

Budowa systemu Master-Slave robotycznego ramienia łazika marsjańskiego

Mateusz Michał Marecki
Andrzej Ostasiuk
Krzysztof Mordasewicz
Marcel Półkośnik

1 lipca 2019

Streszczenie

W projekcie stworzony został system Master-Slave dla robotycznego ramienia łazika marsjańskiego. W tym celu wykonana została konstrukcja odtwarzająca oryginalne ramię, wyposażona w system elektroniczny pozwalający na odczyt ustawienia modelu i przekazujący te informacje do komputera. Odczyt ustawienia został zrealizowany za pomocą potencjometrów połączonych z płytką Arduino Uno. Ostateczna wersja miała zbyt wiele wad, aby była użyteczna w kontroli ramienia łazika marsjańskiego, jednak projekt stanowił ważne doświadczenie i podstawę do budowy prawdziwego systemu.

1 Wprowadzenie

System Master-Slave jest to model komunikacji, w którym jedno z urządzeń ma jednostronną kontrolę nad jednym lub wieloma innymi urządzeniami. Systemy takie wykorzystywane są w wielu dziedzinach techniki, jak chociażby hydraulika, kolejnictwo, bazy danych, systemy operacyjne.

W poniższym projekcie podjęto próbę wykonania systemu Master-Slave dla robotycznego ramienia łazika marsjańskiego. Zadanie to sprowadza się do wykonania modelu ramienia oraz układu elektronicznego umożliwiającego rekonstrukcję ustawienia ramienia oraz przekazanie danych do programu sterującego oryginalnym ramieniem.

Konstrukcja składa się z obrotowej podstawy oraz trzech elementów ramienia połączonych ze sobą oraz z podstawą w punktach zgięcia. Istotnym elementem urządzenia Master jest zachowywanie pozycji po zakończeniu interakcji z użytkownikiem. Ważną cechą jest także dokładność odczytu ustawień elementów modelu.

2 Projektowanie i budowa ramienia

2.1 Potencjometry

Głównym elementem kontrolera był mierniki rejestrujące położenie kątowe poszczególnych zgięć ramienia. Finalnie w projekcie wykorzystano linowe potencjometry obrotowe. Obrót stawów ramienia powodował zmianę napięcia sygnału. Sposób pomiaru uniemożliwił określenie dokładności przed zakupem (bez wykonania testów). Był to główny argument przemawiający za poszukiwaniem alternatyw. Jednak największym atutem potencjometrów była ich cena zamykająca się w przedziale 10-20 zł. Rozważane alternatywy wraz z opisem ich wad i zalet w stosunku do potencjometrów przedstawiono

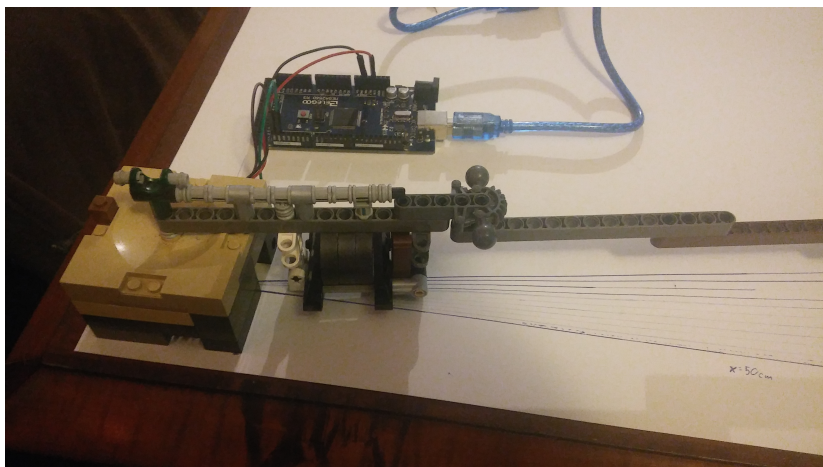
w kolejnych podsekcjach. Ostatecznie zdecydowano, że potencjometry stanowią najlepsze rozwiązanie. Wybrano dwa potencjometry jednoobrotowe Vishay P357K010, które pozwalały na nieskończone obracanie w daną stronę resetując napięcie po pełnym obrocie, oraz dziesięcioobrotowe Vishay P534K002, które pozwalały na obrót w danym kierunku dziesięć razy stale zwiększając lub zmniejszając napięcie w wyniku czego zerowe napięcie otrzymuje się dla maksymalnego przekręcenia w jedną stronę i maksymalne napięcie dla maksymalnego przekręcenia w drugą stronę. Dodatkowo w celu zwiększenia dokładności pomiarów do potencjometrów dokupiono przetwornik analogowo-cyfrowy ADC, umożliwiło to dokładniejszy odczyt napięcia. Wybrany model MCP3424 miał formę modułu bezpośrednio podłączanego do Arduino.

