



**Uniwersytet Jagielloński 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 Zuzła  
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 vfill

## Spis treści

Wstęp	4
Rozdział 1. Ogólne przedstawienie problemu	5
1. Budowa ramienia robota - założenia	5
2. Dobór podzespołów i technologii	5
Rozdział 2. Opis wybranych technologii	7
1. Czym są serwa ? - zasada działania i ich specyfikacja	7
2. Pomiar różnicowy - na czym polega ? Przewaga nad innymi rozwiązaniami	9
3. Przygotowany rezystor bocznikujący - dobór parametrów części	10
Rozdział 3. Program dla mikrokontrolera	12
1. Środowisko ARDUINO	12
2. ATmega 2560 - wzmacniacze różnicowe	12
3. Transmisja szeregową ARDUINO i PC oraz przyjęty sposób oznaczania danych	14
4. Brak pomiaru różnicowego w interfejsie ARDUINO - działania na rejestrach mikrokontrolera	14
Rozdział 4. Aplikacja komputerowa	16
1. Wybór języka programowania	16
2. Struktury użyte w aplikacji oraz wykrywanie przeciążeń serwomechanizmów	16
3. Inicjalizacja połączenia i sterowanie serwami - przyjęta konwencja oznaczania danych	17
4. Prezentacja danych	18
5. Wykorzystanie kontrolera gier do sterowania ramieniem	18
Rozdział 5. Podsumowanie oraz przykłady wykorzystania projektu	19
Bibliografia	21

## Wstęp

Wybór tematu poniższej pracy jest uzasadniony zainteresowaniami 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 ogólniedostępne 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 rozważań użytkowników. Są to uszkodzenia mechaniczne, polegające na spalaniu 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)

Autor pragnę zaprosić do czytania i refleksji nad opisywanymi problemami.

## Ogólne przedstawienie problemu

### 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 (mysz lub joystick często wykorzystywany w grach) oraz odporność na przeciążenia spowodowane napotkanymi przeszkodami.

### 2. Dobór podzespołów i technologii

Do budowy stawów, o których mowa w rozdziale 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 płytki prototypowa Arduino Mega, oparta o mikrokontroler ATmega 2560, który charakteryzuje się 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 spalaniem. Opisywana płytka prototypowa posiada złącze USB typu B, które pozwala na podłączenie jej do komputera w celu zaprogramowania oraz zapewnienia transmisji szeregową, 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.

## Opis wybranych technologii

### 1. Czym są serwa ? - zasada działania i ich specyfikacja

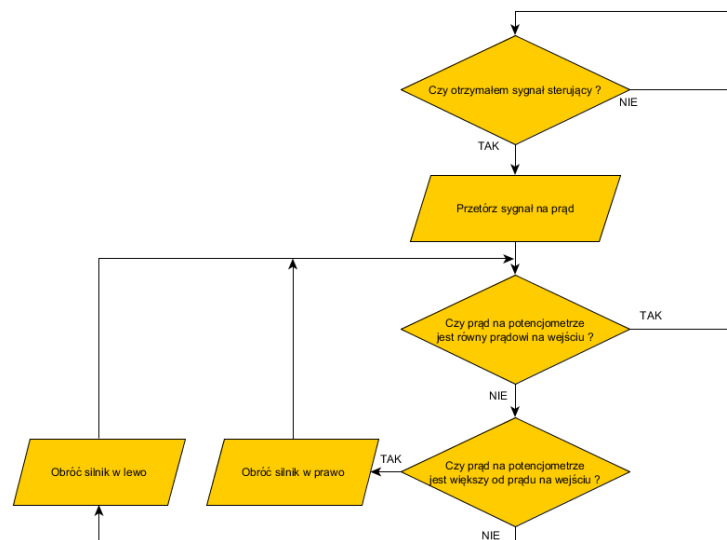
Serwa, a właściwie serwomechanizmy są podstawowymi elementami wykorzystywanymi w modelarstwie. Dzięki nim możliwe są ruchy różnego typu części składowych modelu pozwalających na sterowanie, na przykład serwa realizują wychylenia osi w modelach pojazdów, co umożliwia ich skręcanie. Podstawowymi elementami,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

- Silnik napędowy sterowany prądem stałym
- Potencjometr
- Wewnętrzny układ, który steruje pracą silnika
- Przekładnia zębata, pozwalająca uzyskać moc i 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 takim jest SG90 to 50 Hz. W serwach cyfrowych jest to 300 Hz i takie serwa mają większą precyzję. Dzięki tranzystorom wbudowanym w mikrokontroler ATmega oraz funkcją wbudowanym w Arduino wytworzenie takiego sygnału jest bardzo proste - inicjujemy go wartością jednobajtową czyli z zakresu 0-255. 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.



