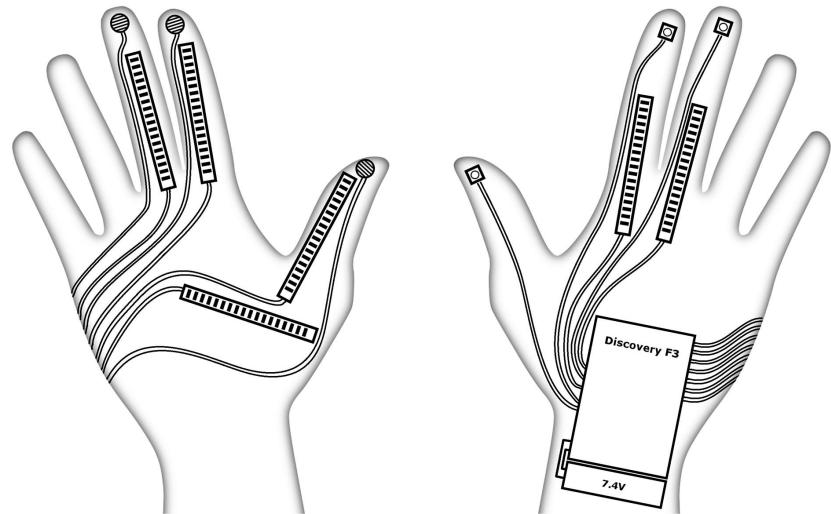


# Dokumentacja techniczna projektu Rękawica Sensoryczna

Projekt realizowany w ramach kursu Roboty Mobilne 1 na Politechnice  
Wrocławskiej



**Temat Projektu:** Rękawica sensoryczna

**Autorzy:** Krzysztof Dąbek 218549, Dymitr Choroszczak 218627,  
Anna Postawka 218556

**Kierunek:** Automatyka i Robotyka

**Specjalność:** Robotyka (ARR)

**Prowadzący:** dr inż. Andrzej Wołczowski

**Kurs:** Roboty Mobilne 1

**Termin zajęć:** pn TN 11:15, śr TN 14:30

# **Spis treści**

<b>1</b>	<b>Główne założenia projektowe:</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Opis czujników</b>	<b>2</b>
2.1	Parametry . . . . .	2
2.1.1	Dane czujnika nacisku . . . . .	2
2.1.2	Dane czujnika ugięcia . . . . .	2
2.1.3	Dane akcelerometru . . . . .	3
2.2	Odczyt danych z czujników . . . . .	3
2.2.1	Czujniki nacisku . . . . .	3
2.2.2	Czujniki ugięcia . . . . .	3
2.2.3	Akcelerometr . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Elementy składowe projektu</b>	<b>4</b>
3.1	Hardware . . . . .	4
3.1.1	Płytką sterującą . . . . .	5
3.1.2	Czujniki . . . . .	6
3.1.3	Komunikacja . . . . .	6
3.1.4	Przewody . . . . .	6
3.1.5	Interfejs Użytkownika . . . . .	7
3.2	Software . . . . .	7
3.2.1	Przetwornik Pomiarowy . . . . .	7
3.2.2	Przesyłanie danych . . . . .	7
3.2.3	Struktury danych . . . . .	8
3.2.4	Przetwarzanie danych . . . . .	9
3.3	Wizualizacja . . . . .	10
3.3.1	Interfejs graficzny . . . . .	10
3.3.2	Funkcjonalności aplikacji . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Badania z wykorzystaniem rękawicy</b>	<b>12</b>
4.1	Dane pomiarowe . . . . .	12
4.2	Przykładowe gesty i metoda ich identyfikacji . . . . .	12
<b>5</b>	<b>Podsumowanie</b>	<b>15</b>
5.1	Problemy podczas konstrukcji . . . . .	15
5.2	Zmiany w założeniach projektowych . . . . .	15
5.3	Pomysły na rozwinięcie projektu . . . . .	15

# 1 Główne założenia projektowe:

- Stworzenie rękawicy z czujnikami ugięcia w trzech palcach oraz czujnikami nacisku na opuszkach
- Zamontowanie na opuszkach LEDów (np. RGB) wizualizujących odczyty z czujników nacisku
- Wykorzystanie płytki STM32F3Discovery do przetwarzania danych
- Użycie akcelerometru zawartego na płytce do określenia położenia dloni względem pionu (wektora przyśpieszenia grawitacyjnego)
- Bezprzewodowe przesyłanie danych do komputera za pomocą modułu Bluetooth HC-06
- Przewodowe przesyłanie danych do komputera za pomocą interfejsu USB
- Zewnętrzne zasilanie z akumulatora
- Uproszczony model dloni w wizualizacji 3D

# 2 Opis czujników

- Na opuszkach palców zamontowano **czujniki nacisku FSR-400 Short od Interlink Electronics**. Spadek rezystancji przy przyłożonej sile pozwala zmierzyć siłę nacisku.
- Do wykrycia zgięcia stawów międzypaliczkowych i śródrczno-paliczkowych oraz stawów kciuka zastosowano **czujniki ugięcia – Flex Sensory 2.2" firmy Spectra Symbol**. Zgięcie tych sensorów powoduje wzrost rezystancji.
- **Akcelerometr LSM303DLHC**, znajdujący się na płytce Discovery został użyty do określenia orientacji rękawicy względem wektora grawitacji.

## 2.1 Parametry

Patrz: Tabela 1, Tabela 2, Tabela 3.