2.2 Enkodery obrotowe

W pierwszej kolejności rozważono wykorzystanie enkoderów kątowych absolutnych, które przekazują informacje o położeniu w formie sygnału cyfrowego (w kodzie dwójkowym lub Gray'a). Ich dokładność charakteryzuje liczba bitów, co w przeciwieństwie do potencjometrów, pozwala określić ich dokładność przed zakupem. Zakładana dokładność pomiaru miała wynieść 0,1 stopnia co odpowiada enkoderowi o rozdzielczości 12 bitów (odpowiada to dokładności ok. 0,09 stopnia). Jednak cena pojedynczego urządzenia wynosiła ponad 500 zł. Koszt jednego enkodera przekraczał przewidywany budżet projektu, co wymusiło szukanie innych rozwiązań.

2.3 Czujnik Halla

Jako alternatywę dla enkoderów obrotowych rozważono czujniki Halla. Nawet bardzo dokładne czujniki są bardzo tanie. Zakupiony moduł z czujnikiem MLX90393 o rozdzielczości 16 bitów kosztował zaledwie 40 PLN. Aby zdecydować, czy to rozwiązanie ma sens, sprawdzono dokładność pojedynczego modułu z wykorzystaniem silnych magnesów o natężeniu indukcji magnetycznej rzędu 10^{-2} T. Natężenie indukcji magnetycznej Ziemi jest rzędu 10^{-5} T, w związku z czym może mieć niezaniebnywalny wpływ na jakość odczytu. Magnesy neodymowe mają natężenie indukcji rzędu 1 T, więc ich wykorzystanie mogłoby mieć sens, jednak istniało duże prawdopodobieństwo, że magnesy przy poszczególnych zgięciach zakłócałyby odczyt przy pozostałych. W związku z tym tę alternatywę pozostawiono na wypadek, gdyby konstrukcja z magnesami o natężeniu indukcji rzędu 10^{-2} T okazała się użyteczna. Czujnik Halla podaje wartości natężenia indukcji magnetycznej w 3 kierunkach, wobec czego z funkcji arctan można odczytać kąt jeśli magnes porusza się razem z ramieniem. W najlepszym przypadku dla trzech takich magnesów wartość kąta wahała się w bezruchu w przedziale o szerokości około $0,15^\circ$, a przy obrocie o 10° wartość zmieniała się o około $9,87^\circ$. Odniesieniem była kartka z wyznaczonymi z arctan kątami przy jednym boku o długości 50 cm. Układ pozwalał na duże niepewności, jednak w zakresie badania nie powinno to bardzo wpływać na wyniki. Układ przedstawiono na rysunku 2.1.



Rysunek 2.1: Układ stosowany do sprawdzenia dokładności i wiarygodności w różnych warunkach pomiaru kąta z użyciem czujnika Halla i magnesów

Otrzymana dokładność nie zmieniała się bardzo znacząco dla mniejszej ilości magnesów i nie była ona zadowalająca, w związku z czym uznano, że dla silniejszych magnesów także nie byłaby ona duża lepsza. Dodatkowo optymalne ustawienie układu było problematyczne i ciężko było określić, jakie ustawienie daje dobrą dokładność. Z tych powodów postanowiono porzucić tę alternatywę.