Do silnika przymocowany jest potencjometr, który obraca się wraz z obrotem silnika, czyli zmienia się rezystancja prądu - jest to informacja o aktualnym położeniu serwa. Prąd ten trafia do komparatora, gdzie jest porównywany z podanym prądem wzorcowym (sygnałem sterującym). Wytworzony w komparatorze prąd 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 uzyskania pożądanego efektu.



Serwomechanizmy dzielimy na grupy, a podział ten jest realizowany ze względu na wagę oraz materiały, z których jest wykonane serwo. W opisywanym projekcie serwa jakie są wykorzystywane to SG90 firmy Tower Pro. Jest to serwo z grupy micro, czyli takie o wadze do 10 gram, a to ma 9 g, oraz o plastikowych przekładniach zębatych. Inne grupy serw to:

- mini - o wadze około 25 g oraz metalowych lub karbonowych przekładni, a tym samym generujące większy moment siły
- tandard - 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 s
- 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

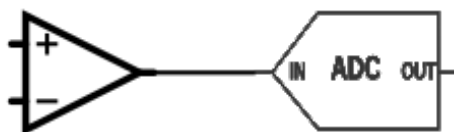




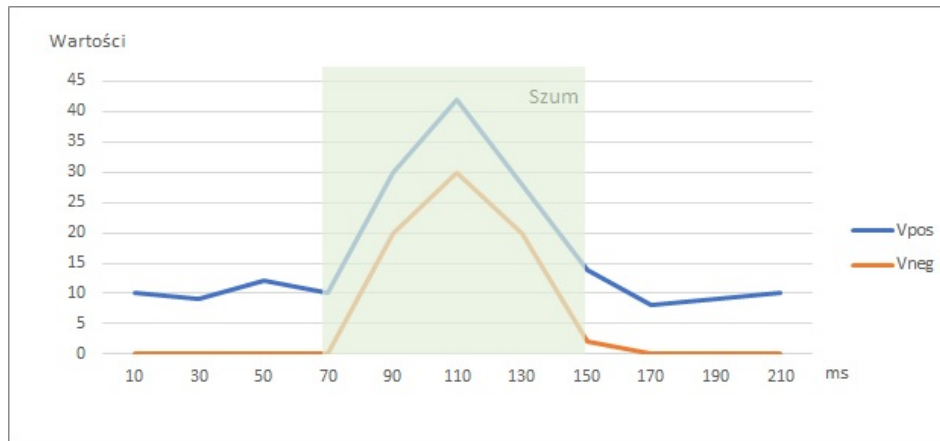
## 2. Pomiar różnicowy - na czym polega ? Przewaga nad innymi rozwiązaniami

W rozdziale 2.1 została opisana zasada ustalania i zmian pozycji serwa, która polega na porównywaniu prądów. Są to prądy dotyczące 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 spalenia silnika lub uszkodzenia przekładni zębatych. Założeniem projektu jest uniknięcie takich sytuacji. Wybrany rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie rezystora bocznikującego oraz wykonywanie różnicowego pomiaru napięcia, które na nim panuje.

Różnicowy pomiar napięcia polega na podłączeniu dwóch bezpośrednich końców badanego elementu do komparatora, a dopiero prąd na wyjściu komparatora trafia do przetwornika ADC (Analog-¿Digital Converter).



Zaletą tego rozwiązania jest odporność na ewentualne szумы, 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 będzie taka sama niezależnie od zaburzeń.



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 możemy 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 szумы, dlatego wybrane do opisywanego projektu rozwiązanie polegające na różnicowym pomiarze napięcia wydaje się być jednym z najlepszych.

