Uniwersytet Jagieloński w Krakowie
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej

Jakub Gącik
Nr. albumu 1113727

Opracowanie i implementacja algorytmu sterowania ramieniem robota

Praca licencjacka
na kierunku Informatyka

Praca wykonana pod kierunkiem
dr Grzegorza Zuzla
z Zakładu Doświadczalnej Fizyki Komputerowej

Kraków 2017

Oświadczenie autora pracy

Świadom odpowiedzialności prawnej oświadczam, że niniejsza praca dyplomowa została napisana przeze mnie samodzielnie i nie zawiera treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami.
Oświadczam również, że przedstawiona praca nie była wcześniej przedmiotem procedur związanych z uzyskaniem tytułu zawodowego w wyższej uczelni.

Kraków, dnia Podpis autora pracy

Oświadczenie kierującego pracą

Potwierdzam, że niniejsza praca została przygotowana pod moim kierunkiem i kwalifikuje się do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie tytułu zawodowego.

Kraków, dnia Podpis kierującego pracą

Spis treści

Wstęp

Wybór tematu poniższej pracy jest uzasadniony zaintresowaniami autora w dziedzinie robotyki i elektroniki, jak również sugestiami osób promujących pracę oraz faktem, że roboramiona są powszechnie używane w projektach elektronicznych i maszynach przemysłowych. Podstawą w poprawnym działaniu takich ramion jest odpowiednie zaprojektowanie, ale żadna, nawet najbardziej dopracowana maszyna, może być bezużyteczna, jeśli byt odpowiadający za jej pracę jest nieprawidłowo przygotowany, dlatego bez odpowiedniego programu obsługującego elektronikę żaden projekt nie ma sensu.

Najbardziej popularniej i ogólnie dostępne części na rynku elektronicznym są zazwyczaj bardzo prymitywne w budowie, co oczywiście ma swoje zalety jak i wady. Do tych drugich należy awaryjność, ale nie spowodowana błędami projektowymi czy produkcyjnymi, a nieumiejętnością i brakiem rozwagi użytkowników. Są to uszkodzenia mechaniczne, polegające na spaleniu czy połamaniu mechanizmów wewnętrznych, a powodem tego jest niedopasowanie tych elementów do warunków zewnętrznych, w jakich będą one pracować - nacisk elementów montażowych, zjawiska naturalne itd. Jednym z założeń projektu i kolejnym aspektem motywującym do wykonania opisywanej pracy jest uniknięcie wyżej opisanej sytuacji.

Kompletne źródła programów, napisane na potrzeby poniższej pracy, znajdują się pod adresem (I TU BĘDZIE LINK DO REPOZYTORIUM Z GITHUBA LUB INNY ZAŁĄCZNIK)

Autor pragnie zaprosić do czytania i refleksji nad opisywanymi problemami.

ROZDZIAŁ 1

Ogólne przedstawienie problemu

1.1. Budowa ramienia robota - założenia

W założeniach omawianego projektu budowane ramię ma zostać wykorzystane do poruszania się obiektu, czyli do bazy urządzenia zostanie przymocowanych kilka sztuk prezentowanego ramienia oraz zostanie zaimplementowany algorytm synchronizujący ramiona. Projektowane ramię można porównać do odnóża pająka lub ludzkiej ręki bez dłoni - staw zawiasowy pozwalający na ruch przymocowanego dystansu w jednej płaszczyźnie oraz staw kulisty pozwalający na ruch całej konstrukcji w dwóch płaszczyznach. (tu model z CADa).

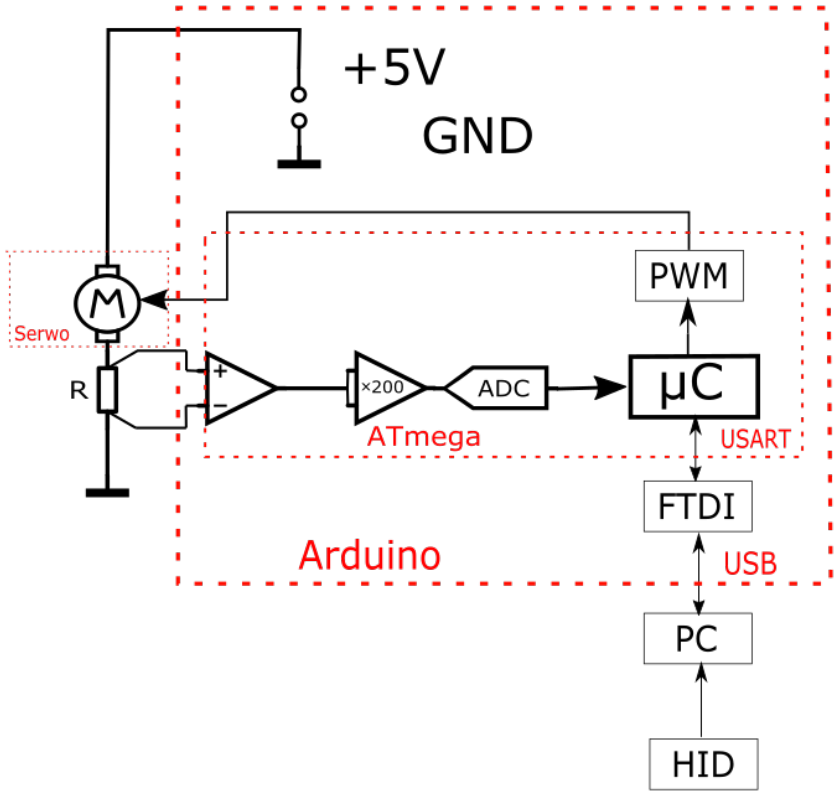
Kolejnym założeniem jest możliwość sterowania ramieniem za pomocą aplikacji komputerowej wykorzystując wybrany kontroler HID (mysz lub joystick często wykorzystywany w grach) oraz odporność na przeciążenia spowodowane napotkanymi przeszkodami.

