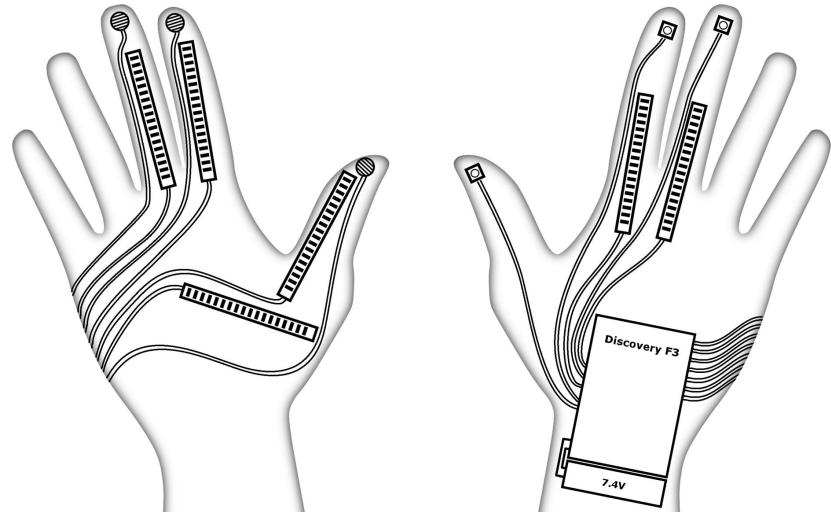


# Dokumentacja techniczna projektu Rękawica Sensoryczna

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 z 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      | Połączenie z komputerem . . . . .                 | 5        |
| 3.2      | Struktury danych . . . . .                        | 5        |
| 3.3      | Wizualizacja dloni . . . . .                      | 6        |
| 3.4      | Pomiar parametrów w czasie rzeczywistym . . . . . | 6        |
| <b>4</b> | <b>Badania z wykorzystaniem rękawicy</b>          | <b>8</b> |
| 4.1      | Dane pomiarowe . . . . .                          | 8        |
| 4.2      | Przykładowe gesty . . . . .                       | 8        |
| <b>5</b> | <b>Podsumowanie</b>                               | <b>9</b> |
| 5.1      | Problemy podczas konstrukcji . . . . .            | 9        |
| 5.2      | Zmiany w założeniach projektowych . . . . .       | 11       |
| 5.3      | Pomysły na rozwinięcie projektu . . . . .         | 12       |

# 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 [rys. 1].
- Do wykrycia zgięcia stawów międzypaliczkowych i śródręczno-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 z 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 |