### 2.1.1 Dane czujnika nacisku

- Średnica powierzchni czynnej: 5 mm
- Zakres pomiarowy nacisku: 0.2 - 20 N
- Zakres rezystancji: 150 Ohm - 10 MOhm
- Rezystor pomiarowy do dzielnika: 3 kOhm

### 2.1.2 Dane czujnika ugięcia

- Długość powierzchni czynnej: 55.37 mm
- Zakres rezystancji: 25 kOhm - 125 kOhm
- Rezystor pomiarowy do dzielnika: 62 kOhm

### 2.1.3 Dane akcelerometru

- Protokół komunikacyjny:  $I^2C$
- Ilość osi: 3
- Maksymalne przeciążenie: 16g
- Dokładność pomiaru: 16 bitów

## 2.2 Odczyt danych z czujników

### 2.2.1 Czujniki nacisku

Dane z czujników są odczytywane za pomocą przetwornika ADC oraz przy użyciu DMA (Direct Memory Access), co pozwala na bezpośrednie przekierowanie danych z czujników do odpowiednich zmiennych, bez wywoływania dodatkowej funkcji zwracającej wynik pomiaru.

### 2.2.2 Czujniki ugięcia

Obsługa taka sama jak w: Czujniki nacisku.

### 2.2.3 Akcelerometr

Z akcelerometrem komunikacja następuje po interfejsie  $I^2C$ .

Zakres	0,2–20 N
Masa	0,15 g
Wymiary zewnętrzne	7,6 x 7,6 x 0,4 mm

Tablica 1: Czujnik siły nacisku FSR-400

Min. wartość rezystancji	25 kΩ
Zakres rezystancji podczas zginania	45–125 kΩ
Dł. całkowita	73,66 mm
Dł. użytkowa czujnika	55,37 mm
Szerokość	6,35 mm

Tablica 2: Czujnik ugięcia Flex Sensor 2.2"

Napięcie pracy	2,2–3,6 V
Interfejs komunikacyjny	$I^2C$
Rozdzielcość	16 bitów
Regulowany zakres akcelerometru	$\pm 2g, \pm 4g, \pm 8g, \pm 16g$
Zakres magnetometru	od $\pm 1,3$ do $\pm 8,1$ gauss

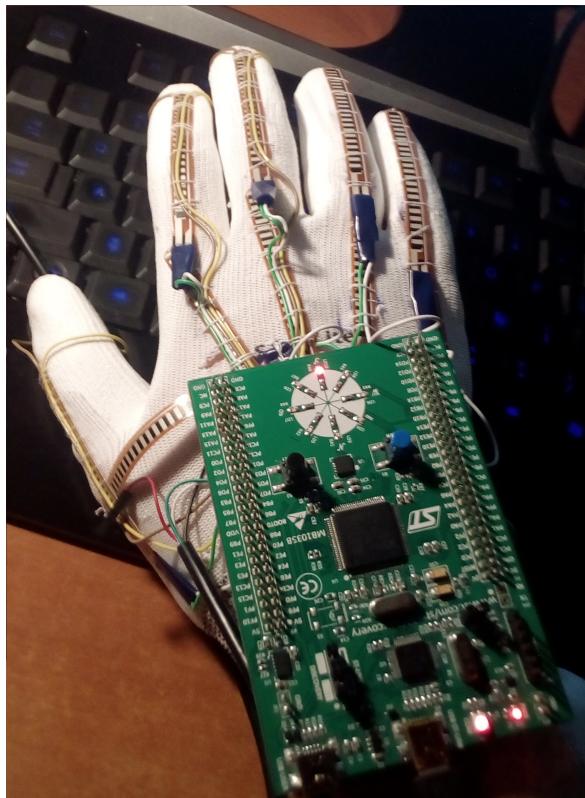
Tablica 3: LSM303DLHC – 3-osiowy akcelerometr i magnetometr I2C

### 3 Elementy składowe projektu

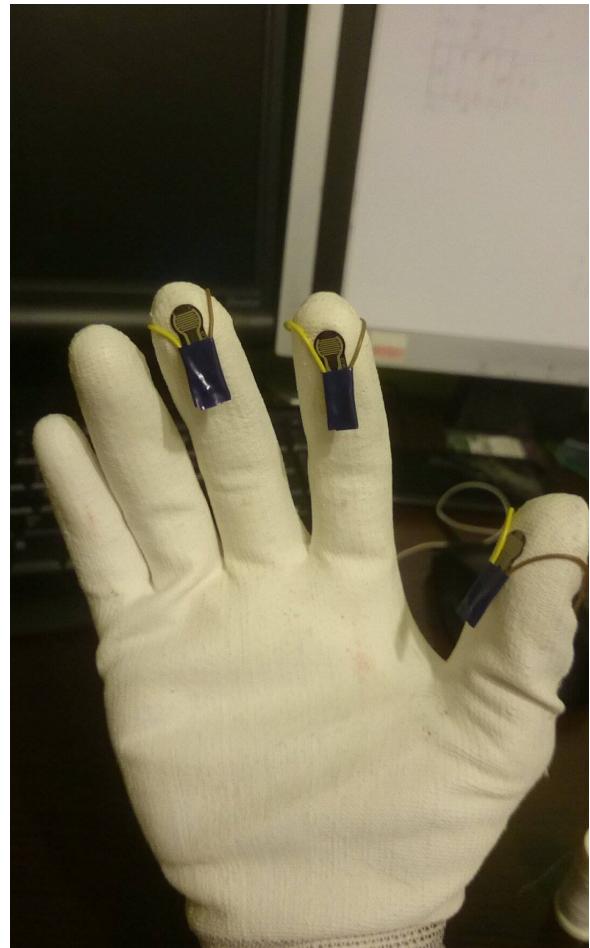
#### 3.1 Hardware

Rękawica sensoryczna zbiera dane z prawej ręki. Czujniki ugięcia przyszyto na zewnętrznej stronie dłoni [rys. 1a]. Przetestowano kilka ustawień czujników [rys. 2] i takie zdaje się najlepiej spełniać założenia, czyli poprawnie odczytywać zgięcia konkretnych stawów palców, nie ograniczając przy tym ruchów dłoni. Czujniki nacisku przymocowano na opuszkach [rys. 1b]. Zostały one przyklejone klejem błyskawicznym. Przymocowano również na wierzchu dłoni dwie listwy żeńskie do wpięcia płytka Discovery F3, aby móc pobierać dane z akcelerometru i wykrywać obrót ręki [rys. 1a].