1.2. Dobór podzespołów i technologii

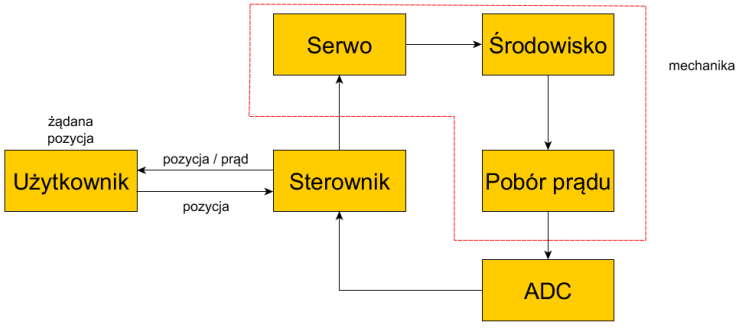
Do budowy stawów, o których mowa w rodziale 1.1 wykorzystano serwa modelarskie SG90 - jedne z najbardziej popularnych i łatwo dostępnych serw na rynku, które charakteryzują się również niskimi kosztami. Pośrednikiem pomiędzy serwami a komputerem, który zapewni odpowiednią kontrolę serw oraz transmisję szeregową będzie płytka prototypowa Arduino Mega, oparta o mikrokontroler ATmega 2560 Charakteryzuje się on zegarem o taktowaniu 16 MHz, 256 kB pamięci Flash oraz 8kB pamięci RAM. Każda płytka z rodziny Arduino posiada 10-cio bitowe przetworniki analogowo-cyfrowe, jednak tylko mikrokontroler w Arduino Mega posiada wbudowane wzmacniacze różnicowe pozwalające na różnicowy pomiar napięć, co jest podstawą uzyskania sygnału zwrotnego z serw i zabezpieczenia ich przed spaleniem. Opisywana płytka prototypowa posiada złącze USB typu B, które pozwala na podłączenie jej do komputera w celu zaprogramowania oraz zapewnienia transmisji szeregowej, dzięki czemu możemy w czasie rzeczywistym przesyłać instrukcje sterujące z komputera oraz informacje o przeciążeniach do komputera.

Za sterowanie serwami oraz analizę i prezentację informacji o przeciążeniach odpowiada program komputerowy napisany w języku C#. Jest to obiektowy język programowania zaprojektowany dla firmy Microsoft. Programy napisane w tym języku są kompilowane do języka CIL (Common

Intermediate Language) - jest to kod pośredniczący, który do wykonania wymaga środowiska uruchomieniowego np. .NET Framework.



Rysunek 1. Schemat opracowanego układu umożliwiającego pomiary przeciążeń serwa



Rysunek 2. Schemat blokowy prezentujący działanie układu

ROZDZIAŁ 2

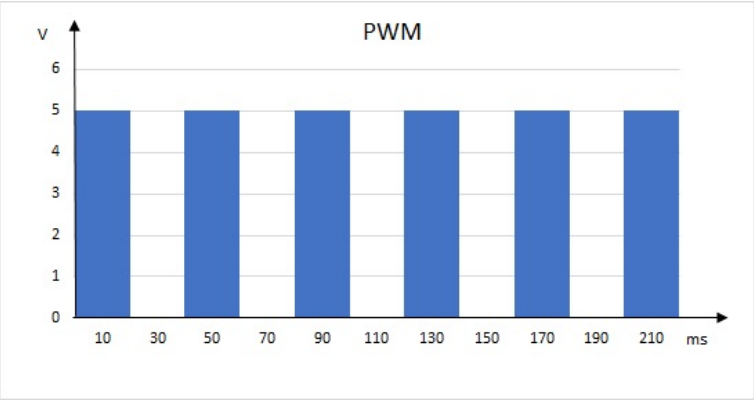
Opis wybranych technologii

2.1. Czym są serwa ? - zasada działania i ich specyfikacja

Serwa, a właściwie serwomechanizmy, są podstawowymi elementami wykorzystywanymi w modelarstwie. Dzięki nim możliwe są ruchy różnego typu części składowych modelu pozwalających na sterowanie, na przykład serwa realizują wychylenia osi w modelach pojazdów, co umożliwia ich skręcanie. Podstawowymi elementami, z których składa się serwo, są:

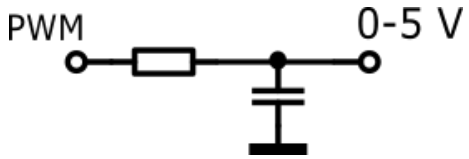
- Silnik napędowy sterowany prądem stałym
- Potencjometr (do pomiaru położenia przekładni)
- Wewnętrzny układ, który steruje pracą silnika
- Przekładnia zębata, pozwalająca uzyskać moment obrotowy

Do sterowania serwami wykorzystywany jest sygnał PWM (Pulse-Width Modulation) - jest to metoda regulacji prądu o stałej amplitudzie i częstotliwości, natomiast zmianie ulega wypełnienie. Częstotliwość tego sygnału w serwach analogowych, jakim jest SG90, to ok. 50 Hz. W serwach cyfrowych jest to 300 Hz i takie serwa mają większą precyzję. Dzięki tranzystorom wbudowanym w mikrokontroler ATmega oraz funkcjom wbudowanym w Arduino wytworzenie takiego sygnału jest bardzo proste - inicjowany jest wartością jednobajtową czyli z zakresu 0-255 odpowiadające brakowi i pełnemu wypełnieniu (100%) przebiegu. Wykorzystując podane wyżej dane łatwo będzie zrozumieć poniższy przykład: Przy częstotliwości 50 Hz wykonywanych jest 50 zmian sygnału w ciągu sekundy, czas trwania sygnału po zmianie to około 20 ms. Sygnał jest inicjowany wartością 128 - około połowy z dostępnego zakresu. W rezultacie na wyjściu zostaje otrzymany cykliczny sygnał, gdzie na przemian w odcinkach 20 ms występuje 5 V i 0 V. Średnio jest to odpowiednik 50% dostępnego zakresu napięć.



