Więcej kursów znajdziecie na:

uczymy.edu.pl

Więcej o elektronice dowiedzie się na:



uczymy.edu.pl/wp

Jako autorzy daliśmy wszelkich starań, żeby przedstawione w tym kursie materiały były zgodne z rzeczywistością. Wszystkie rozwiązania zostały sprawdzone (zbudowane) przez nas osobiście. Kurs ten ma jednak charakter wyłącznie informacyjny. Nie ponosimy żadnej odpowiedzialności (na przykład karnej, cywilnej) za jakiegokolwiek koszty i szkody (zdrowotne, majątkowe i inne) wynikłe w rezultacie wykorzystania zamieszczonych materiałów. Sami jesteście odpowiedzialni za zapewnienie bezpieczeństwa sobie i swojemu otoczeniu. Zamieszczone zdjęcia mają charakter poglądowy i mogą się różnić od stanu faktycznego. Nie stanowią oferty handlowej w rozumieniu kodeksu cywilnego.