2.4 Układ mechaniczny

Podstawowe elementy ramienia wykonano za pomocą drewna oraz sklejki. Bazą oraz punktem odniesienia był niewielki kwadrat, który odpowiadał za korpus łożka. Przymocowane do niego ramię miało swobodny zakres ruchu w płaszczyźnie poziomej. Ramię posiadało trzy punkty zgięcia oparte na śrubach. Równolegle do nich zamontowano potencjometry. Ze śrubami połączono je specjalnym klejem do metalu. Łączenie to wsparto zewnętrzną warstwą zwykłego kleju. Z racji na brak punktu odniesienia w postaci projektu prawdziwego ramienia, wymiary poszczególnych elementów jedynie oszacowano, starając się przy tym zachować jak najbardziej realistyczne proporcje. Użyte do budowy układu Master drewno to dobry materiał, ale nie pozbawiony wad. Posiada ono cechy pożądane w tego typu pracach między innymi to, że jest sztywne i stosunkowo łatwe w obróbce. Jeśli jednak układ miałby być znacznie mniejszy, lepszym wyjściem byłoby użycie druku 3D. Technologia ta pozwala na konstruowanie z większą dokładnością, używając lżejszych i nie mniej wytrzymałych surowców. Dodatkowo projektowanie 3D zwalnia konstruktora z potrzeby wiercenia otworów w materiale co było dokuczliwe w przypadku drewna, które miało tendencję do pękania i rozwarstwiania się.

Zakupiono także łożyska, które zapobiegałyby ocieraniu się o siebie połączonych elementów przy ich obrotach względem siebie i wydłużyłyby czas użyteczności systemu. Ostatecznie jednak ich nie wykorzystano ze względu na problemy z ich zamocowaniem oraz zapewnieniem stabilnej pozycji w bezruchu, bez opadania segmentów pod wpływem grawitacji, co w obecnej wersji jest dokonywane po prostu przez dokręcenie nakrętek na śrubach.