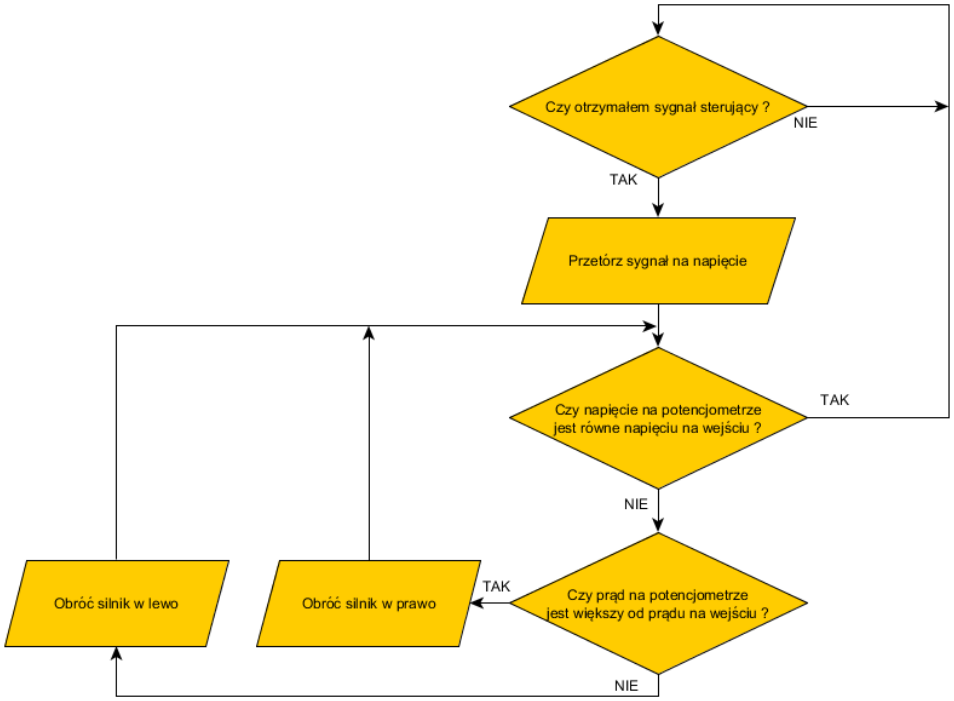
Rysunek 1. Wykres prezentujący sygnał PWM - napięcie od czasu

Dopiero w serwie, za pomocą filtra dolnoprzepustowego, sygnał ten jest uśredniany na napięcie z zakresu 0-5V odpowiadające procentowemu wypełnieniu przebiegu.



Rysunek 2. Schemat filtra dolnoprzepustowego

Do przekładni przymocowany jest potencjometr, który obraca się wraz z jej obrotem. Zmiana rezystancji jest informacją o aktualnym położeniu serwa. W oparciu o dzielnik napięcia powstaje sygnał napięciowy, który trafia do komparatora, gdzie jest porównywany z podanym napięciem wzorcowym (sygnałem sterującym PWM). Wytworzony w komparatorze sygnał to informacja o różnicy pomiędzy aktualną pozycją silnika, a pozycją zadaną. Ta informacja trafia do korektora, a jego zadaniem jest obrócenie silnika tak, aby zmniejszyć różnicę w pozycjach, aż do uzykania pożądanego efektu.



Rysunek 3. Schemat blokowy opisujący działanie serwa

Serwomechanizmy dzielimy na grupy, a podział ten jest realizowany ze względu na wagę oraz materiały, z których jest wykonane serwo. W opisywanym projekcie wykorzystywane serwa to SG90 firmy Tower Pro. Jest to serwo z grupy micro, czyli o wadze do 10 gram oraz o plastikowych przekładniach zębatych. Inne grupy serw to:

- mini - o wadze około 25 g oraz metalowych lub karbonowych przekładniach, a tym samym generujące większy moment siły
- standard - duże serwa o wadze około 50 g, występują w różnych odmianach, są bardzo silne

Dokładna specyfikacja wykorzystywanego serwa Tower Pro SG90 :

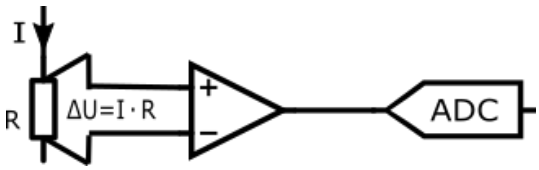
- Zasilanie: 4.8 V - 6.0 V
- Zakres ruchu: 180°
- Grupa: micro
- Moment 1.8 kg * cm
- Prędkość 0.10 s /60st
- Rodzaj: analogowe
- Wymiary 22x12x27 mm (dł x szer x wys)
- Masa: 9 g