- 3 czujniki nacisku – na opuszkach 3 palców: kciuka, palca wskazującego i palca środkowego
- 10 czujników ugięcia – po 2 na każdy z 5-ciu palców prawej dłoni
- 1 akcelerometr



(a) Zewnętrzna część dłoni



(b) Wewnętrzna część dłoni

Rysunek 1: Gotowa rękawica

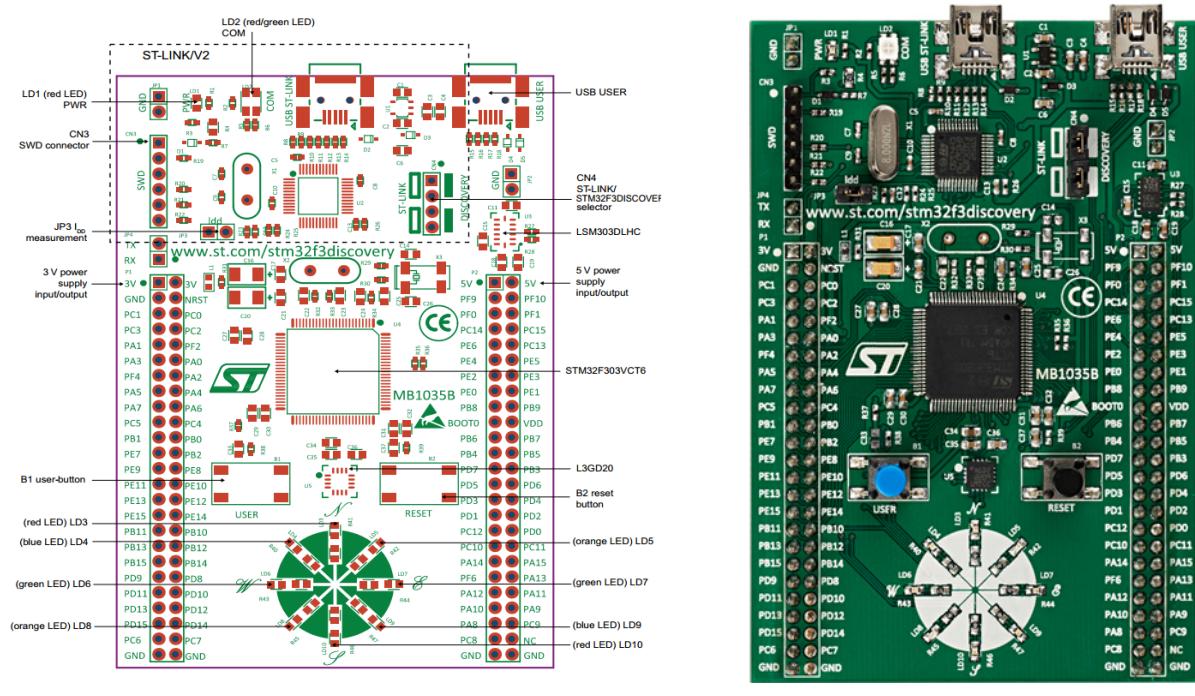


Rysunek 2: Zdjęcie rękawicy w fazie montażu (aktualny rozkład czujników jest zmieniony)

### 3.1.1 Płytkę sterującą

Do sterowania pomiarami i połączeniem z komputerem wykorzystano płytę STM32 Discovery F3. Na płytce znajduje się mikrokontroler STM32F303VCT6, którego piny wyprowadzone są na podwójne listwy goldpin. Dokumentację oraz schemat połączeń płytki można znaleźć na stronie producenta. Wygląd płytki oraz rozmieszczenie elementów ukazano na rysunku 3.

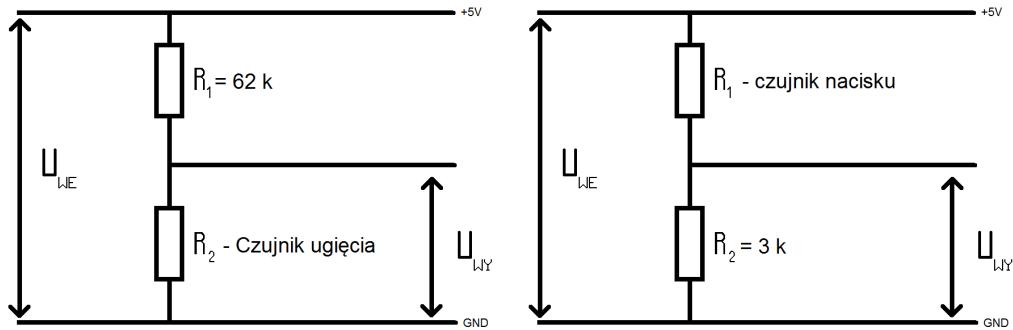
Płytkę została umieszczona na rękawicy na przyszytych żeńskich listwach goldpin, co umożliwia używanie jej jako modułu i odłączenie od urządzenia.



Rysunek 3: Główna płytka sterująca

### 3.1.2 Czujniki

Informacje o sensorach zostały przedstawione w rozdziale: Opis czujników. Aby umożliwić pomiar, stworzono dzielniciki napięciowe dla czujników, których schemat został przedstawiony na rysunku 4.