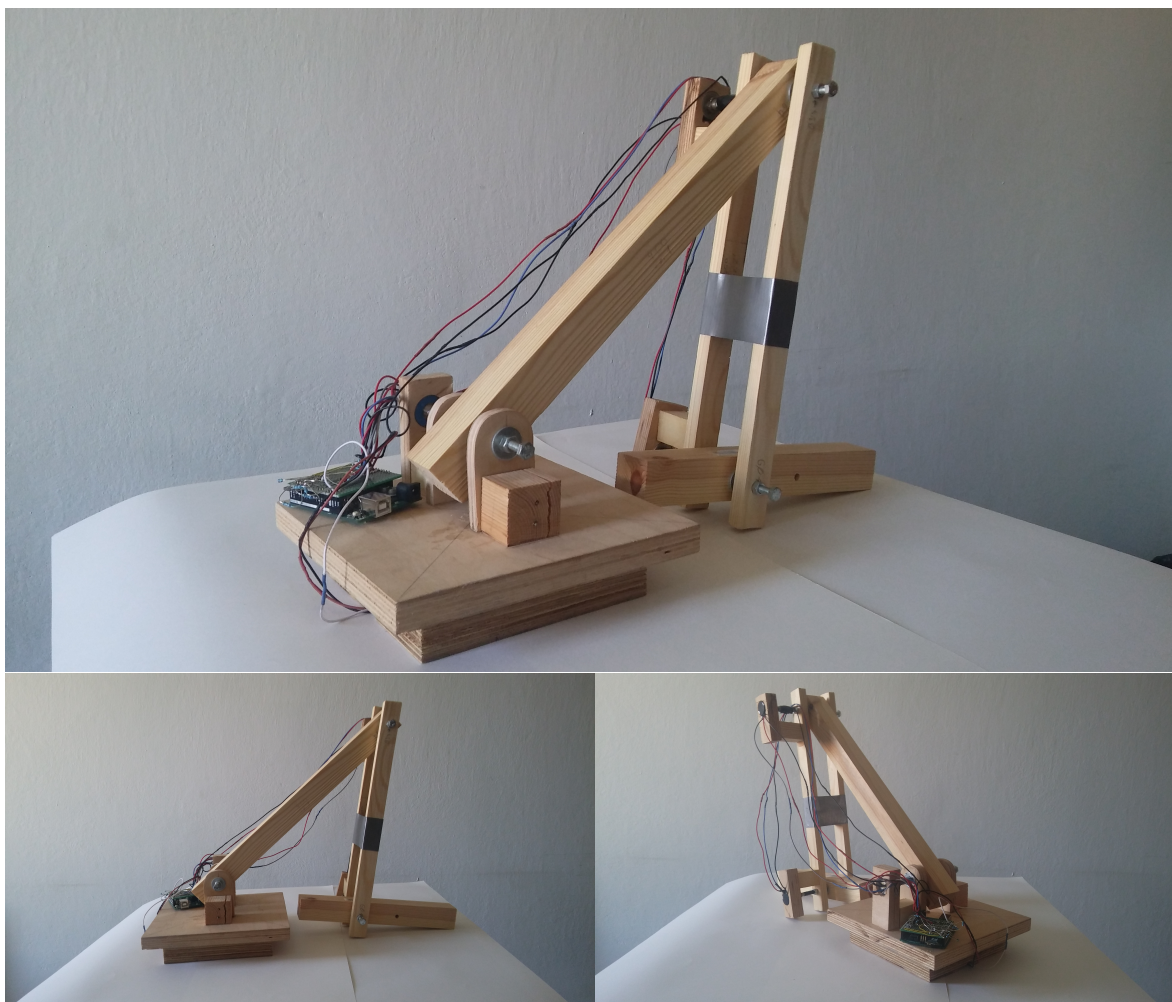
2.5 Układ elektroniczny i programowanie

Potencjometry podłączono do przetwornika ADC, który podłączono do płytki Arduino. Podłączeń dokonano lutując ze sobą kilka przewodów, co nie było optymalnym wyjściem ze względu na zwiększone prawdopodobieństwo przzerwania w miejscach łączenia. ADC czytywało napięcie w rozdzielczości 18 bitów na każdym potencjometrze po kolei w momencie czytania. Wyjście to oznaczało, że ruch ramienia, którym by sterowano nie byłby płynny, jednak zmiana wartości następowała dostatecznie

szybko na potrzeby systemu. Napięcie z potencjometrów następnie przeskalowano, aby otrzymać wartości kątów, o jakie obrócone są poszczególne segmenty w stosunku do punktu odniesienia. Istnieje także możliwość przeprogramowania Arduino na kontroler podłączony do komputera przy pomocy programu UnoJoy oraz zamiany wartości kątów na wychylenie osi kontrolera. Proces ten jest jednak na tyle łatwy, że można go wykonać bardzo szybko i łatwo, a analiza czytywanych wartości jest wtedy znacząco utrudniona, dlatego pozostano przy czytywaniu wartości kątów i wyświetlaniu ich na monitorze programu do obsługi Arduino.

3 Analiza końcowego systemu

Ostateczny wygląd systemu przedstawiono na rysunku 3.2.



Rysunek 3.2: Ostateczna wersja systemu

Jest parę rzeczy, które sprawiają, że w obecnym stanie nie nadaje się do użytku, a ich naprawa jest niemożliwa ze względu na brak czasu. Po pierwsze łączenia trzonków potencjometrów ze śrubami, będącymi osiami obrotu poszczególnych elementów, są bardzo nietrwale i przy niektórych potencjometrach pękają po kilku niepełnych obrotach. Jest to związane z krzywym zamontowaniem potencjo-