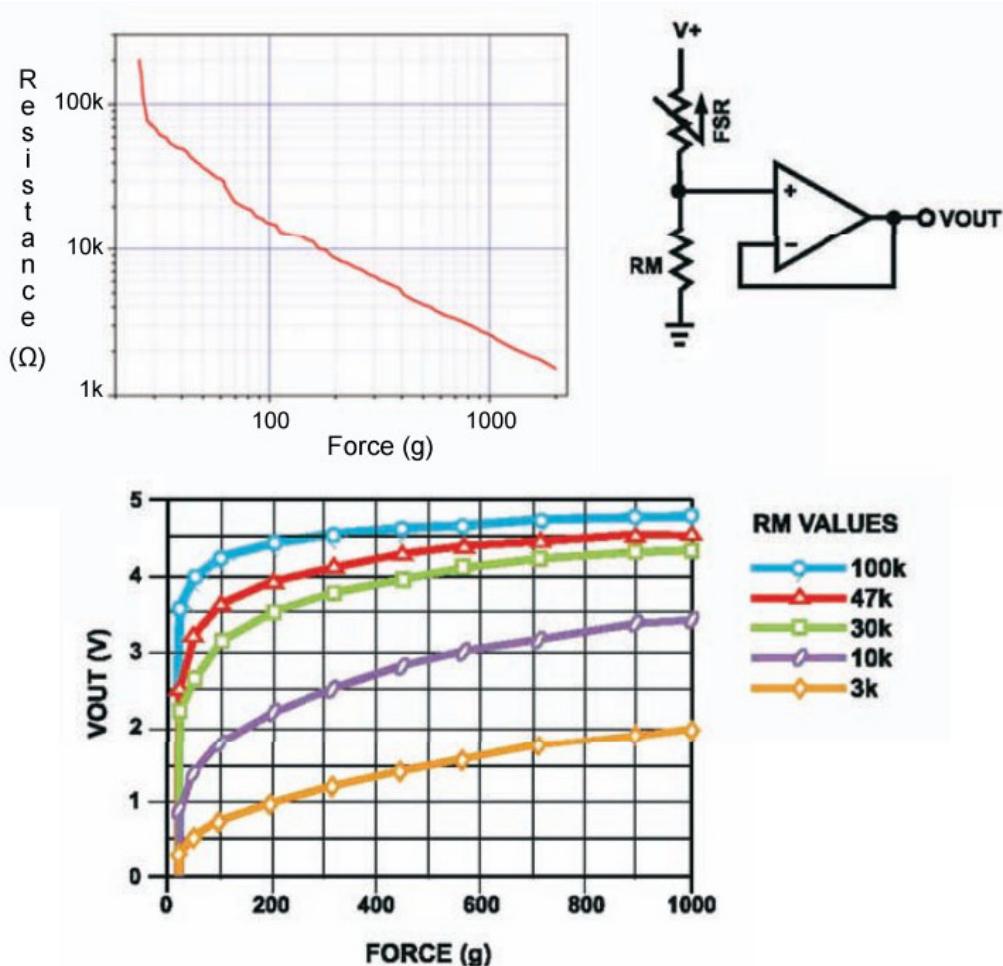
Tablica 1: Czujnik siły nacisku FSR-400

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| 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   |

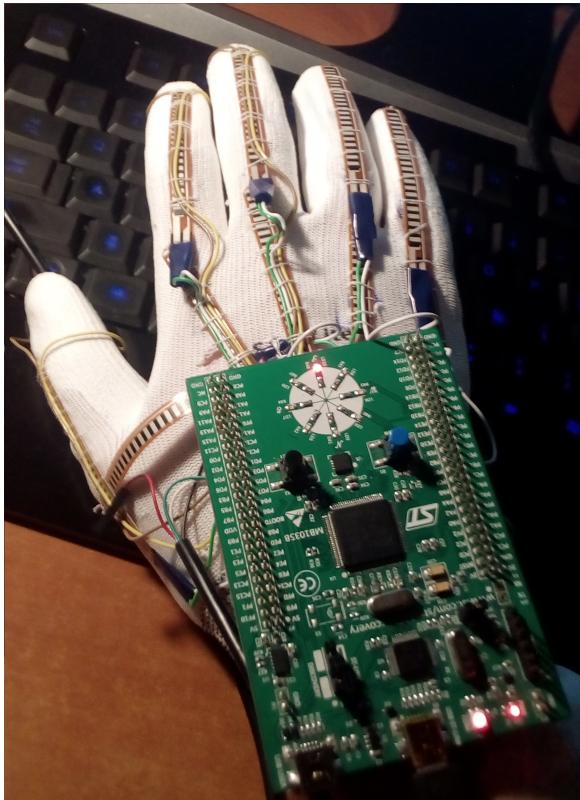
Tablica 3: LSM303DLHC – 3-osiowy akcelerometr i magnetometr I2C



Rysunek 1: Układ pomiarowy oraz wykresy zależności napięć i rezystancji od przyłożonej siły dla czujnika FSR-400

### 3 Elementy składowe projektu

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



(a) Zewnętrzna część dłoni



(b) Wewnętrzna część dłoni

Rysunek 2: Gotowa rękawica

### 3.1 Połączenie z komputerem

Płytkę STM32F3DISCOVERY potrafi połączyć się z komputerem za pomocą interfejsu USB i UART. Zrezygnowano z połączenia za pomocą Bluetooth ze względu na zbyt małą szybkość przesyłania oraz niepoprawne funkcjonowanie modułu Bluetooth komputera.