Rysunek 4: Schematy dzielniców napięciowych do pomiarów

### 3.1.3 Komunikacja

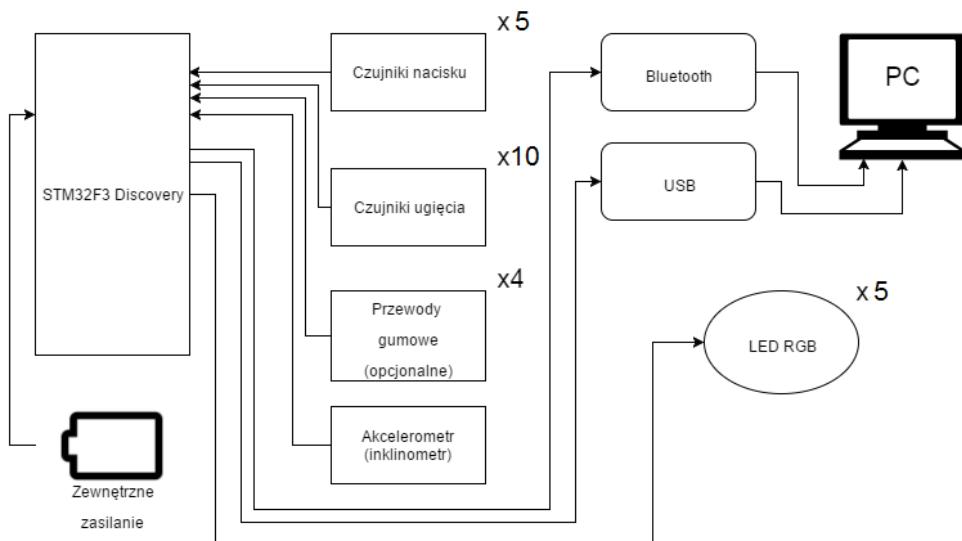
Zapewniono wysyłanie pomiarów i komunikację z komputerem przez 3 media:

- USB – wirtualizacja portu szeregowego z wykorzystaniem middleware USB CDC
- UART – konwerter USB→UART firmy Prolific (115200 b/s)
- BLUETOOTH – moduł HC-06 (zrezygnowano z tego rozwiązania z uwagi na małą maksymalną prędkość przesyłania (9600 b/s))

Komputer odbiera dane za pomocą portu szeregowego.

### 3.1.4 Przewody

Do realizacji połączeń elektrycznych wykorzystano cienkie przewody wielożyłowe. Ideowy schemat połączeń został przedstawiony na rysunku 5.



Rysunek 5: Ideowy schemat połączeń na płytce

### 3.1.5 Interfejs Użytkownika

- Do zmiany metody przesyłania danych wykorzystano przycisk umieszczony na płytce Discovery (niebieski).
- Aktualna metoda przesyłania danych ukazana jest za pomocą trzech LEDów umieszczonych na płytce Discovery.
- Zrezygnowano z wizualizacji nacisku za pomocą diod RGB.

## 3.2 Software

### 3.2.1 Przetwornik Pomiarowy

- Rozdzielcość przetwornika: 12 bitów
- Zakres pomiarowy: (0 – 4095: int), (0 – 3,3 V)
- Pomiar ciągły z wykorzystaniem DMA
- Czas próbkowania: 181,5 Cykli
- Częstotliwość zegara: 32 MHz

### 3.2.2 Przesyłanie danych

- Typ danych: float
- Sposób odbierania danych: COM Port
- Sposób kodowania wiadomości: ANSI
- Suma kontrolna: brak
- Struktura wiadomości: 1 linia danych
  - Znak początku 'S'
  - 15x float – kąty obrotu przegubów palców ( $\pm 180, 0^\circ$ )
  - 5x int – dane z czujników nacisku (0 – 255)
  - 3x float – kąty obrotu parametryzacji Roll Pitch Yaw ( $\pm 180, 0^\circ$ )
  - 3x float – przyśpieszenie w trzech osiach XYZ ( $\pm 18 \frac{m}{s^2}$ )
  - 10x float – odczyty czujników ugięcia (0,0 – 3,3 V)
  - Znak końca 'R'
  - Linia zakończona znakami \r \n

Zrezygnowano ze szczegółowego opisu niskopoziomowego ramki danych, gdyż jest on obsługiwany przez dostępne biblioteki.

## Bluetooth (UART)

- Baud Rate: 9600 b/s (115200 b/s)
- Długość słowa: 8 bit
- Parzystość: brak
- Bity stopu: 1
- Nadpróbkowanie: 16 próbek
- Wykorzystanie przerwań

## USB

- Szybkość: 12 Mb/s
- Maksymalna wielkość pakietu: 64 B

### 3.2.3 Struktury danych

Dane z czujników są przechowywane w następujących strukturach:

```
1 #define FINGER_JOINT_COUNT 3
2 #define FINGER_COUNT 5
3
4 #define FLEX_SENSOR_COUNT 10
5 #define TENSION_SENSOR_COUNT 5
6 #define ACCELEROMETER_AXIS_COUNT 3
7 #define SENSOR_COUNT (FLEX_SENSOR_COUNT+TENSION_SENSOR_COUNT+
     ACCELEROMETER_AXIS_COUNT)
8
9
10 typedef struct s_measurements
11 {
12     uint16_t FlexSensor [FLEX_SENSOR_COUNT];
13     uint16_t TensionSensor [TENSION_SENSOR_COUNT];
14     int16_t Accelerometer [ACCELEROMETER_AXIS_COUNT];
15 } s_measurements;
16
17 typedef struct s_AggregatedMeasurements
18 {
19     float FlexSensor [FLEX_SENSOR_COUNT];
20     uint8_t TensionSensor [TENSION_SENSOR_COUNT];
21     float Accelerometer [ACCELEROMETER_AXIS_COUNT];
22 } s_AggregatedMeasurements;
23
24 typedef struct s_JointAngles
25 {
26     float Joint [FINGER_JOINT_COUNT];
27 } s_JointAngles;
```

### 3.2.4 Przetwarzanie danych

Projekt umożliwia podglądarki następujących parametrów w programie STMStudio:

#### Dane z czujników nacisku:

- Wyrażone w woltach
- Zobrazowane za pomocą przestrzeni kolorów HSV

#### Dane z czujników ugięcia:

- Wyrażone w woltach
- Interpolowane liniowo na kąty w przegubach

#### Dane z akcelerometru:

- Wyrażone w  $m/s^2$

Powыższe wartości są filtrowane na bieżąco przez filtr dolnoprzepustowy ze zmiennym parametrem  $\beta$  (zależnie od metody wysyłania).

$$y[n] - \beta y[n - 1] = (1 - \beta)x[n] \quad (1)$$

Nastawy przegubów są interpolowane funkcją liniową na podstawie pomiarów w skrajnych przypadkach maksymalnego i minimalnego zgęcia. Pomiary obarczone są dużym błędem ze względu na niestabilność konstrukcji (przesuwanie się czujników) oraz trudność w dobraniu metody pomiarowej. Pomiary przedstawiono poniżej.