metrów, w związku z czym ich osie nie pokrywają się z osiami śrub. Prawdopodobnie lepsze wyniki otrzymanoby stosując sprzęgła elastyczne do połączenia trzonek potencjometrów ze śrubami. Kolejnym problemem są pękające się kable, które prawdopodobnie są też za krótkie, co w połączeniu z delikatnymi lutami do płytki Arduino sprawia, że łatwo się one odrywają. Kable zamierzano przykleić do poszczególnych segmentów ramienia, jednak okazały się one za krótkie i nie pozwalałyby to na obrót segmentów. Mniejszym problemem jest ograniczony przedział kątowy, w którym potencjometr łączący bazę z podstawą ramienia i umożliwiający azymutalny obrót właściwego ramienia wokół własnej osi spełniał swoją funkcję, to znaczy dawał napięcie różne zerowemu lub maksymalnemu. Jest to jednak problem, który ciężko byłoby optymalnie rozwiązać, ponieważ jest to cecha samego potencjometru. Możliwym rozwiązaniem jest zastosowanie potencjometru dziesięcioobrotowego, jak przypadku dwóch najbardziej oddalonych od bazy segmentów, ograniczając tym samym ilość obrotów podstawy ramienia względem bazy. Drugi jednoobrotowy potencjometr zamocowany między podstawą a pierwszym segmentem nie sprawia takiego problemu, ze względu na ograniczony zakres obrotu tego segmentu, który może pokrywać się z przedziałem kątów, dla których potencjometr nie spełnia swojej funkcji. Inne mało istotne problemy to między innymi brak zabezpieczenia drewna przed podkładkami, co może skutkować w wypaczeniu się połączeń, oraz nieduże luzy w łączeniach.

Układ na końcu skalibrowano, aby program pokazywał kąt o jaki obrócono dany segment względem punktu odniesienia zamiast napięcia podawanego z potencjometra. Kątowi 0° dla każdego zgięcia odpowiada pozycja pionowa całego ramienia, to znaczy pierwszy segment ma pozycję zerową, kiedy jest prostopadle do podstawy, a drugi i trzeci segment, kiedy są równoległe do poprzedniego segmentu. Ze względu na brak czasu i trudności wynikające z odklejania się potencjometrów od śrub kalibracja była bardzo słaba i czytywany kąt miał niepewność prawdopodobnie około 5° . Dodatkowo w przypadku zgięcia między podstawą a pierwszym segmentem odczyt nie jest wiarygodny, ponieważ połączenie potencjometra ze śrubą jest częściowo zerwane i nie da się go naprawić, w związku z czym potencjometr nie zawsze obraca się razem ze śrubą.

4 Dyskusja projektu i wnioski

Użycie potencjometrów okazało się być dobrym pomysłem. Umożliwiają one uzyskanie poprawnych rezultatów i są wytrzymałe. Na korzyść enkoderów przemawia ich znana dokładność oraz niewielkie rozmiary. Te cechy okupione są jednak znacznie większą ceną. Do łączenia potencjometrów ze śrubami użyto kleju do metalu oraz gorącego kleju. Znacznie lepiej byłoby te elementy ze sobą zespawać, niestety brak było takiej możliwości. Dodatkowo takie rozwiązanie uniemożliwiłoby użycie potencjometrów w innych układach np. W dokładnej replice ramienia wydrukowanej w technologii 3D. Jedną z kwestii pozostających do rozważenia jest mechanizm uniemożliwiający swobodne opadanie ramienia. Układ jest o tyle funkcjonalny, o ile użytkownik podtrzymuje ręcznie wszystkie jego elementy w ustalonej pozycji. Aby uwolnić użytkownika od tej odpowiedzialności należałoby rozważyć wzbogacenie konstrukcji o dodatkowe elementy hydrauliczne.

Ostateczna wersja systemu jest jedynie prototypem wersji, która rzeczywiście mogłaby być użyta do kontroli ramienia łazika marsjańskiego. Zbudowanie użytecznej wersji wymagałoby jednak zacementowania podstaw wykorzystując wiedzę zdobytą przy budowie wersji prototypowej. Proces ten powinien zająć znacznie mniej czasu niż w przypadku prototypu, jednak i tak było to za dużo. Powodem braku czasu był częściowo brak doświadczenia w tworzeniu tego typu projektów, w tym także brak jakiegokolwiek wiedzy i wyczucia w posługiwaniu się potencjometrami i enkoderami obrotowymi, w związku z czym wybór był prawie niemożliwy i ostatecznie przy zakupie kierowano się głównie przecuciem. Głównym powodem był jednak prawdopodobnie brak zorganizowania i utrudniony kontakt z osobami, które mogłyby udzielić nam pewnych informacji i odpowiedzi na temat projektowania i budowy systemu. Z czasem jednak nauczono się radzić sobie z tymi problemami oraz znaleziono częściowe wsparcie u innych osób.