### 3.2 Struktury danych

Dane z czujników są przechowywane w następujących strukturach:

```

1 #define FINGER_JOINT_COUNT 3
2 #define FINGER_COUNT 5
3 #define FLEX_SENSOR_COUNT 10
4 #define TENSION_SENSOR_COUNT 5
5 #define ACCELEROMETER_AXIS_COUNT 3
6 #define SENSOR_COUNT (FLEX_SENSOR_COUNT+TENSION_SENSOR_COUNT+
    ACCELEROMETER_AXIS_COUNT)

7
8
9 typedef struct s_measurements
10 {
11     uint16_t FlexSensor [FLEX_SENSOR_COUNT] ;
12     uint16_t TensionSensor [TENSION_SENSOR_COUNT] ;
13     int16_t Accelerometer [ACCELEROMETER_AXIS_COUNT] ;
14 } s_measurements;

```



Rysunek 3: Zdjęcie rękawicy w fazie montażu (aktualny rozkład czujników jest zmieniony)

```
15 typedef struct s_AggregatedMeasurements
16 {
17     float FlexSensor [FLEX_SENSOR_COUNT];
18     uint8_t TensionSensor [TENSION_SENSOR_COUNT];
19     float Accelerometer [ACCELEROMETER_AXIS_COUNT];
20 } s_AggregatedMeasurements;
21
22 typedef struct s_JointAngles
23 {
24     float Joint [FINGER_JOINT_COUNT];
25 } s_JointAngles;
```