##### • Kciuk

- Minimalne wartości odczytów czujników: 2500,1850  
Maksymalne wartości odczytów czujników: 2130,2500  
Minimalne zmierzone wartości kątów w przegubach: 0.0,0.0,0.0  
Maksymalne zmierzone wartości kątów w przegubach: 90.0,45.0,70.0

##### • Palec wskazujący

- Minimalne wartości odczytów czujników: 1920,1800  
Maksymalne wartości odczytów czujników: 2760,3200  
Minimalne zmierzone wartości kątów w przegubach: 0.0,0.0,0.0  
Maksymalne zmierzone wartości kątów w przegubach: 85.0,130.0,55.0

##### • Palec środkowy

- Minimalne wartości odczytów czujników: 1920,1650  
Maksymalne wartości odczytów czujników: 2650,2880  
Minimalne zmierzone wartości kątów w przegubach: 0.0,0.0,0.0  
Maksymalne zmierzone wartości kątów w przegubach: 90.0,120.0,70.0

##### • Palec serdeczny

- Minimalne wartości odczytów czujników: 1750,1560  
Maksymalne wartości odczytów czujników: 2300,2300  
Minimalne zmierzone wartości kątów w przegubach: 0.0,0.0,0.0  
Maksymalne zmierzone wartości kątów w przegubach: 80.0,100.0,85.0

- **Palec mały**

Minimalne wartości odczytów czujników: 1520,1440

Maksymalne wartości odczytów czujników: 2580,2930

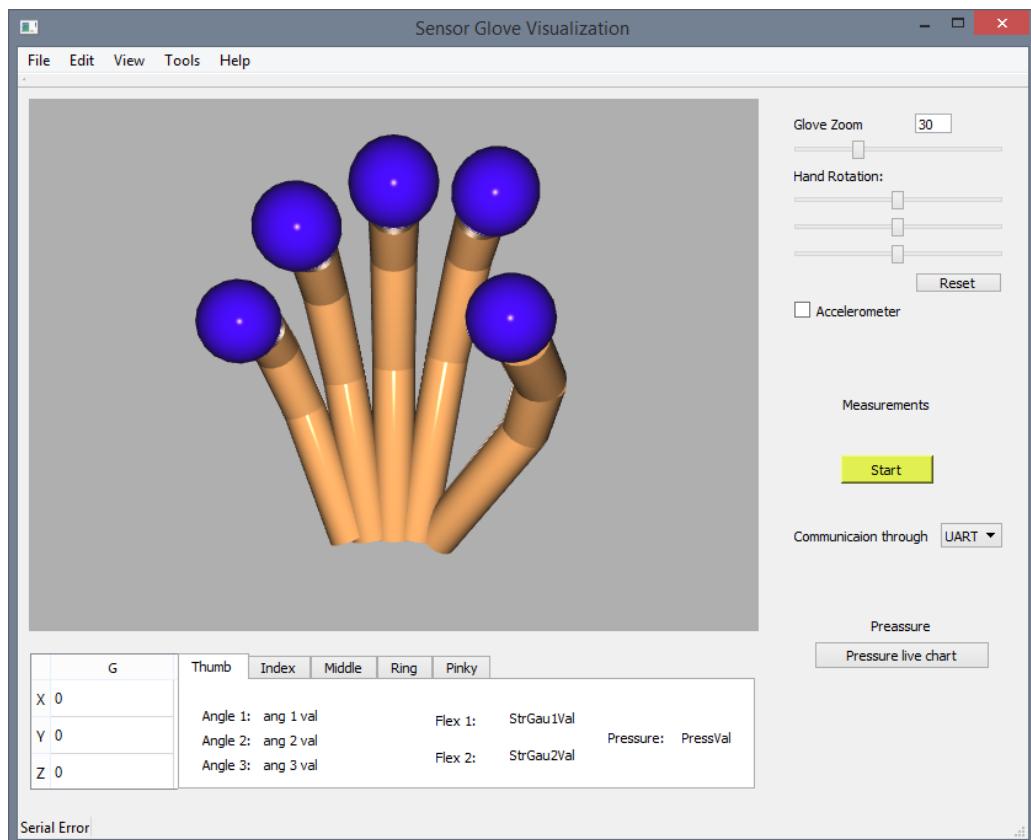
Minimalne zmierzone wartości kątów w przegubach: 0.0,0.0,0.0

Maksymalne zmierzone wartości kątów w przegubach: 90.0,90.0,90.0

### 3.3 Wizualizacja

#### 3.3.1 Interfejs graficzny

Aplikacja pozwala na wizualizację modelu ręki na podstawie odczytów z czujników. Powstała we frameworku Qt. Aktualny interfejs graficzny wyświetla uproszczony model dłoni [rys. 6].