Rysunek 4. Serwo Tower Pro SG90

2.2. Pomiar różnicowy - na czym polega ? Przewaga nad innymi rozwiązaniami

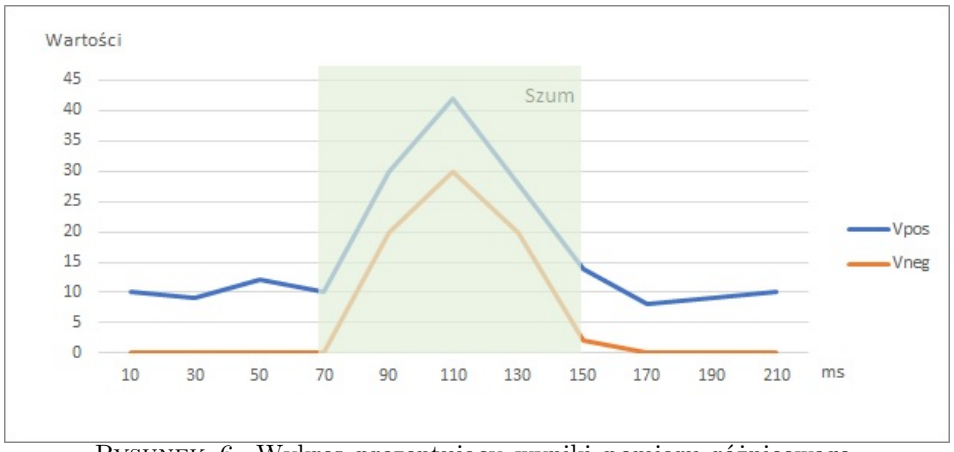
W rozdziale 2.1 została opisana zasada ustalania i zmian pozycji serwa, która polega na porównywaniu napięć. Są to napięcia odpowiadające pozycji serwa. Niestety samo to rozwiązanie ma pewną wadę - jeśli serwo nie znajdzie się na zadanej pozycji korektor będzie usilnie chciał odpowiednio ustawić silnik. Takie działanie będzie prowadzić do spalenia silnika lub uszkodzenia przekładni zębatych. Założeniem projektu jest uniknięcie takich sytuacji. Wybranym rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie rezystora bocznikującego w obwodzie zasilania serwa oraz wykonywanie różnicowego pomiaru napięcia, które na nim panuje, a w konsekwencji monitorowanie poboru prądu przez serwo

Różnicowy pomiar napięcia polega na podłączeniu dwóch bezpośrednich końców badanego elementu do wzmacniacza operacyjnego, a dopiero napięcie wyjściowe wzmacniacza trafia bezpośrednio do przetwornika ADC (Analog->Digital Converter).



Rysunek 5. Schemat połącznia badanego elementu z przetwornikiem

Zaletą tego rozwiązania jest odporność na ewentualne szumy, ponieważ przewody połączeniowe są blisko siebie, są tej samej jakości i długości, a więc posiadają ten sam opór oraz zewnętrzne oddziaływania wpływają tak samo na oba przewody, czyli różnica napięć w nich panujących będzie taka sama niezależnie od zaburzeń zewnętrznych.



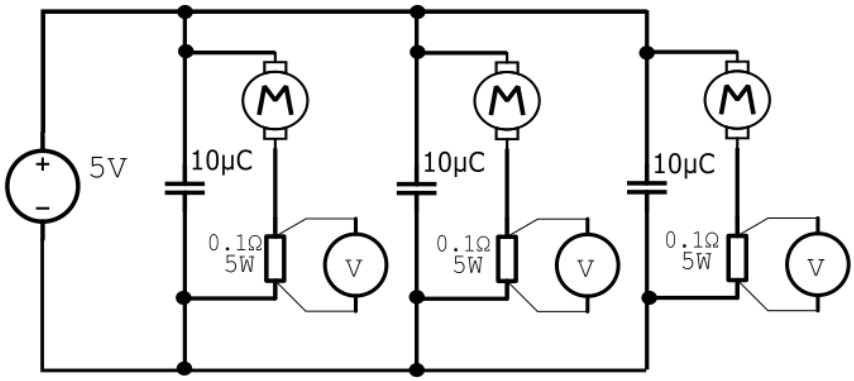
Rysunek 6. Wykres prezentujący wyniki pomiaru różnicowego, kiedy występują szumy

Innym możliwym rozwiązaniem problemu jest rozebranie serwa i podłączenie się do sygnału z potencjometru lub komparatora, odpowiednia analiza w mikrokontrolerze i interakcja. Jednak w tym przypadku przeciążenie można mierzyć tylko na podstawie pomiaru czasu w jakim serwo się przemieszcza do zadanej pozycji, a logicznym jest, że jeśli trwa to zbyt długo to oznacza, że silnik jest w jakiś sposób blokowany. To rozwiązanie, z pozoru łatwiejsze, ma jednak pewne wady - w pomiarze musi zostać uwzględniona ustalona prędkość serwa, co dodatkowo skomplikuje algorytm. Serwa przemieszczają się dość szybko, a przetworniki ADC wbudowane w mikrokontroler mają ograniczoną szybkość, zwłaszcza kiedy ten sam mikrokontroler musi zapewnić również transmisję szeregową i sterowanie serwem. Ponadto w tym rozwiązaniu nie jest zapewniona odporność na szumy, dlatego wybrane do opisywanego projektu rozwiązanie polegające na różnicowym pomiarze napięcia wydaje się być jednym z najlepszych.

2.3. Przygotowany rezystor bocznikujący - dobór parametrów części

Jak opisano w rodziale 2.2 pomiar różnicowy wykonywany jest na elemencie elektronicznym - w tym przypadku jest to rezystor bocznikujący, czyli rezystor o bardzo małej rezystancji i dużej precyzji przeznaczony do pomiaru dużych prądów i nie wprowadzający znaczących strat w układzie. Takie rezystory wykorzystywane są we wszelkiego rodzaju miernikach natężenia. [**1**] Na potrzeby projektu powstała płytka z prostym układem umożliwiającym opisywane pomiary. Zastosowano rezystor bocznikujący o oporze 0.1Ω, który został podłączony szeregowo z silnikiem. W trakcie wykonywania ruchów przez serwo, napięcie na rezystorze rośnie. Dodatkowo w układzie

zastosowano kondensatory 10 μF 63V podłączone równolegle między napięciem a masą, aby zapewnić odporność na szumy, iskrzenia silnika - silniki są elementami indukcyjnymi