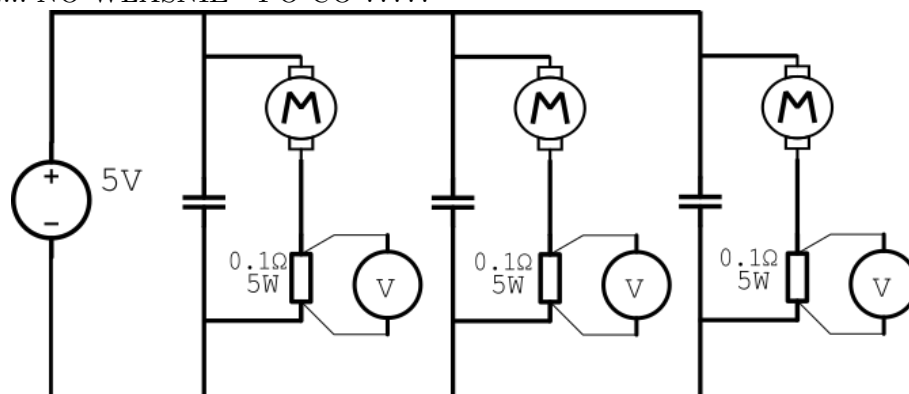
### 3. Przygotowany rezystor bocznikujący - dobór parametrów części

Jak opisano w rozdziale 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 prądu. Na potrzeby projektu powstała płytka z prostym układem umożliwiającym opisywane pomiary. Zastosowano rezystor bocznikujący o oporze 0.1 Ohm i maksymalnej wydzielanej mocy do 5 W,

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! CZY NA PEWNO W TYM CHODZI O TO 5 W ????????

który został podłączony szeregowo z silnikiem - powstał w ten sposób dzielnik napięcia. W trakcie wykonywania ruchów przez serwo, prąd na rezystorze rośnie. Dodatkowo w układzie zastosowano kondensatory 10 mikroF 63V

podłączone równoległe między napięciem a masą, aby ....  
!!!! NO WŁAŚNIE - PO CO ????



## Program dla mikrokontrolera

### 1. Środowisko ARDUINO

Arduino jest to elektroniczna platforma z otwartym źródłem, która pozwala na proste programowanie wcześniej przygotowanych mikrokontrolerów. Arduino udostępnia interfejs, który w intuicyjny sposób pozwala wykonywać złożone operacje na rejestrach 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 programator FTDI, a twórcy udostępniają proste środowisko programistyczne z wbudowanym kompilaotem dzięki czemu szereg operacji wymaganych przy typowym programowaniu procesorów AVR sprowadza się do napisania kodu, podłączenia płytki do portu USB i kliknięcia przycisku 'PROGRAMUJ'.

