



**POLSKO-JAPOŃSKA AKADEMIA
TECHNIK KOMPUTEROWYCH**

**WYDZIAŁ INFORMATYKI
KATEDRA SIECI KOMPUTEROWYCH
SIECI URZĄDZEŃ MOBILNYCH**

Kamil Kacprzak
s14004

**Rozwój technologii wirtualnej
rzeczywistości na przykładzie
rękawicy-kontrolera**

**Praca inżynierska
dr inż. Michał Tomaszewski**

Warszawa, Czerwiec, 2020

Spis treści

1	Wstęp	1
2	Zagadnienia	3
2.1	Czym jest wirtualna rzeczywistość?	3
2.2	Porównanie dostępnych środowisk do tworzenia aplikacji VR . . .	3
2.3	Porównanie dostępnych SDK	3
2.4	Działanie kontrolerów w VR	3
3	Komponenty rękawicy-kontrolera	4
3.1	Nawigacja inercyjna	4
3.2	IMU - Inercyjna jednostka pomiarowa	4
3.2.1	Żyroskop	4
3.2.2	Akcelerometr	4
3.2.3	Magnetometr	4
3.3	Stopnie swobody	4
3.4	Porównanie Bluetooth z BLE(z ang. Bluetooth Low Energy) . . .	4
3.5	Monitorowanie położenia palców	4
4	Projekt rękawicy	5
4.1	Przegląd podzespołów użytych w projekcie	5
4.1.1	Mikrokontroler	6
4.1.2	Czujnik wygięcia	8
4.1.3	Rezystor	10
4.2	Budowa rękawicy	12
4.3	Oprogramowanie mikrokontrolera	15
4.4	Podsumowanie	25
5	Dedykowana aplikacja w systemie Android	26
5.1	Interfejs	26
5.2	Komunikacja	26
5.2.1	Obsługa Bluetooth Low Energy	26

5.2.2	Pobieranie danych	26
5.3	Google Sceneform SDK	26
5.3.1	Model ręki	26
5.3.2	Rozpoznanie i animacja modelu	26
5.3.3	Dodawanie nowego modelu	26
5.3.4	Rotacja	26
5.3.5	Przesunięcie	26
5.4	Dalszy rozwój aplikacji	26
6	Podsumowanie	27

Spis rysunków

4.1	Opis wejść oraz wyjść Arduino Nano 33 BLE	8
4.2	Sensor wygięcia własnego wykonania	10
4.3	Oznaczenia rezystorów	11
4.4	Układ dzielnika napięcia	12
4.5	Poglądowy układ kontrolera przedstawiający sposób podłączenia dzielnika napięcia	13
4.6	Efekt końcowy rękawicy-kontrolera	16

Streszczenie

Abstract

Rozdział 1

Wstęp

Poniższa praca przedstawia ewolucję rozwiązań oraz problemów z którymi mierzą się współczesne firmy, w celu stworzenia nowych, wydajnych a także intuicyjnych rozwiązań, w tym kontrolerów dla użytkowników świata wirtualnego. Kontrolery w szczególności napotykają wiele problemów ze względu na przeszkody wynikające z natury nawigacji inercyjnej, czyli określenia położenia i orientacji zazwyczaj w środowisku bez punktu odniesienia. Problemy te zostaną opisane w dalszej części tej pracy, a także metody jakie zostały zastosowane aby rozwiązać wspomniane problemy przez liderów branży.

Z biegiem czasu dąży się do jak najbardziej realistycznych rozwiązań, tak aby w pełni oddać naturę świata rzeczywistego w środowisku programowalnym. W tym celu powstały pierwsze komercyjne modele rękawic, pozwalających na ruch w przestrzeni świata wirtualnego, co dało możliwość naturalnego interfejsu pomiędzy użytkownikiem a światem w którym się znajduje. Naturalność tego rozwiązania, oraz potencjał jaki w sobie kryje, sprawiło że wiele firm zaczęło tworzyć własne rozwiązania tego produktu, dodając unikalne właściwości takie jak wibracje symulujące dotyk, punktową imitację nacisku czy też szkielet blokujący naszą dłoń. Rozwój tego rynku oraz chęć inwestycji w tego typu projekty ze strony dużych korporacji pokazuje zapotrzebowanie na tego typu rozwiązanie.

Potencjał który się w tym kryje, oraz brak uniwersalnego rozwiązania jest głównym powodem dla powstania tej pracy.

Celem tej pracy jest stworzenie własnego, uproszczonego kontrolera rękawicy, w celu lepszego poznania znanych problemów dla tego typu urządzeń oraz własnej implementacji ich rozwiązań. Kontroler ten powinien być prosty w wykonaniu, tak aby można było go odtworzyć w domowych warunkach, przy jednoczesnym spełnianiu podstawowych wymagań, które są od niego wymagane takie jak określenie orientacji, położenia oraz momentu zgięcia poszczególnych palców. Ostatecznie dążono do stworzenia aplikacji na system Android, która będzie łączyć się z kontrolerem oraz prezentować przesłane z rękawicy dane. Na podstawie tych informacji zostanie wyświetlony w czasie rzeczywistym model dłoni na ekranie smart-fona, który będzie reagował na zmiany w przesyłanych danych.

Słowa kluczowe: Wirtualna rzeczywistość, Kontroler, Nawigacja inercyjna, Akcelerometr, Żyroskop, Czujnik wygięcia

Rozdział 2

Zagadnienia

TODO:
ch:zagadnienia

- 2.1 Czym jest wirtualna rzeczywistość?**
- 2.2 Porównanie dostępnych środowisk do tworzenia aplikacji VR**
- 2.3 Porównanie dostępnych SDK**
- 2.4 Działanie kontrolerów w VR**

Rozdział 3

Komponenty rękawicy-kontrolera

Opis rękawic na rynku

3.1 Nawigacja inercyjna

INS - inertial navigation system

3.2 IMU - Inercyjna jednostka pomiarowa

Jak dostępne rękawice omijają problem

3.2.1 Żyroskop

3.2.2 Akcelerometr

3.2.3 Magnetometr

3.3 Stopnie swobody

3.4 Porównanie Bluetooth z BLE(z ang. Bluetooth Low Energy)

TODO: BLE section

tak zwany uniwersalny unikalny identyfikator znany pod akronimem UUID (z ang. Universally Unique Identifier).

UUID section?