Rysunek 7. Schemat przygotowanego układu umożliwiającego pomiary

ROZDZIAŁ 3

Program dla mikrokontrolera

3.1. Środowisko ARDUINO

Arduino jest to elektroniczna platforma z otwartym źródłem, która pozwala na proste programowanie wcześniej przygotowanych mikrokontrolerów. Arduino udostępnia interfejs programowy, który w intuicyjny sposób pozwala wykonywać złożone opracje na rejestrach sterujących ATmegi. Jest to projekt stale rozwijany, posiadający wielu zwolenników, mnóstwo książek do nauki oraz niezliczoną ilość wciąż powstających modułów poszerzających funkcjonalność płytek prototypowych. Na płytce znajduje się konwerter USB$<->$RS-232(o napięciach TTL), a twórcy udostępniają proste środowisko programistyczne z wbudowanym kompilatorem dzięki czemu szereg operacji wymaganych przy typowym programowaniu procesorów AVR sprowadza się do napisania kodu, podłączenia płytki do portu USB i kliknięcia przycisku 'PROGRAMUJ'.

Prostota obsługi i programowania wynika z wbudowanego bootloadera - programu ładującego skompilowany kod użytkownika do pamięci FLASH mikrokontrolera [**2**]

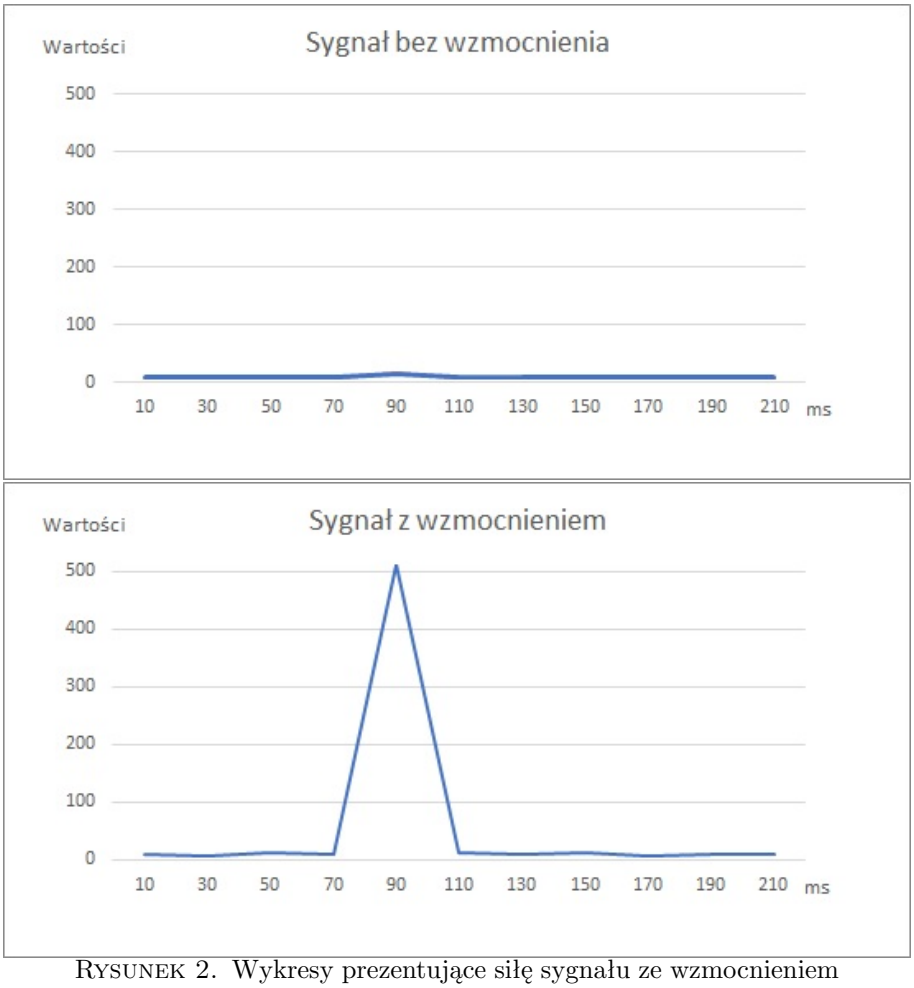
Rysunek 1. Logo projektu ARDUINO

3.2. ATmega 2560 - wzmacniacze różnicowe

Spośród płytek z rodziny Arduino (m.in. Uno, Leonardo, Yum, Nano, Micro, Mega) tylko model Mega posiada mikrokontroler spełniający wymagania projektu. Jest to mikrokontroler ATmega 2650 posiadający wzmacniacze różnicowe. Przetworniki ADC wbudowane w mikrokontroler są 10-cio bitowe co oznacza, że zakres otrzymywanych, zdigitalizowanych wartości napięcia jest z przedziału 0-1023, a mierzone napięcie trafiające do przetwornika może być z zakresu 0V - 5V, czyli uzyskany pomiar ma dokładność

4.88mV, a w przypadku pomiaru różnicowego jest to 9.17mV, ponieważ zakres wartości z prztwornika to [-512, +511]. Opór opisanego w rozdziale 2.3 rezystora bocznikującego jest bardzo mały, a to oznacza, że spadek napięcia mierzony na nim również jest niewielki, czyli rozbieżność wartości określająca czy serwo jest w trakcie ruchu czy w spoczynku również jest niewielka i musi być wzmocniona tak, aby odpowiadała zakresowi dynamicznemu przetwornika ADC. Tu z pomocą przychodzi wspomniany wzmacniacz różnicowy, który dodatkowo ma możliwość wzmocnienia sygnału 10 lub 200 razy co oznacza, że powstała różnica jest wzmacniania i dopiero ta wartość trafia do 10-bitowego przetwornika. Dokładność pomiaru, w przypadku wzmocnienia x200, wzrasta do 24 μV w przedziale 0-25 mV.