### 3.3 Wizualizacja dłoni

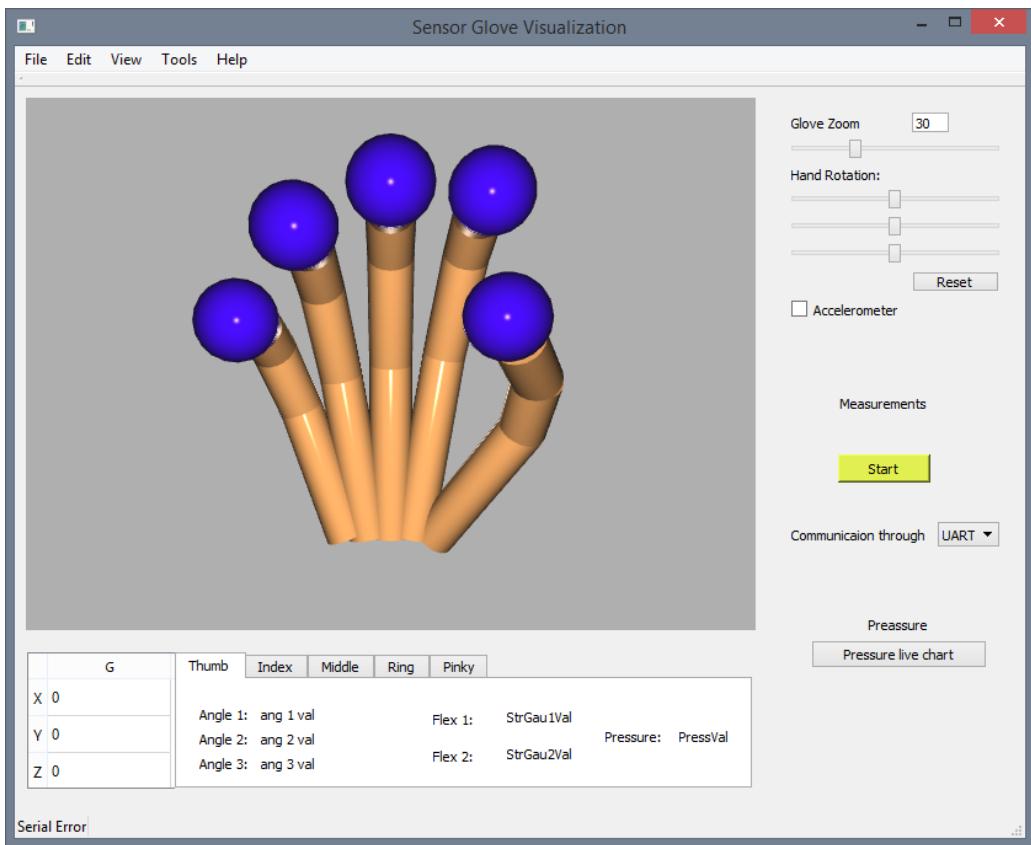
#### 3.3.1 Interfejs graficzny

Aplikacja pozwala na wizualizację modelu ręki na podstawie odczytów z czujników. Powstała we frameworku Qt. Aktualny interfejs graficzny wyświetla uproszczony model dłoni [rys. 4].

#### 3.3.2 Funkcjonalności aplikacji

Zostanie stworzona aplikacja okienkowa do wizualizacji 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 wpisanie rozmiarów oraz suwak.
- Zmiana położenia i orientacji kamery z poziomu interfejsu graficznego.
- Zmiana rotacji modelu dłoni (RPY) poprzez suwaki interfejsu graficznego.



Rysunek 4: Aktualny interfejs graficzny

- Wyświetlanie liczbowo wyników pomiarów i możliwość zapisania ich do pliku.
- Wyświetlenie dynamicznego wykresu odczytu nacisku wybranego palca w czasie.

### 3.4 Pomiar parametrów w czasie rzeczywistym

Projekt umożliwia podglądarkanie następujących parametrów w programie STMStudio:

#### Dane z czujników nacisku:

- Wyrażone w voltach
- Zobrazowane za pomocą przestrzeni kolorów HSV

#### Dane z czujników ugięcia:

- Wyrażone w voltach
- Interpolowane liniowo na kąty w przegubach

#### Dane z akcelerometru:

- Wyrażone w  $m/s^2$

Powyzsze 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 zgięcia. 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