3.5 Monitorowanie położenia palców

Rozdział 4

Projekt rękawicy

Istotą poniższego rozdziału jest pokazanie użytych w projekcie podzespołów i technologii oraz lepsze zrozumienie powodów dla których to właśnie te produkty zostały wybrane. Po zapoznaniu się z motywem, zostanie szczegółowo opisana specyfikacja tych produktów a także sposób ich poskładania w spójną całość, co sprawiło pewne problemy względem oryginalnego szkicu - próby oraz efekty rozwiązywania tych problemów również zostaną opisane w tym rozdziale. Po nakreśleniu podstawowych założeń projektu zostanie zaprezentowana finałowa wersja, a także szczegółowo zostanie omówiony kod rękawicy-kontrolera, który jest obsługiwany przez mikrokontroler i stanowi najważniejszą część tego projektu. Po zaznajomieniu się z kodem aplikacji, będą zaprezentowane wady oraz możliwe ulepszenia projektu, jakie ukazały się w trakcie prac nad aplikacją obsługującą i wykorzystującą dane z rękawicy, w celu ich prezentacji o czym będzie więcej mowa w rozdziale 5 dotyczącym tejże właśnie aplikacji.

Następny rozdział?

4.1 Przegląd podzespołów użytych w projekcie

Jak dowiedzieliśmy się z rozdziału 3 dotyczącego podstawowych komponentów rękawic, kluczowym dla powodzenia projektu jest ustalenie następujących pozycji:

-
- orientacji dłoni względem punktu początkowego
 - położenia względem punktu początkowego
 - moment i stopień zgięcia palców

W tym celu należy zebrać informacje z czujników, a następnie wszystkie te informacje należy przesłać do pożądanego urządzenia. Elementem które pozwala to osiągnąć w tym projekcie jest mikrokontroler Arduino nano 33 BLE, który odpowiada za dostarczenie informacji z żyroskopu, akcelerometru a także czujników wygięcia. Zasady działania pierwszych dwóch zostały opisane z podrozdziałach 3.2.1 oraz 3.2.2. Natomiast w poniższych podrozdziałach zostanie opisane rozwiązanie zastosowane do odczytu położenia palców, zasada działania przy wykorzystaniu rezystorów oraz sposób połączenia wszystkich wspomnianych elementów w jeden finałowy kontroler.

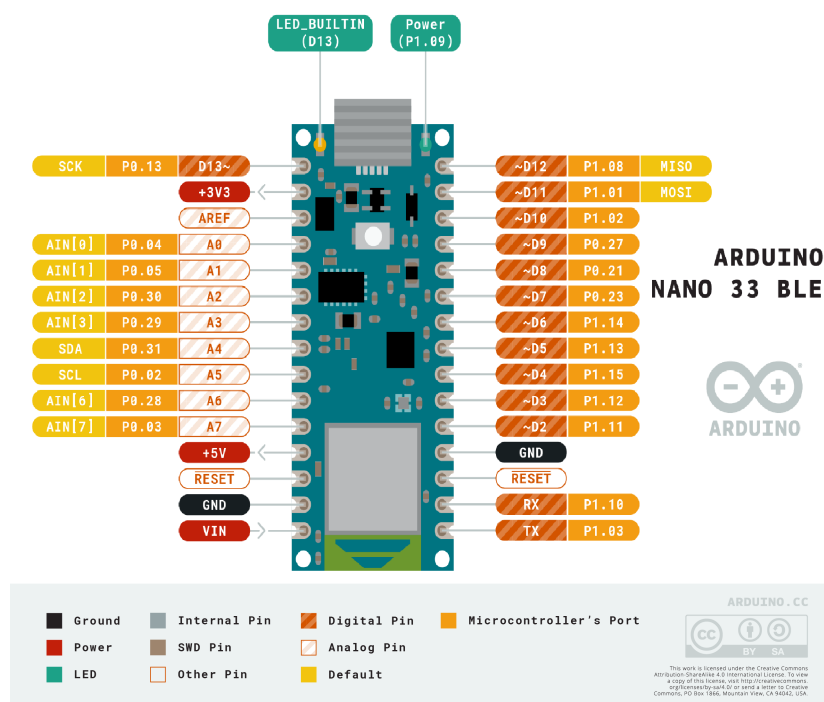
4.1.1 Mikrokontroler

Jak przed chwilą wspomniano, w projekcie wykorzystywana jest płytką od Arduino, która nosi nazwę Nano 33 BLE. Jest to małych rozmiarów płytką o wymiarach 45 x 18 mm, pozwalająca na wysoką wydajność przy jednoczesnym małym poborze prądu, co zapewnia użyty mikrokontroler nRF52480 o taktowaniu 64 MHz. Do dyspozycji mamy również pamięć RAM o pojemności 256 kB oraz pamięć Flash o pojemności 1 MB. IMU które zostało zamontowane na płytce to LSM9DS1, które obsługują akcelerometr, żyroskop oraz magnetometr w trzech osiach. Więcej informacji na temat IMU jest przedstawione w części 4.3. Warto na wstępie zauważyć że Nano 33 BLE pracuje domyślnie wyłącznie z napięciem 3,3 V, w związku z czym nie należy podłączać bezpośrednio zasilania o większym napięciu. W celu podłączenia zasilania 5 V należy zlutować zwórkę znajdującą się pomiędzy pinami RDT oraz A7 - temat ten nie zostaje jednak poruszony w tej

pracy, ponieważ na potrzeby projektu używane jest zasilanie poprzez złącze micro USB które to również jest obsługiwane. Płytką ta posiada wiele użytecznych sensorów, jednak na potrzeby tej pracy została wybrana z powodu wbudowanej inercyjnej jednostki pomiarowej, dzięki czemu można było uprościć konstrukcję oraz zmniejszyć ilość połączeń na rękawicy, wbudowanego modułu Bluetooth - a w tym przypadku modułu Bluetooth Low Energy obsługiwanego w standardzie 5.0, a to wszystko w przystępnej cenie co również było jednym z kryteriów przy tworzeniu tego projektu. Płytkę w momencie tworzenia tej pracy można kupić za 119 zł. Wartym uwagi jest fakt możliwości zakupu płytki bez wyprowadzonych złącz, co w przypadku opisywanego projektu pozwoli na zmniejszenie wymiarów oraz większą swobodę montażu. [4]

Z najważniejszych elementów układu płytki należy wiedzieć że posiada ona dwie diody po dwóch stronach portu micro USB - zielona indykuje podłączone zasilanie, natomiast pomarańczowa zaczyna mrugać gdy jest przesyłany kod do mikrokontrolera. Oprócz tego do dyspozycji są dwa piny wyjściowe zasilające o napięciu 3,3 V oraz 5 V, jeden pin zasilający wejściowy, którego ograniczenia zostały wspomniane w poprzednim paragrafie, a także dwa piny uziemiające, po jednym z każdej strony płytki. Posiada ona piny zarówno analogowe jak i cyfrowe, jednak na potrzeby tego projektu zostały użyte jedynie piny analogowe, których do dyspozycji jest aż osiem umiejscowionych po jednej stronie, przy czym warto zwrócić uwagę że piny A4 oraz A5 używane są jako magistrala I2C w związku z czym zalecane jest nie stosowanie tych wejść analogowych. Szczegółowy opis wejść/wyjść płytki przedstawiony jest na grafice 4.1.