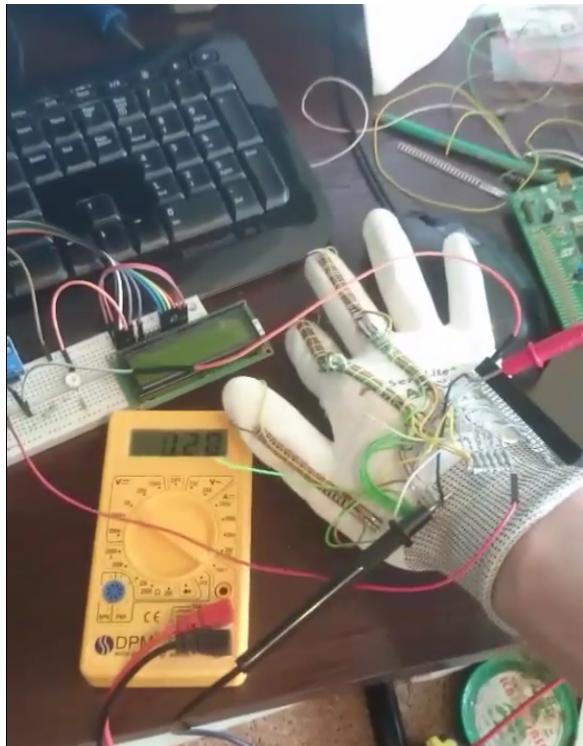
Rysunek 6: Aktualny interfejs graficzny

#### 3.3.2 Funkcjonalności aplikacji

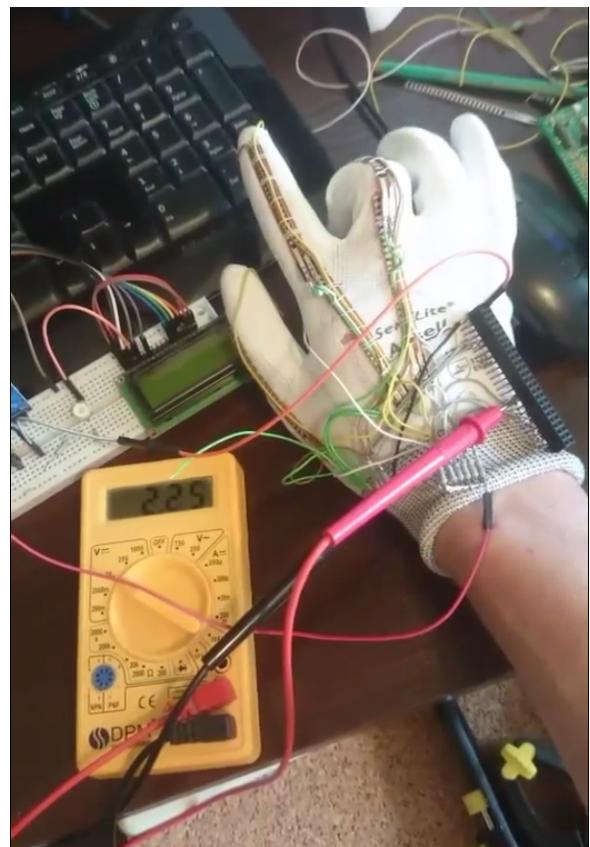
Aplikacja okienkowa do wizualizacji została napisana w języku C++ z użyciem biblioteki Qt.

- Wizualizacja poruszania modelem dłoni na podstawie odczytów z czujników i akcelerometru
- Wybór opcji połączenia z rękawicą sensoryczną (Bluetooth, USB, UART)
- Uruchomienie i zatrzymanie pomiarów, wykonanie pojedynczego pomiaru
- Skalowanie modelu dłoni poprzez suwak lub wpisanie rozmiarów
- Zmiana położenia i orientacji kamery z poziomu interfejsu graficznego

- Zmiana rotacji modelu dłoni (RPY) poprzez suwaki interfejsu graficznego
- Wyświetlanie liczbowo wyników pomiarów i możliwość zapisania ich do pliku
- Wyświetlenie dynamicznego wykresu odczytu nacisku wybranego palca w czasie



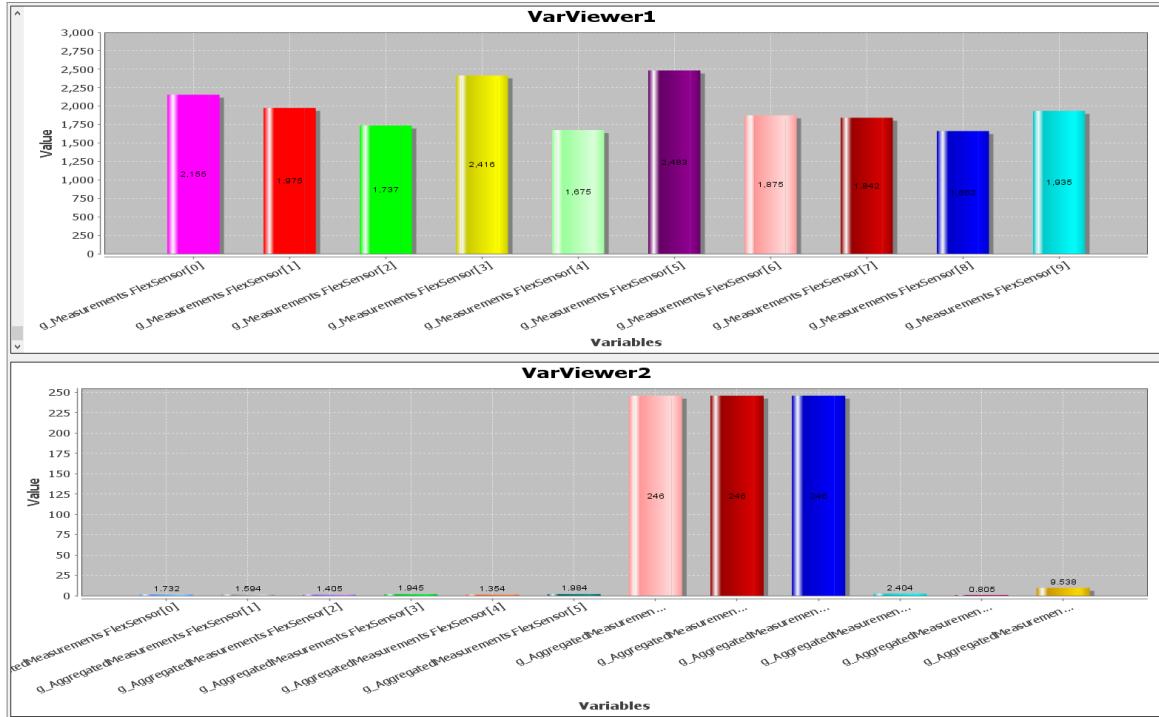
(a) Testowanie czujników nacisku



(b) Testowanie czujników ugięcia

Rysunek 7: Testy

Rysunek 8: Wysyłane dane wyświetcone na terminalu



Rysunek 9: Pobierane dane wyświetcone w STMStudio

## 4 Badania z wykorzystaniem rękawicy

Rękawica sensoryczna pozwala na zbieranie pomiarów i próbę jak najdokładniejszego wykrycia konkretnych gestów ludzkiej dłoni na podstawie odczytów z czujników. Takie badania mogą być wykorzystywane m.in. przy rozwoju protez biomedycznych. Mogą też posłużyć do sterowania robotami lub systemami automatyki (np. budynkowej). Przyporządkowanie gestu do wykonywanej czynności daje możliwość kontroli systemu.