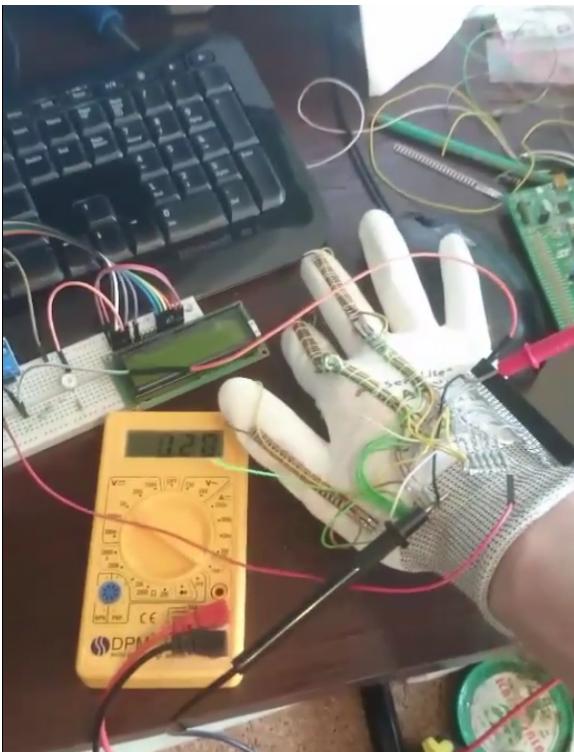
- **Palec mały**

Minimalne wartości odczytów czujników: 1520,1440

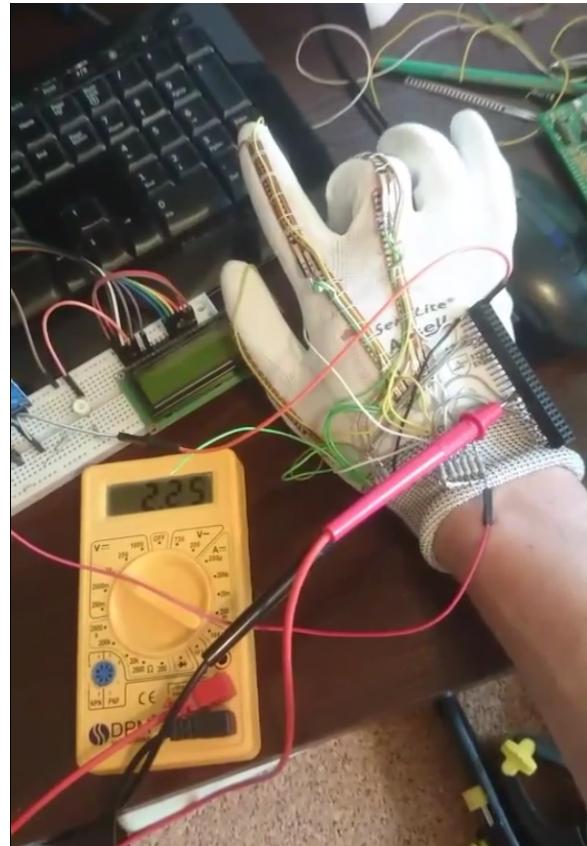
Maksymalne wartości odczytów czujników: 2580,2930

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

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



(a) Testowanie czujników nacisku



(b) Testowanie czujników ugięcia

Rysunek 5: Testy

```

9 1 -744272 1.346838 1.288648 1.264757 1.283155 1.299742 1.231055 1.118939 1.065654 1.060356 R0j2
881.610481 -19.252480 29.991519 1.264757 1.283155 1.299742 1.231055 1.118939 1.065654 1.060356 R0j2
881.566685 -19.238380 29.971580 32.454148 -21.376657 -3.657937 -40.409645 3.569306 -2.099171 -32.339463 -23.182133 -19.708277 -16.767653 -7.508025 -7.495072 231 231 231 231 231 231 0.000000 -1.316868 -0.052469 2.461413 2.125296 9.24521
881.505620 -19.224846 29.946496 -32.439872 -21.388618 -3.652334 -40.371069 3.543686 -2.088516 -32.311428 -23.152145 -19.682648 -16.759211 -7.493141 -7.487619 231 231 231 231 231 231 0.000000 -1.316968 -0.052774 2.459494 2.124562 9.24163
881.744755 1.347152 289168 1.263273 1.283152 1.300965 1.231054 1.118938 1.065653 1.060356 R0j2
881.744914 1.347258 1.289273 1.263637 1.283705 1.300913 1.231054 1.118938 1.065653 1.060356 R0j2
881.745098 1.347392 1.289374 1.263689 1.283803 1.3009270 1.231052 1.118937 1.065652 1.060356 R0j2
881.745243 1.347487 1.289342 1.265519 1.283864 1.300933 1.231052 1.118937 1.065652 1.060356 R0j2
881.318253 1.347897 -29.881418 -32.361404 -21.371722 -3.627785 -40.349584 3.502579 -2.069994 -32.231647 -23.084000 -19.624228 -16.719027 -7.472042 -7.462615 231 231 231 231 231 0.000000 -1.316642 -0.052698 2.462562 2.126296 9.24029
881.226332 -19.222408 29.86162 32.360844 -21.372380 -3.624566 -40.349429 3.491265 -2.053526 -32.222382 -23.063343 -19.606556 -16.705238 -7.462093 -2.454045 231 231 231