W tym projekcie wykorzystano zasilanie poprzez złącze micro USB, wyjście o napięciu 3,3 V w celu uzyskania odczytów z czujników wygięcia na pinach analogowych A0, A1, A3, A6 oraz A7, o których zostanie więcej powiedziane w punkcie 4.2, a także uziemienie znajdujące się po tej samej stronie płytki.



Rysunek 4.1: Opis wejść oraz wyjść Arduino Nano 33 BLE

Źródło: https://content.arduino.cc/assets/Pinout-NANOBle_latest.pdf

4.1.2 Czujnik wygięcia

Kluczowym dla działania kontrolera jest możliwość określenia pozycji palców względem dłoni. Ma to wiele zastosowań zarówno wizualnych jak i praktycznych. Ważne jest aby odwzorować świat rzeczywisty tak dokładnie jak to możliwe - im lepsze odwzorowanie tym bardziej zmysły użytkownika zostaną oszukane, podwyższając komfort użytkowania technologii wirtualnej rzeczywistości. Za stroną praktyczną natomiast przemawia możliwość śledzenia palców w celu dokładnego ich użycia w stworzonym środowisku np. do ściskania i podnoszenia obiektów czy też korzystania z klawiatury wirtualnej. Jak wspomniano w rozdziale 3 dotyczącym komponentów komercyjnych rękawic - wśród znanych producentów na rynku, decyduję się na użycie wielu inercyjnych jednostek po-

miarowych, na podstawie których są w stanie dokładnie określić położenia każdej części palca, bądź też nie aż tak popularne rozwiązanie, które wykorzystujące specjalistyczne sensory służące do pomiaru stopnia wygięcia czujnika względem pozycji prostej. Czujnik ten po podłączeniu do prądu zwiększa swój opór wraz ze zwiększonym stopniem odchylenia. Oba te rozwiązania pomimo wysokiej dokładności pomiarów nie są rozwiązaniami tanimi. W związku z tym na potrzeby stworzenia taniego kontrolera, należało znaleźć rozwiązanie bardziej przystępne a jednocześnie pozwalające na osiągnięcie tego samego celu.

Aby osiągnąć postawione założenia zostały skonstruowane czujniki wygięcia w domowych warunkach. Rozwiązanie to jest często używane do osiągnięcia pomiaru stopnia wygięcia bez konieczności wydawania ponad 100 zł na jeden czujnik [5]. Jest ono stosunkowo proste w założeniach i wymaga jedynie dwóch kluczowych elementów. Tkaniny przewodzącej o specjalnych właściwościach oraz dwóch przewodników po obu stronach materiału. Z jednej strony zostanie podłączone napięcie z drugiej natomiast uziemienie. Ważnym jest aby połączenia te się ze sobą nie stykały w żadnym punkcie a jedynie zostały nałożone na siebie, z tkaniną ściśniętą pomiędzy nimi - dzięki temu mamy pewność że odczyty które otrzymamy będą prawidłowe. Pozostaje odpowiedzieć na pytanie jakiego rodzaju materiał należy wykorzystać. Na rynku znajdziemy wiele rodzajów materiałów które zmieniają swój opór w zależności od spełnienia takich kryteriów jak nacisk, temperatura, rozciągnięcie czy też właśnie zgięcie materiału. Pomimo próby uzyskania materiału który zmienia swój opór w zależności od rozciągnięcia, co pozwoliłoby na skonstruowanie części na palce rękawiczki z tego materiału, zapewniając dokładniejszy i bardziej estetyczny efekt końcowy, w momencie projektowania rękawicy był on jedynie możliwy do sprowadzenia ze stanów, co nie było najtańszym rozwiązaniem. W związku z tym zdecydowano się na użycie foli Velostat która jest czuła na nacisk oraz zginanie [2]. W roli przewodnika wybrano

nić przewodzącą, która zapewniła potrzebną elastyczność oraz możliwość przy-
mocowania poszczególnych elementów przy jednoczesnym zapewnieniu funkcjo-
nalności. Elementy te zostały sklejone na kawałku taśmy samoprzylepnej oraz do-
datkowo sklejone przy brzegu aby nić nie wysliznęła się w trakcie korzystania z
czujnika. Efekt końcowy jest widoczny na zdjęciu 4.2. W celu otrzymania pomia-
rów wszystkich palców zostało wykonanych pięć takich sensorów, o szerokości
15 mm; dwa o długości 8 cm, dwa o długości 10 cm a także jeden 11 cm, w celu
jak najlepszego dopasowania względem miejsca na palce na zakupionej rękawicy
do której sensory zostaną przymocowane, co można zobaczyć na zdjęciu 4.6.



Rysunek 4.2: Sensor wygięcia własnego wykonania

4.1.3 Rezystor

Rezystor, potocznie zwany opornikiem, jest to prosty element elektroniczny, po-
siadający jedynie wyjścia z dwóch stron elementu łączącego. Element ten tworzy
opór, powodując ograniczenie przepływającego przez niego prądu gdy jest włą-
czony do obwodu szeregowo. Opór ten jest mierzony w omach. Istotną informa-
cją jest fakt że nadmiar prądu jest zamieniany przez opornik na energię cieplną,

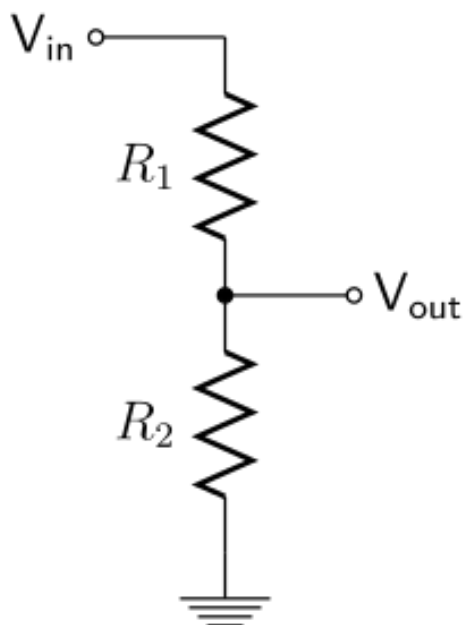
a także brak zdefiniowanego kierunku - co oznacza że działa on niezależnie od sposobu zanotowania go w układzie.