Przykład wyliczenia ΔU dla rezystancji opornika $R = 0.1\Omega$ i prądu $I = 0.005A$:
$\Delta U = R \cdot I = 0.1\Omega \cdot 0.05A = 0.005V = 5mV$



Rysunek 2. Wykresy prezentujące siłę sygnału ze wzmocnieniem i bez

Wyżej opisana operacja powoduje diametralne zwiększenie rozbieżności między wartościami prądów w różncyh stanach pracy serwomechanizmu.

3.3. Transmisja szeregowa ARDUINO <=> PC oraz przyjęty protokół danych

Transmisja szeregowa polega na szeregowym wysyłaniu i odbieraniu symboli, czyli jeden po drugim. W Arduino odbywa się to za pomocą wbudowanego portu USB. Zainicjowany w programie BaudRate (liczba symboli na sekundę) jest równa ilości bitów przesyłanych na sekundę, ponieważ standard USB 2.0 posługuję się tylko dwoma stanami 0 i 1 dla odpowiednich napięć. Została ustawiona jedna z domyślnych przepustowości i wynosi 57600 bps (bod per second).

W celu zapewnienia porozumienia między urządzeniami została opracowana pewna konwencja przesyłania informacji. Przesyłane i odbierane są ciągi znaków, które kolejno są analizowane przez programy na urządzeniach. Informacje są przesyłane tylko podczas wykonywania interakcji tak, aby nie zapełnić buforów w płytce, ponieważ mikrokontroler ma ograniczone zasoby. W momencie wystąpienia przeciążenia Arduino wysyła sekwencję znaków: $D_n : val$, gdzie n jest numerem serwa, a val jest wartością odczytaną za pomocą różnicowego pomiaru na tym właśnie serwie. Arduino odbiera również sygnały sterujące z komputera w postaci: $S_n : pos$, gdzie n jest numerem wybranego serwa, a pos jest pozycją w jakiej serwo ma się ustawić i ze względu na ograniczenia, w postaci plastikowych elementów montażowych wartość ta jest z zakresu 10-140, które oznaczają kąt w stopniach.

3.4. Brak pomiaru różnicowego w interfejsie programowym ARDUINO - działania na rejestrach mikrokontrolera

W związku z występowaniem wzmacniaczy różnicowych tylko w modelu Mega, Arduino nie udostępnia w interfejsie funkcji do łatwego wykonywania takich pomiarów. Rozwiązaniem jest napisanie własnych funkcji, które bezpośrednio ustawiają odpowiednie bity w rejestrach mikrokontrolera, o których można przeczytać w dokumentacji ATmegi 2560 [**3**]. Należy ustawić porty, do których podłączone są elementy wymagające pomiaru, wartości referencyjne, z którymi sygnał będzie porównywany - tu został ustawiony na port sygnał z portu zewnętrznego, do którego nic nie jest podłączone. Bity w opisywanych rejestrach są też zmieniane przez mikrokontroler, co na przykład oznacza ukończony pomiar, gotowy do odczytu. Zamieszczony niżej fragment kodu zawiera funckje do inicjalizacji i wykonywania różnicowych pomiarów napięcia:

```
1 void initdiff(){    // definition of initialization function
2         ADCSRA=(1<<ADEN)|(1<<ADPS2)|(1<<ADPS1)|(1<<ADPS0);
3         ADMUX = (1<<REFS0) |(0<<REFS1);       // set reference voltage
4         ADMUX |= (1<<MUX3)|(1<<MUX1)|(1<<MUX0);  // set  ports to read voltage (
              particular)
5 }
6 void adc1() {
7         ADCSRB = (0<<MUX5);    // set read port on A0 and A1
```

```
8  }
9  void adc2() {
10         ADCSRB = (1<<MUX5);    // set read port on A8 and A9
11 }
12 uint16_t do_adc() {    // defintion of read function
13         ADCSRA |= (1<<ADSC); //Start an ADC conversion by setting the ADSC bit.
14         while(!(ADCSRA & (1<<ADIF)));  //Wait for the conversion to finish. The
               ADC signals that it's finished
15         ADCSRA|=(1<<ADIF);
16         return ADC;  //Return the ADC result from the ADC register.
17 };
```

Cały kod dostępny jest w repozytorium na platformie GitHub, do którego link podano na wstępie pracy.

ROZDZIAŁ 4

Aplikacja komputerowa GUI

4.1. Wybór języka programowania

Praktycznie każdy z powszechnie znanych języków oprogramowania udostępnia biblioteki lub funkcje wbudowane pozwalające na inicjowanie i komunikację z urządzeniami za pomocą transmisji szeregowej z wykorzystaniem portu szeregowego (emulowanego przez sterownik FTDI). Mnóstwo języków umożliwia też proste przygotowanie graficznej reprezentacji danych, dlatego pojawia się oczywiste logiczne pytanie: Dlaczego .NET C# ?

Składnia programu pisanego w środowisku Arduino do złudzenia przypomina składnię C++ - jest to właściwie C++ z dodanymi funkcjami do obsługi mikrokontrolera - dlatego dla zachowania jednolitości i prostego zrozumienia kodu naturalnym byłoby wybranie C++ dla napisania aplikacji komputerowej. Ponadto C# posiada wiele wbudowanych modułów do transmisji szeregowej, rysowania wykresów i prostego tworzenia GUI, co znacznie ułatwia implementację [**4**].