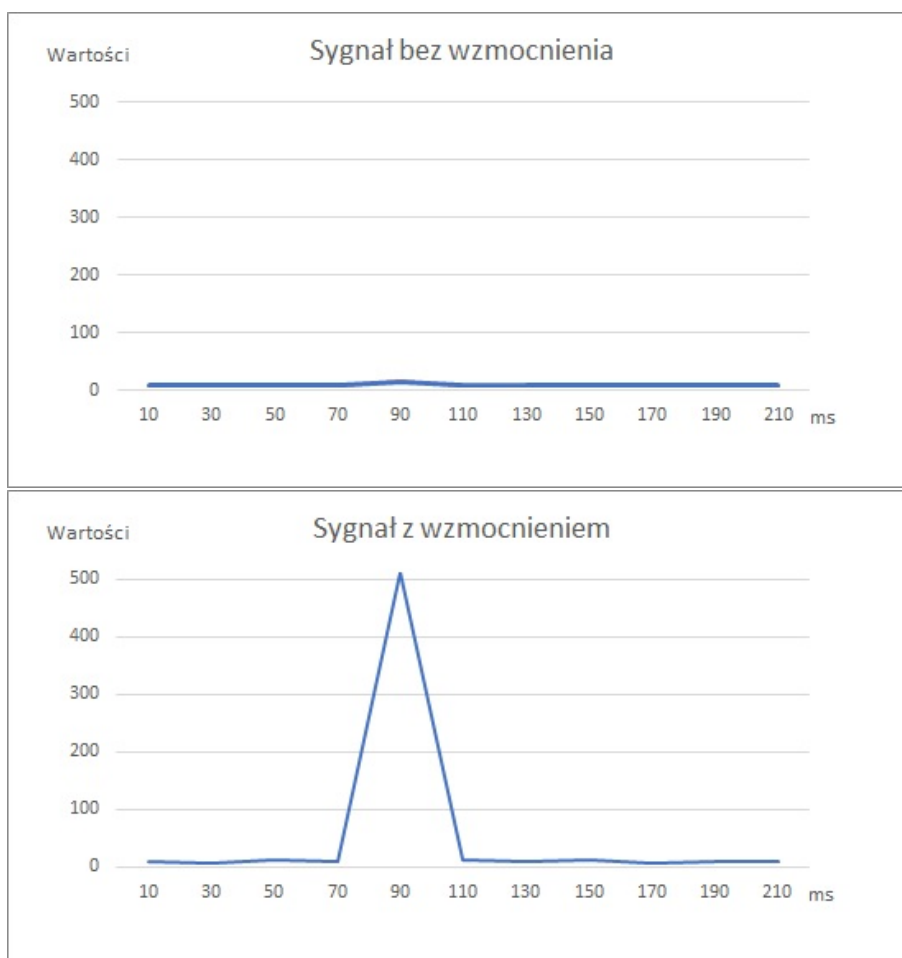


### 2. ATmega 2560 - wzmacniacze różnicowe

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 mikrokontrolery są 10-cio bitowe co oznacza, że zakres otrzymywanych wartości jest z przedziału 0-1023, a mierzony prąd trafiający do przetwornika może być z zakresu 0V - 5V, czyli uzyskany pomiar ma dokładność  $\pm 4.88\text{mV}$ , a w przypadku pomiaru różnicowego jest to  $\pm 9.17\text{mV}$ , ponieważ zakres wartości z przetwornika to -511 - +511, a uwzględniane są tylko pozytywne lub negatywne wartości. Opór opisanego w rozdziale 2.3 rezystora bocznikującego jest bardzo mały, a to oznacza, że różnica mierzona na nim również jest niewielka, czyli rozbieżność

wartości określająca czy serwo jest w trakcie ruchu czy w spoczynku również jest znikoma i może być przekłamana przez różne szумы. Tu z pomocą przychodzi wspomniany wzmacniacz różnicowy, który oprócz porównania wejściowych wartości ma możliwość wzmocnienia sygnału o 10 lub 200 razy co oznacza, że powstała z komparatora różnica jest wzmacniania i dopiero ta wartość trafia do 10-bitowego przetwornika czyli dokładność pomiaru, w przypadku wzmocnienia x200, wzrasta do  $\pm 24$  mikroV w przedziale 0-25 mV.

CHYBA !!!! SPR



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

### 3. Transmisja szeregową ARDUINO i PC oraz przyjęty sposób oznaczania danych

Transmisja szeregową 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 czyli ilość zmian sygnału w ciągu sekundy (ilość symboli na sekundę) jest równa ilości bitów przesyłanych na sekundę, ponieważ standard USB 2.0 posługuje się tylko dwoma stanami 0 i 1 dla odpowiednich napięć. Została ustawiona jedna z domyślnych przepustowości i wynosi 9600 bps.

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 zapelniać buforów w płytce, ponieważ to urządzenie ma ograniczone zasoby. W momencie wystąpienia przeciążenia Arduino wysyła sekwencję znaków: Dn: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: Sn:pos , gdzie n jest numerem wybranego serwa, a pos jest pozycją w jakiej sero ma się ustawić i ze względu na ograniczenia, w postaci plastikowych elementów montażowych wartość ta jest z zakresu 10-140, które oznaczają kąt w st.

### 4. Brak pomiaru różnicowego w interfejsie 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 ATmega 2560. 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, ponieważ istota tkwi w wartościach płynących przez bocznik. Bity w opisywanych rejestrach są też zmieniane przez mikrokontroler, co na przykład oznacza ukończony pomiar, gotowy do odczytu. Zamieszczony niżej fragment kodu zawiera funkcje do inicjalizacji i wykonywania różnicowych pomiarów napięcia:

```
void initdiff(){ // definition of initialization function
    ADCSRA=(1<<ADEN)|(1<<ADPS2)|(1<<ADPS1)|(1<<ADPS0);
    ADMUX = (1<<REFS0) |(0<<REFS1); // set reference voltage
    ADMUX |= (1<<MUX3)|(1<<MUX1)|(1<<MUX0); // set
ports to read voltage (particular)
}
```

```

void adc1() {
    ADCSRB = (0<<MUX5);    // set read port on A0 and A1
}
void adc2() {
    ADCSRB = (1<<MUX5);    // set read port on A8 and A9 ??
}
uint16_t do_adc() {        // defintion of read function
    ADCSRA |= (1<<ADSC); //Start an ADC conversion by setting the ADSC
    while(!(ADCSRA & (1<<ADIF))); //Wait for the conversion to finish
    ADCSRA|=(1<<ADIF);
    return ADC; //Return the ADC result from the ADC register.
};