Pomimo swojej prostoty budowy i zastosowania, dla danego projektu ważne jest aby wybrać odpowiednie rezystory. Podstawową wartością na którą należy zwrócić uwagę jest rezystancja. Rezystancję podaje się w omach i można spotkać na rynku zakres od miliomów do megaomów. Spośród dostępnych rodzajów rezystorów w projekcie zostały użyte rezystory THT (z ang. Through-Hole Technology) - czyli tak zwane rezystory do montażu przewlekane. W tym rodzaju oporników rezystancja jest ilustrowana poprzez kolorowe paski umieszczone wokół oporu, co pozwala odczytać ich wartość według ilustracji 4.3. Alternatywą do tego sposobu jest podłączenie rezystora pod miernik elektryczny ustawiony w tryb pomiaru oporu [7].

Kolor	Wartość		Mnożnik	Tolerancja ± %	Współczynnik temp. ± ppm/K
	1 pasek	2 pasek	3 pasek	4 pasek	Ostatni pasek
czarny		0	x 1 Ω		250
brązowy	1	1	x 10 Ω	1	100
czerwony	2	2	x 100 Ω	2	50
pomarańczowy	3	3	x 1 k Ω		15
żółty	4	4	x 10 k Ω		25
zielony	5	5	x 100 k Ω	0,5	20
niebieski	6	6	x 1 M Ω	0,25	10
fioletowy	7	7	x 10 M Ω	0,1	5
szary	8	8	x 100 M Ω	0,05	1
biały	9	9	x 1 G Ω		
złoty			0,1 Ω	5	
srebrny			0,01 Ω	10	
brak				20	

Rysunek 4.3: Oznaczenia rezystorów

Źródło: <https://sites.google.com/site/informatykaunijna/home/poszczegolne-czesci/rezystor>



Rysunek 4.4: Układ dzielnika napięcia

Źródło: https://www.wikiwand.com/en/Voltage_divider

Element ten jest kluczowy w celu ograniczenia przepływu prądu w obwodzie rękawicy, co pozwala na monitorowanie oporu wytwarzanego poprzez czujnik wygięcia. Sposób działania układu, nazywanego dzielnikiem napięcia jest pokazany na rysunku 4.4, oraz wyraża się wzorem

$$v_{out} = v_{in} \left[\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right]$$

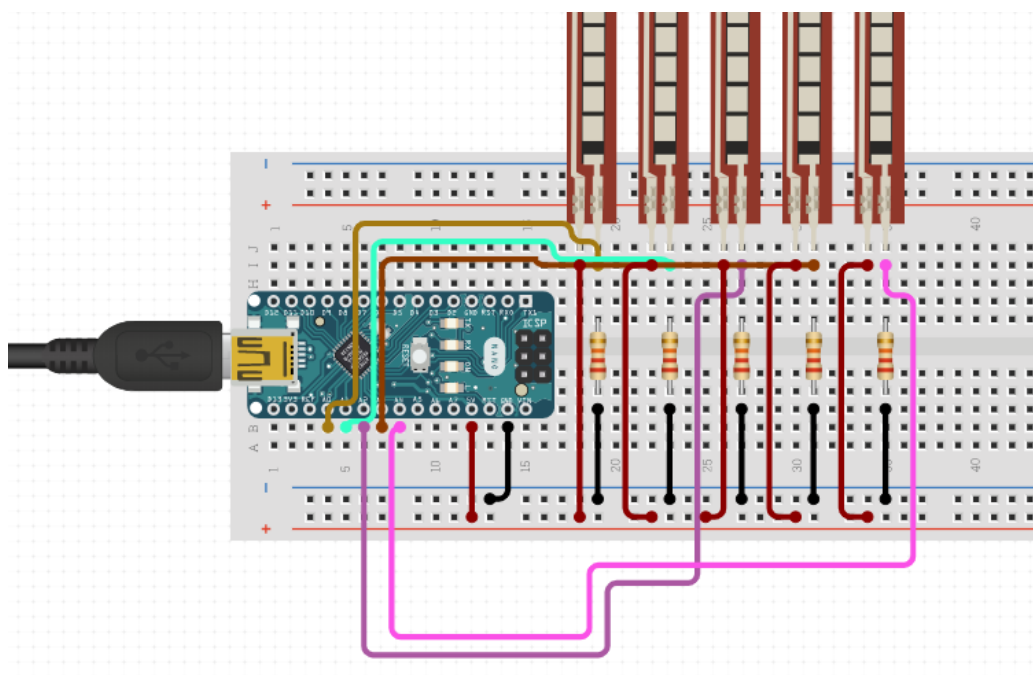
Wzór ten podaje napięcie wyjściowe v_{out} , które równa się napięciu wejściowemu v_{in} przeskalowanemu przez stosunek rezystorów. W opisywanym przypadku jest to stosunek zastosowa-

nego rezystora $4.7k\Omega$ wyrażonego we wzorze poprzez R_2 , do sumy tego rezystora wraz z oporem wytwarzanym poprzez czujnik wygięcia R_1 - który jak opisano w podrozdziale 4.1.2 jest zmienny. Oznacza to że im bardziej czujnik wygięcia jest zgięty, wytwarza on większy opór a co za tym idzie napięcie wyjściowe spada. Miara ta obrazuje jak bardzo palec jest zgięty i jest możliwa do uzyskania właśnie dzięki zastosowaniu układu dzielnika napięcia [1].

4.2 Budowa rękawicy

W poniższej sekcji zaprezentowano sposób w jaki zostały połączone wszystkie elementy rękawicy wspomniane w sekcji 4.1, aby była gotowa na oprogramowanie mikrokontrolera tworząc finałowy produkt. W tym celu została wybrana rękawica budowlana o grubych niciach ze ściągaczem wokół nadgarstka w celu zapew-

nienia komfortu, jak i precyzji położenia. Wybór ten również jest uzasadniony faktem początkowego planu dotyczącego wszycia materiału bezpośrednio w rękawice jak i elastyczności które zapewnia grubsza rękawica. Tak jak wspomniano w podsekcji 4.1.2, do połączenia elementów została wykorzystana nić przewodząca. Dzięki grubym włóknom odstęp pomiędzy nićmi przewodzącymi prąd mogły być mniejsze, bez obawy przed spięciami w trakcie poruszania ręką. Dla tego projektu kontroler jest budowany dla lewej dłoni. Układ przewodów kontrolera jest zobrazowany na rysunku 4.5. Jest to jedynie obraz poglądowy, przedstawiony na płytce prototypowej a szczegółowy opis połączeń kontrolera zostanie opisany poniżej.