```

Rysunek 6: Wysyłane dane wyświetcone na terminalu

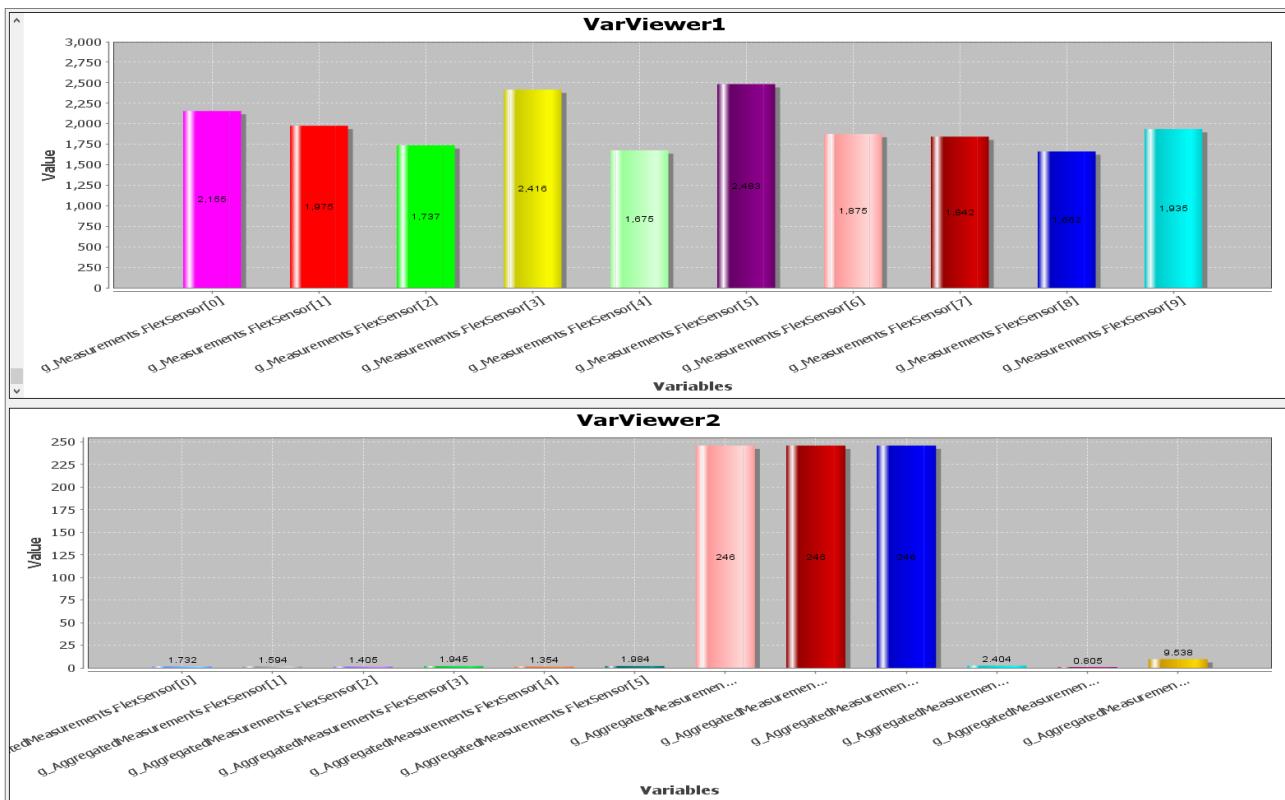
## 4 Badania z wykorzystaniem rękawicy

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. Takie gesty mogą posłużyć sterowaniu robotem lub systemem automatyki (np. budynkowej). Przyporządkowanie gestu do wykonywanej czynności daje możliwość kontroli systemu.