Identyfikacja gestów sprowadza się do ustalenia odpowiednich progów na niektórych czujnikach ugięcia i nacisku, po których przekroczeniu sygnalizuje się wykrycie gestu.

#### 4.1 Dane pomiarowe

Zbadano poprawność pozyskiwania i wysyłania danych pomiarowych za pomocą terminala (Re-alterm) oraz programu STMStudio. Wyniki przedstawiono na rysunkach 8. i 9.

#### 4.2 Przykładowe gesty i metoda ich identyfikacji

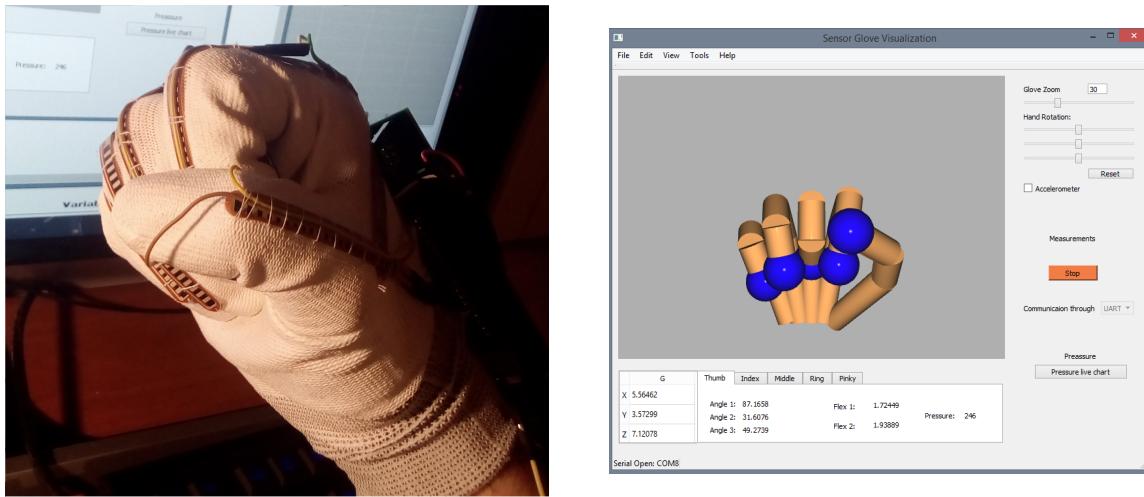
**Zaciśnięta pieśń** Katy we wszystkich przegubach przekraczają określona wartość. (rys. 10)

**Otwarta dłoń** Kąty we wszystkich przegubach nie przekraczają określonej wartości. (rys. 11)

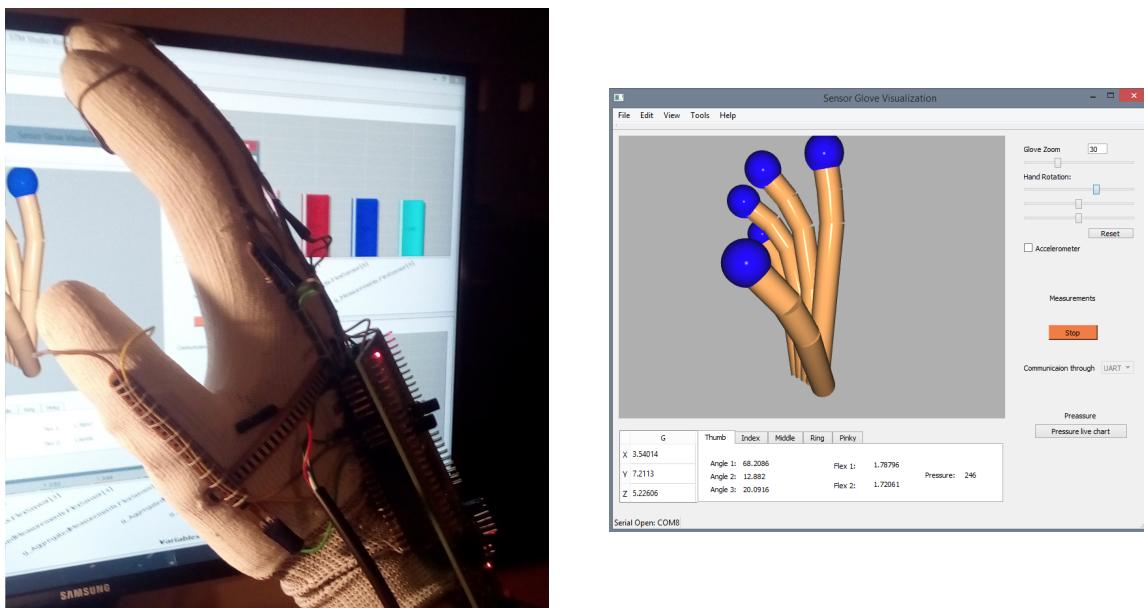
**OK** Nacisk na palcach przekracza określona wartość. (rys. 12)

**Pacyfka** Kąty w przegubach kciuka oraz palców wskazującego i środkowego nie przekraczają określonej wartości. Kąty w przegubach palców serdecznego i małego przekraczają określoną wartość. (rys. 13)