Rysunek 4.5: Poglądowy układ kontrolera przedstawiający sposób podłączenia dzielnika napięcia

Źródło: <https://www.circuito.io/app?components=514,8606,8606,8606,11022>

Mikroprocesor został umieszczony na wysokości centralnej części dłoni, przy

kciuku, skierowany złączem USB na zewnątrz, pozwalając na łatwe podłączenie przewodu zasilającego jak i również ustawienie wejść analogowych w stronę palców lewej dłoni. Z tej strony płytki Arduino będziemy też korzystać - zarówno przy wyprowadzaniu napięcia jak i uziemienia. Montaż samej płytki nie stanowi żadnego problemu ze względu na cztery otwory w rogach pozwalające na mocowanie, do którego została użyta zwykła nić do szycia. Aby stworzyć obwód wychodzący od pinu GND (z ang. Ground) czyli właśnie uziemienia, należy najpierw poprowadzić go przez rezystory. W tym celu wyjścia oporników zostały wygięte w pętle oraz zalutowane aby w łatwy sposób można było je przyszyć do rękawicy. Aby dodatkowo ułatwić sobie to zadanie - dodatkowo zostały one przyklejone bezpośrednio do materiału na bardzo małą ilość kleju. Umieszczenie rezystorów jest po zewnętrznej wierzchniej stronie dłoni, zaczynając się na wysokości kontrolera, zmierzając szeregowo w stronę nadgarstka. W ten oto sposób nić przewodząca została poprowadzona na zewnętrzną część dłoni a następnie poprzez wszystkie pętle rezystorów, kończąc na ostatnim. Z drugiej strony rezystora dochodzi natomiast nić pochodząca z czujnika oporu. W tym celu podczas tworzenia czujników oporu pozostawiono 25 cm długości nici, co pozwoliło na przymocowanie sensorów, a następnie połączenie obwodu. Sensory zostały zaopatrzone w krótkie, 1-2 cm długości kawałki taśmy elastycznej która została przyklejona na czubku każdego z sensorów pozwalając na elastyczny ruch sensora bez zerwania nici. Taśma ta została przyszyta w czubkach palców co dało punkt zaczepu dla sensorów. W tym momencie pozwoliło to na wygodne używanie nici wychodzących z sensorów w celu zamknięcia obwodu. Z powodu dużego zagęszczenia nici, które nie mogą się ze sobą stykać podczas ruchu ręki, ważnym dla projektu było naprzemienne używanie przestrzeni na rękawicy od spodu jak i od góry. Dzięki temu nici uziemienia oraz napięcia mogą się krzyżować nie zaburzając przy tym odczytów z sensorów. W celu jak najlepszego zago-

spodarowania przestrzeni wokół sensorów, uziemienie kciuka oraz małego palca zostały umiejscowione na nicie wychodzącej z prawej strony sensora, natomiast napięcie po lewej stronie. Dla pozostałych palców ustawienie to jest odwrotne. Mając to na uwadze została poprowadzona nić od kciuka poprzez wyjście 3.3 V na płytce a następnie wzdłuż knykci rękawicy, pozwalając nicią odpowiedzialnym za napięcie w odpowiednich sensorach na przyczepienie się w celu poboru napięcia tworząc tym samym dodatnią stronę układu. Nici wychodzące z sensorów które natomiast nie zostały do tej pory użyte, zostały przeszyte poprzez wyjścia analogowe a następnie podłączone kolejno do odpowiadających im rezystorów. Wyjścia odpowiadające każdemu z palców zostały opisane w tabeli poniżej.

Palec	Wyjście analogowe
Kciuk	A3
Wskazujący	A0
Środkowy	A1
Serdeczny	A6
Mały	A7

Sposób w jaki zostały dobrane wyjścia jest podyktowany zaleceniami o nie korzystaniu z wyjść analogowych A4 oraz A5 oraz pozostawieniu przestrzeni wokół wyjścia A3 przeznaczonego na kciuka, ponieważ jako jedyne połączenie musiało najpierw zmierzać w kierunku palców a następnie w dół w celu połączenia z rezystorem. Efekt końcowy pracy przedstawia zdjęcie 4.6.

Zmień zdjęcie rękawicy na lepsze i wpasuj je do rozdziału

4.3 Oprogramowanie mikrokontrolera

Do tej pory została opisana teoria omawianego kontrolera, elementy które zostały użyte w projekcie a także sposób ich połączenia. W niniejszej sekcji przedstawiony jest kod programu który został napisany w środowisku programistycznym oraz języku o tej samej nazwie - Arduino. Język ten poza drobnymi zmianami



Rysunek 4.6: Efekt końcowy rękawicy-kontrolera

opiera się na języku C/C++, a jego pełny kod źródłowy jest dostępny na platformie Github [6]. Aby rozpocząć pracę z wybranym produktem od Arduino należy wykonać pewne czynności przygotowawcze, takie jak instalacja sterowników płytki dla danego systemu czy sposób obsługi w samym środowisku Arduino. Czynności te zostały opisane na stronie producenta, w związku z czym nie zostaną one szczegółowo opisane [11]. Po spełnieniu wszystkich wymagań, został przygotowany program który został napisany oraz wgrany do mikrokontrolera, który można podzielić na trzy części:

-
- Deklaracje
 - Ustawienie mikrokontrolera
 - Główna pętla programu

których cel oraz opis został przedstawiony poniżej.