```

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

## Aplikacja komputerowa

### 1. Wybór języka programowania

Praktycznie każdy z powszechnie znanych języków oprógramowania udostępnia biblioteki lub funkcje wbudowana pozwalające na inicjowanie i komunikację z urządzeniami za pomocą transmisji szeregowej. Mnóstwo języków umożliwia też proste przygotowanie graficznej reprezentacji danych, dlatego pojawia się oczywiste logiczne pytanie: Dlaczego .NET C# ?

Składnia progrmau 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. Niestety wykorzystane w programie komponenty, a właściwie sposób ich implementacji, jest uzależniony od systemu operacyjnego, a jak już zostało napisane Arduino jest środowiskiem pozwalającym na skompilowanie tego samego kodu niezależnie od systemu. Rozwiązaniem jest wybranie języka wymagającego pośredniej maszyny wirtualnej do uruchomienia programu. Najbardziej znanymi i mocno rozwijanymi językami spełniającymi powyższe wymaganie jest Java i C#, ale to właśnie ten drugi ma interfejs bardziej zbliżony do C++.



### 2. Struktury użyte w aplikacji oraz wykrywanie przeciążeń serwomechanizmów

C# jest językiem wysokoobiekowym 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 blisko skrajne - dla braku przeciążeń pojawiające się wartości są mniejsze od 10, natomiast w momencie pojawienia się samego ruchu serwa wartości te przekraczają 500. Sposobem wykrycia przeszkody i blokady serwa, a nie samego ruchu jest zebranie informacji z pewnego odcinka czasu



i obliczenie średniej arytmetycznej, ponieważ po wykonaniu ruchu otrzymywane wartości ponownie maleją. Do zmagazynowania informacji nadchodzących z mikrokontrolera wykorzystano zmodyfikowaną kolejkę - domyślna kolejka zaimplementowana w C# jest oparta o listę wskaźnikową, czyli teoretycznie o nieskończonej pojemności i braku dostępu do konkretnej ilości elementów 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 ostatnich wartości można obliczyć sumując wartości wszystkich przechowywanych elementów za pomocą funkcji `foreach` oraz podzielić otrzymaną wartość przez wielkość zdefiniowanej kolejki. Wielkość ta jest zależna od szybkości napływania danych z mikrokontrolera oraz zamierzonej ilości ostatnich sekund, z których jest obliczana wspomniana średnia.

!!!! (MOŻE)(tu fragment kodu)

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

### **3. Inicjalizacja połączenia i sterowanie serwami - przyjęta konwencja oznaczania danych**

W programie wykorzystano domyślną bibliotekę do komunikacji szeregowej. Funkcje pozwalają w łatwy sposób otworzyć port komunikacyjny, zainicjować połączenie z odpowiednimi parametrami oraz odczytywanie i wysyłanie danych. Jako że to aplikacja sprawdza występowanie przeciążeń na serwach, nie mogą one zostać podłączone jeśli nie zostanie zainicjowane połączenie z programem. Zostało to zrealizowane w następujący sposób:

- 1 Mikrokontroler po uruchomieniu wysyła okresowo specjalne hasło "I am GOD", które zostało podane w implementacji.
- 2 To samo hasło zostało podane w kodzie programu komputerowego - program po otwarciu portu sprawdza czy otrzymywany kod zgadza się z podanym w kodzie
- 3 Po zweryfikowaniu urządzenia program wysyła do mikrokontrolera swój kod (ten sam), a mikrokontroler porównuje hasło wbudowane i otrzymane.
- 4 Po zweryfikowaniu kodu, mikrokontroler podłącza serwa - wtedy zaczyna stawiać opór na nacisk.