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

### 4.1 Dane pomiarowe

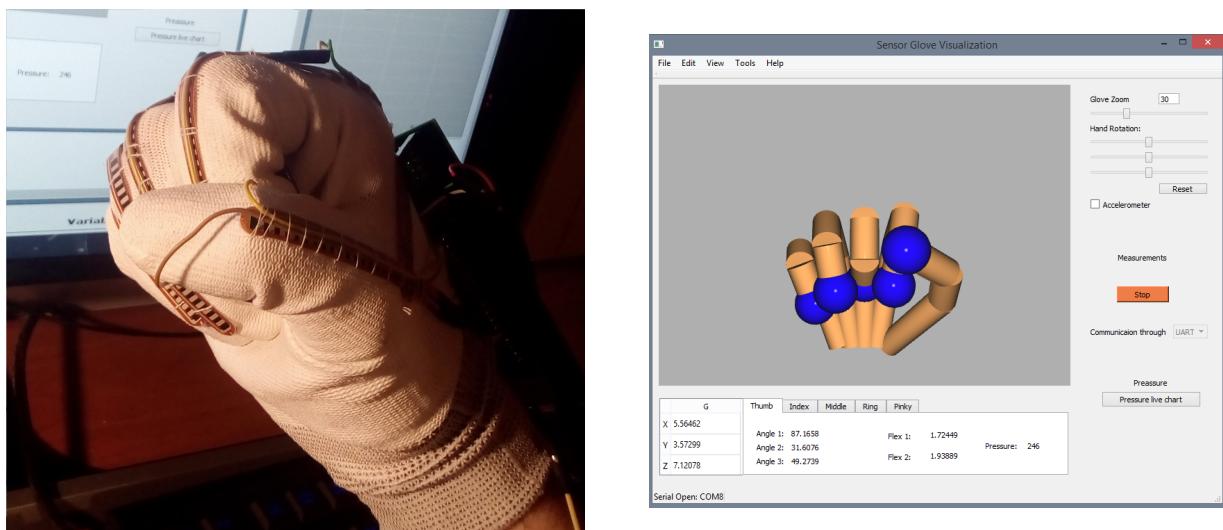
Zbadano poprawność pozyskiwania i wysyłania danych pomiarowych za pomocą terminala (Re-alterm) oraz programu STMStudio. Wyniki przedstawiono na rysunkach (6, 7).



Rysunek 7: Pobierane dane wyświetcone w STMStudio

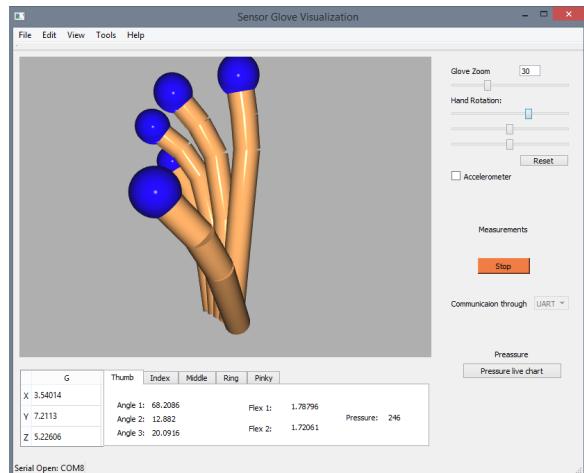
## 4.2 Przykładowe gesty

Badane gesty zostały przedstawione na rysunkach (8, 9, 10, 11, 12).



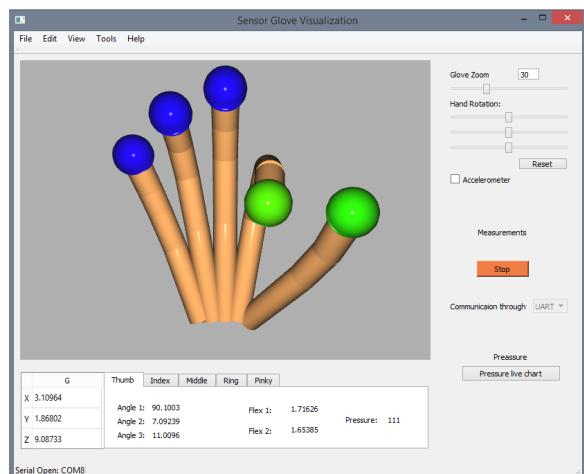
Rysunek 8: Gest – zaciśnięta pięść

Metoda identyfikacji: Kąty we wszystkich przegubach przekraczają określona wartość.



Rysunek 9: Gest – otwarta dłoń

Metoda identyfikacji: Kąty we wszystkich przegubach nie przekraczają określonej wartości.