W pierwszej kolejności zostanie przedstawiona część deklaracji, w której to dołączono wymagane biblioteki dla poprawnej obsługi wszystkich sensorów. Pierwszą biblioteką która została dołączona do programu jest *Arduino_LSM9DS1.h*. Biblioteka ta jest odpowiedzialna za obsługę IMU która przekazuje dane poprzez I2C do mikroprocesora. Biblioteka ta zajmuje się obsługą połączenia jak i kalibracja całego modułu. Inicjalizacja wartości poprzez bibliotekę wygląda w następujący sposób [9]

Sensor	Zakres	Częstotliwość
Akcelerometr	$[-4, +4]g - / + 0.122mg$	$104Hz$
Żyroskop	$[-2000, +2000]dps + / - 70mdps$	$104Hz$
Magnetometr	$[-400, +400]uT + / - 0.014uT$	$20Hz$

Tak jak wspomniano w sekcji 4.1.1 do połączenia bezprzewodowego Arduino Nano 33 BLE wykorzystuje moduł Bluetooth Low Energy, w związku z czym w części deklaracji dołączamy przeznaczoną do tego bibliotekę o nazwie *ArduinoBLE.h*. Biblioteka ta pozwala na dostęp oraz sterowanie modułem BLE (z ang. Bluetooth Low Energy), i na potrzeby projektu zostaną opisane używane elementy z poniższych klasy których znajomość jest wymagana w celu zrozumienia napisanego programu. Klasy te to

- BLEService
- BLECharacteristic
- BLEDescriptor

-
- BLE
 - BLEDevice

Szczegóły na temat zasad działania BLE są podane w sekcji 3.4, w tej sekcji jedynie zostanie opisana struktura tych klas. *BLEService* umożliwia nawiązanie połączenia z innym urządzeniem obsługującym bluetooth i jako parametr przyjmuje UUID - jest to jedyny paramater jaki należy podać i w ten sposób zostaje stworzony nowy serwis BLE dostępny pod tym identyfikatorem. Klasa *BLECharacteristic* tworzy nową cechę którą należy przypisać do danego serwisu. Cecha ta może zostać zadeklarowana jako cecha wybranego z pośród dostępnych typów w Arduino bądź jako uniwersalna poprzez podstawową klasę *BLECharacteristic*. Klasa ta przyjmuje trzy wymagane parametry: UUID, właściwości cechy oraz wartość. Wartość może zostać zadeklarowana jako podany ciąg znaków, bądź też poprzez określenie rozmiaru danych i wartość początkową. Wartość początkowa nie musi być podana w trakcie deklaracji. Ważnym elementem tej klasy jest określenie jej właściwości. W zależności od przeznaczenia mamy do wyboru następujące opcje, które mogą być ze sobą łączone: *BLEBroadcast*, *BLERead*, *BLEWriteWithoutResponse*, *BLEWrite*, *BLENotify*, *BLEIndicate*. W celu wysyłania danych podczas gdy dane te się zmieniają cechy w prezentowanym programie przyjęły dwie wartości BLE: *read* (z ang. czytać) oraz *notify* (z ang. powiadomić). Klasa *BLEDescriptor* jest niejako klasą pomocniczą. Wartości tej klasy przypisują się do danej cechy w celu lepszej obsługi serwisu oraz łatwiejszego rozpoznawania w przypadku pracy ze skomplikowanymi serwisami. Standardowo należy podać UUID danego deskryptora jako parametr, a także jego wartość jako ciąg znaków, bądź wartość w postaci tablicy bajtów oraz maksymalnego rozmiaru danych. Są to podstawowe klasy znajdujące się w części deklaracji których użycie zostały przedstawione na listingu 4.1 prezentującym wycinek części deklaracji

cji [10]. Pozostałe dwie klasy zostaną opisane w części głównej pętli programu gdzie zostanie również pokazane ich zastosowanie.

```
1 #include <Arduino_LSM9DS1.h>
2 #include <ArduinoBLE.h>
3 BLEService imuService("1101");
4
5 BLECharacteristic imuAccChar("2101", BLERead | BLENotify,
6   ,12);
7 BLECharacteristic imuGyroChar("2102", BLERead | BLENotify,
8   ,12);
9 BLECharacteristic fingersChar("2103", BLERead | BLENotify,
10  ,20);
11
12 BLEDescriptor imuAccDescriptor("3101", (byte*) "Acc
13   Descriptor", 15);
14 BLEDescriptor imuGyroDescriptor("3102", (byte*) "Gyr
15   Descriptor", 15);
16 BLEDescriptor fingersDescriptor("3103", (byte*) "Fin
17   Descriptor", 15);
```

Listing 4.1: Część deklaracji programu mikrokontrolera

Następną częścią programu jest ustawienie mikrokontrolera oraz sprawdzenia poprawności działania sensorów. Gdy proces ten zakończy się powodzeniem zostanie uruchomiona główna część programu - funkcja *loop()*, która wykonuje się nieprzerwanie pozwalając kontrolować pracę naszego kontrolera. Za część związaną z inicjalizacją jest odpowiedzialna funkcja *setup()*. Funkcja ta jest wywoływana tylko raz za każdym razem gdy płyta jest podłączona do prądu bądź zostanie zresetowana [3]. W funkcji tej wywoływana jest statyczna metoda *begin()* (z ang. rozpocząć) na klasie *IMU* która należy do biblioteki *Arduino_LSM9DS1.h*, i to właśnie ta funkcja pozwala na inicjalizację wspomnianych sensorów wchodzących w skład jednostki pomiarowej - program zapętli się w tym miejscu jeśli funkcja ta zwróci błąd, poprzez rozpoczęcie pętli z warunkiem zawsze prawdziwym, co przedstawia listing 4.2 [9].

```
12 | if (!IMU.begin()) {
```

```

13     Serial.println("Failed to initialize IMU!");
14     while (1);
15 }
16
17 if (!BLE.begin()) {
18     Serial.println("Failed to start Bluetooth!");
19     while (1);
20 }

```

Listing 4.2: Inicjalizacja IMU oraz BLE

Jeżeli sensory działają poprawnie, sprawdzana jest możliwość połączenia poprzez moduł bezprzewodowy. W tym celu wykorzystywana jest statyczna klasa *BLE*, która odpowiada za włączenie modułu Bluetooth oraz jego ustawienia. Tak jak w przypadku klasy *IMU*, program zapętli się w tym miejscu zwracając błąd jeżeli połączenie nie będzie możliwe. W przypadku powodzenia program rozpoczyna łączenie zadeklarowanych elementów, takich jak serwis, cechy oraz deskryptory tych cech. Klasa *BLE* posiada funkcje pozwalającą ustawić nazwę dla naszego połączenia, jej adres a przede wszystkim gdy wszystkie elementy są już gotowe wywołuje metodę *advertise()*, która pozwala na połączenie się z naszym serwisem. Na listingu 4.3 pokazane jest szczegółowa konfiguracja klasy BLE oraz serwisu a także odpowiednie użycie funkcji dla jednej z cech, które należy powtórzyć dla każdej dodawanej cechy z odpowiednimi wartościami.

```

21 BLE.setLocalName("VrGlove");
22 BLE.setAdvertisedService(imuService);
23
24 imuService.addCharacteristic(imuGyroChar);
25 imuGyroChar.addDescriptor(imuGyroDescriptor);
26 imuGyroChar.writeValue((byte)0x01);
27
28 BLE.addService(imuService);
29 BLE.advertise();