Po zamknięciu aplikacji oraz wykryciu przeciążenia program wysyła do mikrokontrolera polecenie inicjujące odłączenie serw "exit" oraz "break",

aby uniknąć ich zniszczenia. Gdy średnia prądów występujących na dzielniku napięcia spadnie poniżej pewnego poziomu zostaje wysłane polecenie "continue", które wymusza ponowne podłączenie serw. Program wysyła sygnał ustalenie pozycji serw w postaci: Sn:pos , gdzie n jest numerem wybranego serwa, a pos jest pozycją z zakresu 10-140 w jakiej sero ma się ustawić.

#### 4. Prezentacja danych

Aplikacja komputerowa została napisana wykorzystując środowisko Visual Studio 2015. Jedną z klas wbudowanych w C# oraz narzędziem oferowanych w Visualowym ToolBoxie jest Chart czyli z języka angielskiego "Wykres". Udogodnia intuicyjny interfejs, w którym wystarczy wybrać typ wykresu, typ splajnu, kolorystykę, agendę, a w trakcie działania programu podawane są wartości od aktualnego czasu i wpisywane w wykres. Dodatkowo za pomocą wbudowanej w klasę funkcji 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 inwerwałowi 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)

#### 5. Wykorzystanie kontrolera gier do sterowania ramieniem

Do aplikacji zaimplementowano dodatkową funkcjonalność 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 załadować 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 opiszę mój kontroler z małą instrukcją obsługi)

## ROZDZIAŁ 5

### Podsumowanie oraz przykłady wykorzystania projektu

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 pozaziemnych - poruszanie się na np sześciu kończynach podobnych do tych u pająków jest dużo bardziej odporne na utrudnienia terenu, niż koła czy gąsienice.



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



Prototypy linii montażowych w fabrykach, a właściwie ramion pracujących na linii to również przykład, w którym wymagane jest kontrolowanie sporej ilości serw i silników, w przypadku awarii firma poniesie ogromne straty produkcyjne, jak również ucierpieć mogą pracownicy obsługujące maszyny - odpowiedni system może temu przeciwdziałać. Identyczna sytuacja jak i konsekwencje mogą się pojawić w przypadku braku kontroli "łyżek" w koparkach.

## Bibliografia

Wszystkie książki, artykuły oraz naukowe strony internetowe wzmiankowane w pracy muszą znaleźć się wraz z dokładnymi danymi bibliograficznymi w referencjach na końcu pracy. Ponadto każda referencja umieszczona w bibliografii musi być wymieniona choć jeden raz w głównym tekście pracy magisterskiej. Najpierw w bibliografii umieścić należy książki i artykuły posortowane rosnąco według nazwiska autora (jeśli jest kilku autorów, to do sortowania używamy tego nazwiska, które jest najwcześniejsze w porządku leksykograficznym). Po książkach i artykułach umieszczamy listę cytowanych stron sieciowych w kolejności alfabetycznej (uwaga, wolno cytować jedynie wiarygodne strony naukowe, np. MathWorld. Strony z publiczną możliwością edycji zawartości, np. Wikipedia, dla naszych potrzeb NIE SĄ uznawane za wiarygodne źródła!).

Książki i artykuły należy opisywać ściśle wg przykładów podanych poniżej, pilnując aby wszystko się zgadzało do ostatniej kropki i ostatniego przecinka (łącznie z krojem pisma i wytłuszczeniami). Jest ustalona osobna kolejność podawania danych dla książek i osobna dla artykułów. Nazwy czasopism matematycznych umieszczamy w bibliografii w ich oficjalnej formie skrótovej, którą znaleźć można na stronie <http://ams.rice.edu/mathscinet/search.html> (zakładka journals, strona powinna być dostępna z komputerów w Instytucie Matematyki).

Proszę zwrócić uwagę, że komenda \bibitem nadaje nazwę każdej pozycji w bibliografii. Aby odwołać się do niej w głównym tekście pracy postępujemy następująco: ta hipoteza została postawiona w [2].

To wszystko. W razie problemów pomocą służą Google oraz Państwa promotor. Życzę wytrwałości w pracy!

## Bibliografia

- [1] S. Cyganowski, P. Kloeden, J. Ombach, *From elementary probability to stochastic differential equations with MAPLE*, Universitext, Springer-Verlag, Berlin, 2002, str. xvi+310
- [2] M. Kulczycki, *A note on special measure preserving dynamical systems in metric spaces*, Topology Proc. **27** (2003), no.1, 211–216
- [3] <http://ams.rice.edu/mathscinet/search.html>