Rysunek 1. Logo Microsoft Visual C#

4.2. Struktury użyte w aplikacji oraz wykrywanie przeciążeń serwomechanizmów

C# jest językiem wysokopoziomowym, obiektowym więc każda użyta struktura jest klasą lub należy do klasy. Napisany program komputerowy zbiera informacje o aktualnych przeciążeniach serw oraz poddaje je analizie. Otrzymane sygnały są często skrajne - dla braku przeciążeń pojawiające się wartości poboru prądu są mniejsze od 10-ciu jednostek ADC, natomiast w momencie pojawienia się samego ruchu serwa wartości te przekraczają 500 [a.u.]. Sposobem wykrycia przeszkody i blokady serwa, a nie samego ruchu, jest zebranie informacji z pewnego odcinka czasu i obliczenie kroczącej średniej arytmetycznej odczytów, ponieważ po wykonaniu ruchu otrzymywane wartości ponownie maleją. Do zmagazynowania informacji nadchodzących

z mikrokontrolera wykorzystano zmodyfikowaną kolejkę FIFO - domyślna kolejka zaimlememntowana w C# jest oparta o listę wskaźnikową, czyli teoretycznie o nieskończonej pojemności i braku dostępu do konkretnej liczby elemetnów wstecz. Spersonalizowana kolejka posiada konkretnie zdefiniowaną wielkość, co oznacza, że w przypadku przepełnienia kolejki kolejny element nie zostanie bezpośrednio dodany - wcześniej zostanie skasowany najstarszy element. Średnią arytmetyczną ostanich wartości można obliczyć sumując wartości wszystkich przechowywanych elementów za pomocą funckji *foreach* oraz podzielić otrzymaną wartość przez głębokość zdefiniowanej kolejki. Wielkość ta jest zależna od szybkości napływania danych z mikrokontrolera oraz zamierzonej ilości ostanich sekund, z których jest obliczana wspomniana średnia.

```
1 public float Average()   // calculate average based on all values in queue
2 {
3         int sum = 0;
4         foreach (int obj in myQ)
5         sum += obj;
6         return sum / size;
7 }
```

Jak opisano w rozdziale 3.3 informacje o przeciążeniach są wysyłane tylko w momencie występowania przeciążeń, czyli wysokich wartości napięcia zmierzonego na boczniku, natomiast informacje do kolejki w aplikacji komputerowej muszą trafiać stale, dlatego mikrokontroler wysyła też jedną nieprzeciążoną wartość, a wątek w programie periodycznie kopiuje tę wartość i wstawia do kolejki, a tym samym średnia wartość spada zgodnie z założeniem, nie nadużywając buforów mikrokontrolera.

4.3. Inicjalizacja połączenia i sterowanie serwami - ciąg dalszy przyjętego protokołu danych

W programie wykorzystano domyślny moduł do komunikacji szeregowej. Funckje w nim zawarte pozwalają w łatwy sposób otworzyć port komunikacyjny, zainicjować połączenie z odpowiednimi parametrami oraz odczytywać i wysyłać dane. Jako że to aplikacja sprawdza występowanie przeciążeń na serwach, nie mogą one zostać podłączone przez układ mikrokontrolera jeśli nie zostanie zainicjowanie połączenie z programem na PC. Zostało to zrealizowane w następujący sposób:

1 Mikrokontroler po uruchomieniu wysyła periodycznie specjalne hasło *IamGOD*, które zostało podane w implementacji.
2 To samo hasło zostało podane w kodzie programu komputerowego - program po otwarciu portu sprawdza, czy otrzymywane hasło zgadza się z podanym w kodzie.
3 Po zweryfikowaniu urządzenia program wysyła do mikrokontolera swój kod (ten sam), a mikrokontroler porównuje hasło wbudowane i otrzymane.

4 Po zweryfikowaniu kodu, mikrokontroler uruchamia sterowanie serwami.

Po zamknięciu aplikacji oraz wykryciu przeciążenia program wysyła do mikrokontrolera polecenie inicjujące odłączenie serw *exit* oraz *break*, aby uniknąć ich zniszczenia. Gdy średnia prądów mierzonych na boczniku spadnie poniżej pewnego, zadanego poziomu zostaje wysłane polecenie *continue*, które wymusza ponowne podłączenie serw.

4.4. Prezentacja danych

Aplikacja komputerowa została napisana wykorzystując środowisko Visual Studio 2015. Jedną z klas wbudowanych w C# oraz narzędziem oferowanym w "Visualowym ToolBoxie" jest Chart, czyli z języka angielskiego "Wykres". Udostępnia on intuicyjny interfejs, w którym wystarczy wybrać typ wykresu, typ linii łączącej punkty wykresu (np. spline), kolorystykę, legendę, a w trakcie działania programu dodawane są wartości do aktualnego czasu i wpisywane w wykres. Dodatkowo za pomocą wbudowanej w klasę funckji wykres jest przeskalowywany względem osi Y dla lepszej czytelności w przypadku dłuższego pojawiania się podobnych wartości. (wykresy z programu)

Interwał czasowy z jakim wprowadzane są dane do wykresu musi być równy interwałowi z jakim przychodzą dane z mikrokontrolera, a właściwie z jakim dane wpływają do kolejki opisanej w rozdziale 5.2 tak, aby wprowadzane wartości nie dublowały się oraz nie zostały pominięte. (być może fragment kodu)