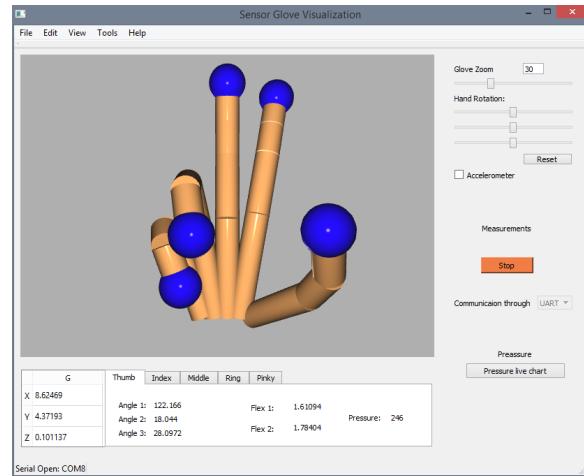
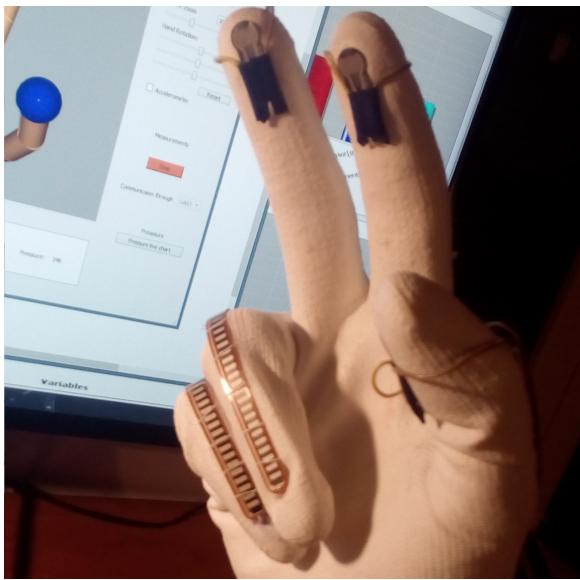
Rysunek 10: Gest – OK

Metoda identyfikacji: Nacisk na palcach przekracza określona wartość.

## 5 Podsumowanie

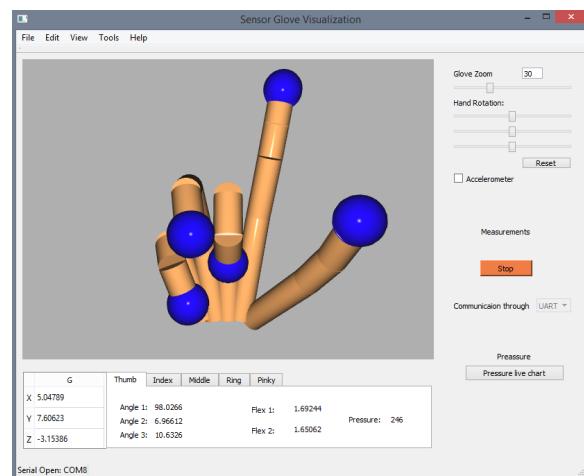
### 5.1 Problemy podczas konstrukcji

- *Mała powierzchnia czujników nacisku* – przy niektórych chwytach człowiek wykorzystuje różne części palców, np. powierzchnię boczną, a czujniki umieszczone są tylko na opuszczakach
- *Problem z umieszczeniem czujnika rotacji kciuka* – jest to złożony ruch, trudno wychwycić go jednym wąskim czujnikiem



Rysunek 11: Gest – pacyfka

Metoda identyfikacji: Kąty w przegubach kciuka oraz palców wskazującego i środkowego nie przekraczają określonej wartości. Kąty w przegubach palców serdecznego i małego przekraczają określoną wartość.



Rysunek 12: Gest – wskazywanie palcem

Metoda identyfikacji: Kąty w przegubach kciuka oraz palców środkowego, serdecznego i małego przekraczają określoną wartość. Kąty w przegubach palców wskazującego i kciuka nie przekraczają określonej wartości.

- *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 sprawiła, 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 opuszczakach 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