```

Listing 4.3: Obsługa serwisu przy użyciu klasy BLE

W ten oto sposób kończy się funkcja *setup()* i zostaje wywołana kolejna funkcja

która od tej pory będzie odpowiedzialna za pracę kontrolera - *loop()*. W funkcji tej zostaje zadeklarowana ostatnia z wymienionych klas do obsługi Bluetooth. Klasa ta nazywa się *BLEDevice* i jest bezpośrednio powiązana z urządzeniem które jest aktualnie podłączone. Dopóki nie ma podłączonego do kontrolera urządzenia, żadne czynności nie zostają podjęte. W momencie uzyskania danych z modułu łączności o nawiązanym połączeniu zostaje uruchomiona pętla, funkcjonująca tak długo jak połączenie to nie zostanie przerwane. Fragment kodu znajduje się na listingu 4.4 [10]. Niestety w trakcie pracy z urządzeniem odkryto błąd związany z rozłączeniem się centrali. Problem pojawia się gdy urządzenie zostaje rozłączone z mikrokontrolerem - w tym momencie klasa *BLE* nie zawsze zgłasza informację o rozłączeniu, myśląc że urządzenia cały czas są podłączone. Problem został zauważony, jednak nie jest rozwiązany na stan z maja 2020 roku [8].

```
30 BLEDevice central = BLE.central();
31 if (central) {
32     Serial.print("Connected to central: ");
33     Serial.println(central.address());
34 }
35 while( central.connected()) {
36     [...]
37 }
```

Listing 4.4: Oczekiwanie na połączenie z urządzeniem przez mikrokontroler

Gdy wszystkie dotychczasowo opisane elementy programu nie zgłoszą problemów, następuje ostatnia faza którą jest zbieranie i przesyłanie danych. W pierwszej kolejności sprawdzany jest warunek czy jednostka pomiarowa ma dostęp do nowych danych. W przypadku tej aplikacji dane które zostały poddane analizie pochodzą z żyroskopu oraz z akcelerometru i są wyrażone jako zmienne *x,y* oraz z typu *float*. Z powodu naturalnych drgań dłoni dane te ciągle się zmieniają w mikro skali która nie ma wpływu na efekty, niemniej jednak możemy założyć że gdy mikroprocesor nie jest przymocowany do stałego obiektu, dane te będą dostarczane z częstotliwością pracy sensorów. Za odczyt danych z żyroskopu i

akcelometru odpowiadają odpowiednio funkcje *readGyroscope(x,y,z)* oraz *readAcceleration(x,y,z)* z klasy *IMU* które przypisują odpowiednie wartości do podanych parametrów. Ważnym elementem podczas odczytu tych danych jest tak zwany szum który powstaje w trakcie przygotowania sensorów. W trakcie pierwszych odczytów szum ten został zmierzony oraz usunięty z pomiarów. Akcelometr położony na płaskim obiekcie prawidłowo podawał odczyty, czyli zwracał wektor $[0, 0, g]$ gdzie g oznacza grawitację ziemską. Żyroskop natomiast wskazywał błąd rzędu $[2.80, 0.18, 0.18]$ w związku z czym od każdego odczytu właśnie taką wartość należy odjąć w celu uzyskania prawidłowych danych - czyli wektora zbliżonego do $[0, 0, 0]$ w pozycji w której został skalibrowany. Jak wspomniano w sekcji 3.2.1 dotyczącej żyroskopu, wartości zwracane są podane w *dps* (z ang. Degrees per second) czyli w kątach na sekundę. W celu określenia kątów w jakim urządzenie się znajduje w danym momencie musimy te dane przemnożyć przez częstotliwość z jaką są one pobierane - czyli przemnożyć przez czas co zwróci nam miarę kątów. Osiągamy to poprzez zapisanie czasu w którym dane zostały pobrane a także poprzez zapisanie tej wartości przed następnym pobraniem danych jako czas ostatniego poboru. Różnica pomiędzy tymi wartościami daje czas jaki upłynął aby uzyskać nowe wartości. Zaczynając w pozycji kalibracyjnej, z idealnie usuniętym szumem, żyroskop zwróci wartość zero, a wraz ze zmianą wartości żyroskopu, suma tych zmian wskaże na orientację kontrolera względem pozycji wyjściowej. Więcej informacji na ten temat znajdują się w rozdziale 5 [?, gimbal] Ostatnią cechą którą chcemy przekazać są dane pobierane z sensorów wygięcia w celu określenia pozycji palców. Tak jak wspomniano w sekcji 4.1 dane te pobieramy przez mierzenie napięcia jakie znajduje się na poszczególnych analogowych pinach wejściowych. Odczyty te uzyskujemy poprzez wywołanie metody *analogRead(pin)* [3]. Pobieranie danych oraz ich wstępna obróbka przedstawia listing 4.5.

```

38  if (IMU.accelerationAvailable() && IMU.gyroscopeAvailable
    ()) {
39      previousTime = currentTime;
40      currentTime = millis();
41      elapsedTime = (currentTime - previousTime) / 1000;
42
43      IMU.readAcceleration(acc[0], acc[1], acc[2]);
44      IMU.readGyroscope(gyro[0], gyro[1], gyro[2]);
45
46      gyro[0] -= 2.80;
47      gyro[1] -= 0.18;
48      gyro[2] -= 0.18;
49
50      fingers[0] = analogRead(A3);
51      [...]
52  }

```

Listing 4.5: Wczytywanie danych z sensorów.

Na tym etapie mamy już dostęp do danych z akcelerometru w $\frac{m}{s^2}$ oraz dane z żyroskopu wyrażone w stopniach. Informacje te mogłyby zostać przesłane w takiej formie, jednak z racji znajomości projektu, dane można dodatkowo skorygować poprzez zastosowanie dodatkowych filtrów. Podstawowym zabiegiem który został zastosowany jest eliminacja danych nieznaczących, czyli szumu który powstaje poprzez naturalne drgania ciała. Aby to osiągnąć, w programie przechowywane są poprzednie wartości z poszczególnych sensorów. Jak dane znaczące dla akcelerometru przyjęto różnice ± 0.1 , a dla danych z sensorów wygięcia ± 15 . Dla żyroskopu natomiast przyjęto wartości różniące się o przynajmniej ± 0.2 , a także dodatkowo sprawdzane jest czy dane z żyroskopu nie są w pozycji przy kalibracyjnej. Oznacza to że jeżeli wartości zwracane z żyroskopu wynoszą 0 ± 0.1 , zostaną one zamienione na wartość równą 0. Filtrowanie wartości pokazane jest na listingu 4.6. W ten oto sposób otrzymano wartości z sensorów które były gotowe do wysłania na inne urządzenie. Wartości te jednak są wyrażone w postaci tablic typu *float*, natomiast jako wartości cechy bluetooth przyjmują tablice by-