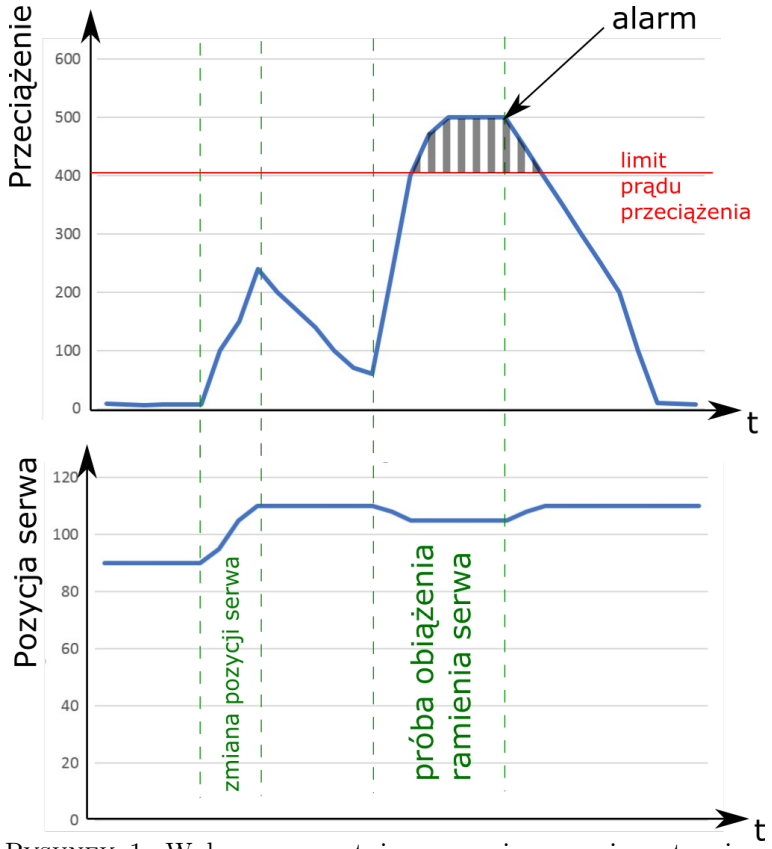
4.5. Wykorzystanie kontrolera gier do sterowania ramieniem

Do aplikacji zaimplementowano dodatkową funckjonalność jaką jest możliwość sterowania ramieniem robota za pomocą kontrolera do gier. W tym celu wykorzystano otwartoźródłowe API (Application Programming Interface) do DirectX o nazwie SlimDX, które jest przeznaczone głównie do tworzenia gier pod platformą .NET, ale w tym przypadku posłużyło do oprogramowania kontrolerów do gier. Interfejs, który udostępnia SlimDX, jest uniwersalny i implementacja jednego kodu pozwala na używanie różnego typu kontrolerów do gier - joysticków, gamepadów, kierownic itd. Do użycia wystarczy zaledwie podłączyć kontroler do komputera wraz z zainstalowanymi sterownikami do urządzenia, uruchomić aplikację i spośród listy dostępnych urządzeń wybrać to interesujące. (screen z aplikacji z podkreślniem opcji wyboru) (tu być może oopiszę mój kontroler z małą instrukcją obsługi)

ROZDZIAŁ 5

Podsumowanie oraz przykłady wykorzystania projektu

Realizacja opisywanego projektu przebiegła pomyślnie - opracowano układ i algorytm pozwalający na odpowiednie sterowanie ramieniem robota zabezpieczając przy tym serwa przed przeciążeniami. Program alarmuje użytkownika o zaistniałych, groźnych przeciążeniach - są one rozróżniane od przeciążeń powstających przy zmianie pozycji serwa.



Rysunek 1. Wykresu prezentujące pozycję serwa i występujące przeciążenia w czasie

Technologię wykrywania przeciążeń opisaną w powyższej pracy, przy odpowiednim doborze parametrów części elektronicznych, można zastosować niemal w każdym urządzeniu wymagającym takiej kontroli, dlatego ilość zastosowań jest praktycznie nieskończona. Mogą to być nie tylko serwa, ale również standardowe silniki, siłowniki, pompy itp. Do najbardziej oczywistych zastosowań prezentowanego projektu należy system poruszania się i przesuwania przeszkód w eksploratorach obszarów czy łazikach pozaziemskich - poruszanie się na np. sześciu kończynach podobnych do pajęczych jest dużo bardziej odporne na utrudnienia terenu, niż koła czy gąsienice.

Rysunek 2. Przykładowy model robota, w którym można zastosować serwa z pomiarem przeciążeń

Innym przykładem są modele samolotów, w których układ sterowania lotek często realizowany jest za pomocą serwomechanizmów. Silne opory powietrza mogą zniszczyć mechanizm, a więc za pomocą systemu użytkownik dostanie ostrzeżenie o takiej możliwości i sugestię zaprzestania lotów.

Rysunek 3. Model samolotu, wymagającego serw do sterowania

Prototypy linii montażowych w fabrykach, a właściwie ramion pracujących na linii to również przykład, w którym wymagane jest kontrolowanie

znaczącej liczby serw i silników. W przypadku awarii firma poniesie ogromne straty produkcyjne, jak również ucierpieć mogą pracownicy obsługujący maszyny - odpowiedni system może temu przeciwdziałać. Identyczna sytuacja jak i konsekwencje mogą się pojawić w przypadku braku kontroli "łyżek" w koparkach.
W pracy wykorzystano informacje i wiedzę z zakresu:

- **elektroniki** (pomiar natężenia prądu z użyciem bocznika, pomiar różnicowy, przetwarzanie ADC)
- **programowania mikrokontrolerów** (dogłębne poznanie funkcji ADC w ATmegach, transmisja szeregowa danych z potwierdzeniem, protokoły danych)
- **programowania GUI** (C#, średnie kroczące, HIDy, grafika, obsługa portów szeregowych)
- **mechaniki** (budowa serwomechanizmów, ramion robota itp.)

Bibliografia

[1] B.M. Oliver, J.M. Cage, *Pomiary i przyrządy elektroniczne*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1978

[2] https://www.arduino.cc/

[3] *Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V DATASHEET*, Atmel Corporation, 2014

[4] I. Griffiths, M. Adams, J. Liberty, *C#. Programowanie. Wydanie VI*, Helion, 2012