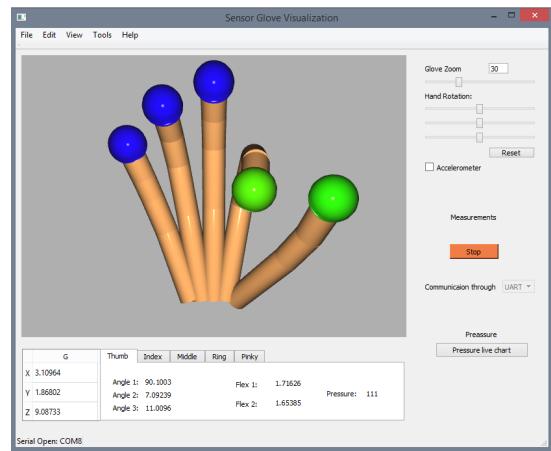
**Wskazywanie palcem** Kąty w przegubach kciuka oraz palców środkowego, serdecznego i małego przekraczają określoną wartość. Kąty w przegubach palców wskazującego i kciuka nie przekraczają określonej wartości. (rys. 14)



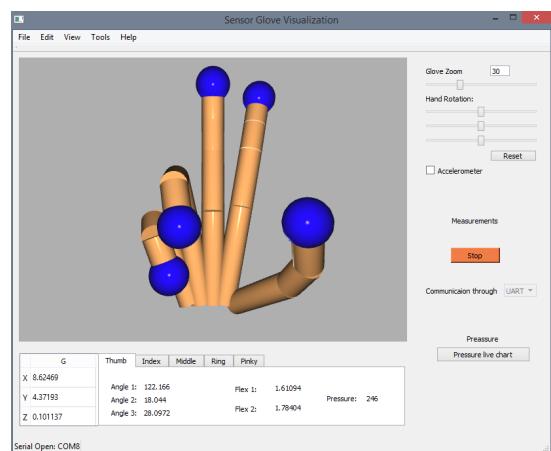
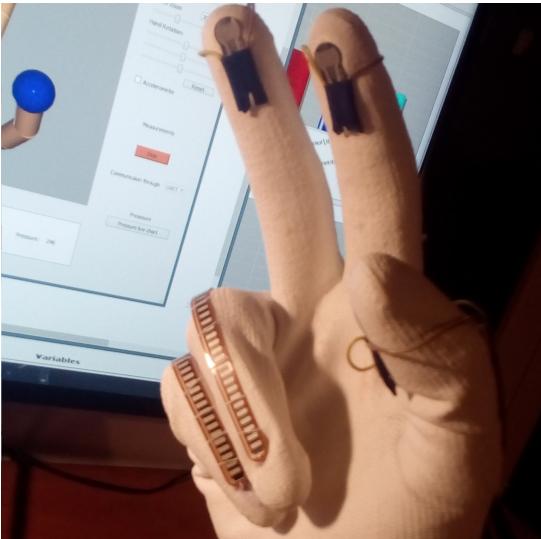
Rysunek 10: Gest – zaciśnięta pięść



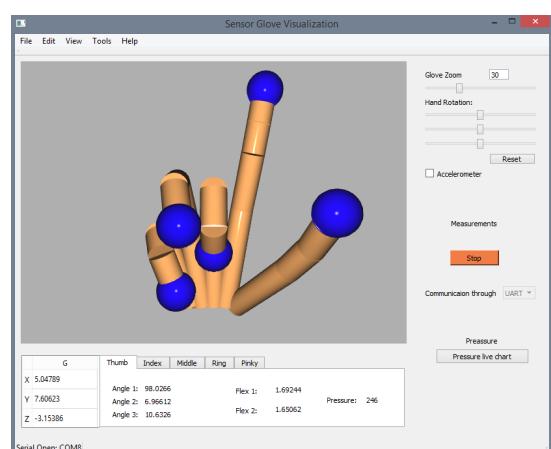
Rysunek 11: Gest – otwarta dłoń



Rysunek 12: Gest – OK



Rysunek 13: Gest – pacyfka



Rysunek 14: Gest – wskazywanie palcem

## 5 Podsumowanie

### 5.1 Problemy podczas konstrukcji

- *Mała powierzchnia czujników nacisku* – przy niektórych chwytach człowiek wykorzystuje różne części palców, np. powierzchnię boczną, a czujniki umieszczone są tylko na opusz-  
kach
- *Problem z umieszczeniem czujnika rotacji kciuka* – jest to złożony ruch, trudno wychwycić go jednym wąskim czujnikiem
- *Różnice w dloniach konstruktorów* – rękawica musi pasować do konkretnej dłoni, żeby czujniki były na odpowiednich miejscach i poprawnie zbierały pomiary
- *Mała dokładność czujników, przesuwanie się ich na rękawicy*
- *Niedoskonałość pomiarów kątów zgięcia palców* – przy danej konstrukcji i typie czujników nie jest możliwe uzyskanie tak wysokiej dokładności, jak zakładano
- *Trudności w uzyskaniu poprawnego działania aproksymacji kątów z akcelerometru*
- *Kłopoty z interpolacją / aproksymacją* – jest to trudne do uzyskania w C
- *Komplikacje przy zamówieniu elementów elektronicznych na katedrę* – brak kontaktu z laborantem sprawił, że przez pewien czas nie można było uzyskać informacji, czy zamówienie zostało złożone, co poskutkowało opóźnieniem projektu

### 5.2 Zmiany w założeniach projektowych

- *Zamontowanie na opuszkach LEDów wizualizujących odczyty z czujników nacisku* – za-brakło miejsca, bo czujniki trzeba było przesunąć w stosunku do wstępnego schematu, a poza tym każda dioda wymagałaby 4 kabli, co utrudniałoby ruchy dloni
- *Bezprzewodowe przesyłanie danych do komputera za pomocą modułu Bluetooth* – zrezygnowano, bo okazało się za wolne (BaudRate 9600 nie wystarcza)

### 5.3 Pomyśły na rozwinięcie projektu

- RPY z wielu akcelerometrów
- Dokładniejsze pomiary i metoda interpolacji
- Wykrywanie większej ilości gestów
- Sterowanie robotem za pomocą gestów
- Dodatkowe czujniki nacisku