tów. W związku z tym przed przypisaniem danych są przekazywane adresy tablic do nowych zmiennych, a następnie zmienne te zapisane w poszczególniej cieszce przy użyciu metody *setValue(value,valueSize)*. Rozmiar jest ten określony jako 12 ponieważ mamy do czynienia z tablicą 3 zmiennych typu *float* z których każda zajmuje 4 bajty pamięci. Zapisywanie danych jest pokazana na listingu 4.7 dla jednej cechy - proces ten należy powtórzyć dla wszystkich danych. Program następnie zapisuje obecne dane jako dane obecnej pętli, tak aby następne odczyty mogły zostać porównane z obecną iteracją, tym samym kończąc wykonywaną pętlę. Warto zauważyć że program pomimo swojego głównego działa w funkcji *loop()*, jest wykonywany w ramach jednej iteracji jak tylko dojdzie do połączenia kontrolera z odbiornikiem.

```
53 for (int i = 0;i<3;i++){
54     if(!(gyro[i] < oldGyroData[i]-0.2 || gyro[i] >
        oldGyroData[i]+0.2)){
55         if( gyro[i] < -0.1 || gyro[i] > 0.1){
56             gyro[i] = oldGyroData[i];
57         }else{
58             gyro[i] = 0.0;
59         }
60     }
61
62     if(!(acc[i] < oldAccData[i]-0.02 || acc[i] > oldAccData
        [i]+0.02)){
63         acc[i] = oldAccData[i];
64     }
65 }
66
67 for (int i = 0;i<5;i++){
68     if(!(fingers[i] < oldFingersData[i]-15.0 || fingers[i] >
        oldFingersData[i]+15.0)){
69         fingers[i] = oldFingersData[i];
70     }
71 }
72 }
```

Listing 4.6: Wstępne filtrowanie danych z sensorów.

```
73 |         byte *accChar = (byte*)&acc;  
74 |         imuAccChar.setValue(accChar, 12);
```

Listing 4.7: Zapisywanie danych do cech w serwisie.

4.4 Podsumowanie

W tym rozdziale podano informacje na temat projektu rękawicy kontrolera a także elementów które są wymagane w celu jego funkcjonowania. Zostały podane specyfikacje podzespołów, sposoby pozyskiwania danych, metoda komunikacji z innymi urządzeniami a także rozwiązano problemy związane z kosztem projektu. Krok po kroku przedstawiono złożenie elementów w celu uzyskania końcowej wersji produktu i ostatecznie omówiono zasadę działania programu napisanego w Arduino wraz z bibliotekami które zostały użyte w ramach projektu, natomiast zasady ich praktycznego działania zostały pokazane na listingach. W ten oto sposób została zakończona główna część projektu, pozwalająca na wykorzystanie rękawicy kontrolera jako część większych przedsięwzięć. Aby jeszcze lepiej zobrazować sposób obsługi kontrolera, oraz metody wykorzystania danych, w rozdziale 5 zostanie pokazana przykładowa aplikacja wykorzystująca dane w celu analizy oraz prezentacji.

Rozdział 5

Dedykowana aplikacja w systemie Android

5.1 Interfejs

5.2 Komunikacja

5.2.1 Obsługa Bluetooth Low Energy

5.2.2 Pobieranie danych

5.3 Google Sceneform SDK

5.3.1 Model ręki

5.3.2 Rozpoznanie i animacja modelu

5.3.3 Dodawanie nowego modelu

5.3.4 Rotacja

5.3.5 Przesunięcie

5.4 Dalszy rozwój aplikacji

TODO: Krótki opis o aplikacji i rozdziale

tekst o nie wybraniu istniejących sdk aby napisać własne połączenie BLE w javie bez unity

Rozdział 6

Podsumowanie

TODO: Podsumowanie

Bibliografia

- [1] K. Academy. Dzielnik napięcia. <https://www.khanacademy.org/science/electrical-engineering/ee-circuit-analysis-topic/ee-resistor-circuits/a/ee-voltage-divider>, 2020.
- [2] Adafruit. Velostat - folia czuła na nacisk i zginanie. <https://www.adafruit.com/product/1361>, 2020.
- [3] Arduino. Dokumentacja języka. <https://www.arduino.cc/reference/en/>, 2020.
- [4] Botland.com. Arduino nano 33 ble - abx00030. <https://botland.com.pl/pl/arduino-seria-nano-oryginalne-plytki/14758-arduino-nano-33-ble-abx00030-7630049201491.html>, 2020.
- [5] Botland.com. Czujnik ugięcia 112 x 6,3 mm - sparkfun sen-08606. <https://botland.com.pl/pl/czujniki-nacisku/2406-czujnik-ugiecia-112-x-63-mm-sparkfun-sen-08606.html>, 2020.
- [6] P. Bugalski. (arduino, co w środku... – część 3 – źródło wbudowanych funkcji). <https://forbot.pl/blog/arduino-co-w-srodku-3-zrodlo-wbudowanych-funkcji-id17291>, 2020.

-
- [7] Forbot. Rezystor - co warto wiedzieć. <https://forbot.pl/blog/1eksykon/rezystor>, 2020.
- [8] Russell108. Ble nano 33 nie zgłasza rozłączenia z centralą. <https://github.com/arduino-libraries/ArduinoBLE/issues/33>, 2020.
- [9] SM. Biblioteka arduino lsm9ds3. <https://www.arduino.cc/en/Reference/ArduinoLSM9DS1>, 2020.
- [10] SM. Biblioteka arduinoble. <https://www.arduino.cc/en/Reference/ArduinoBLE>, 2020.
- [11] SM. Pierwsze kroki z arduino nano 33 ble. <https://www.arduino.cc/en/Guide/NANO33BLE>, 2020.

TODOs:

■ TODO: ch:zagadnienia	3
■ Opis rękawic na rynku	4
■ INS - inertial navigation system	4
■ Jak dostępne rękawice omijają problem	4
■ TODO: BLE section	4
■ UUID section?	4
■ Następny rozdział?	5
■ Zmień zdjęcie rękawicy na lepsze i wpasuj je do rozdziału	15
■ TODO: Krótki opis ó aplikacji"i rozdziale	26
■ tekst o nie wybraniu istniejących sdk aby napisac własne połączenie BLE w javie bez unity	26
■ TODO: Podsumowanie	27