

PROJEKT
WIZUALIZACJA DANYCH SENSORYCZNYCH

Skaner 3D

Adam Jankowiak, 252919

Prowadzący:
dr inż. Bogdan Kreczmer



Katedra Cybernetyki i Robotyki
Wydziału Elektroniki, Fotoniki i
Mikrosystemów
Politechniki Wrocławskiej

Spis treści

1	Charakterystyka tematu projektu	1
2	Podcele i etapy realizacji projektu	1
3	Specyfikacja finalnego produktu	2
4	Terminarz realizacji poszczególnych podcelów	2
4.1	Kamienie milowe	3
5	Projekt graficzny interfejsu użytkownika	4
5.1	Scenariusze działania aplikacji	5
6	Uzyskane wstępne wyniki	5
6.1	Projekt układu elektronicznego	5
6.2	Programowanie mikrokontrolera	7
6.2.1	Konwersja danych	7
6.3	Komunikacja	7
7	Rezultaty zaawansowane	8
7.1	Doxxygen	8
7.2	Widok finalnej aplikacji	8
8	Rezultaty prawie końcowe	9
8.1	Wyświetlanie wstępnych wyników	9
8.2	Sprawdzanie połączenia	9
8.3	Wybieranie danych punktów	10
9	Testy działania	11
10	Finalny efekt	13

1 Charakterystyka tematu projektu

Główną tematyką poruszaną w projekcie jest skanowanie obiektów w trzech wymiarach. Celem projektu jest stworzenie działającego skanera 3D, który w czasie rzeczywistym będzie przesyłał dane do komputera. Skaner wykorzystuje dalmierz laserowy oraz 2 silniki krokowe. Dokonując odpowiednie przekształcenia matematyczne, głównie trygonometrię, uzyskujemy dużą ilość punktów, które są umieszczone w przestrzeni euklidesowej. Celem aplikacji jest odebranie uzyskanych danych i wyświetlenie ich w trójwymiarowej przestrzeni. Umożliwi to użytkownikowi analizę danego obiektu oraz dokładne zwymiarowanie przedmiotu.

2 Podcele i etapy realizacji projektu

Lista podcelów:

- Przegląd literatury i zasobów Internetu związanych z tematem projektu [1], [3] oraz [2]
- Projekt układu elektronicznego (schemat ideowy)
- Zaprogramowanie mikrokontrolera do komunikacji z komputerem
- Napisanie części programu odpowiedzialnej za przesył danych z i do mikrokontrolera
- Dodanie sumy kontrolnej podczas przesyłu danych
- Testowanie i eliminacja występujących błędów w komunikacji
- Wstępne dodanie trybu graficznego wraz z rozmieszczeniem elementów
- Ustawienie przycisków wraz z odpowiednimi komunikatami
- Wyświetlanie siatki punktów w trakcie pracy skanera
- Dodanie ikony wskazującej połączenie z mikrokontrolerem oraz dodanie parametrów pracy
- Unifikacja programu w zależności od danego regionu/języka
- Finalne testowanie pełnego oprogramowania wraz z wyszukiwaniem błędów
- Poprawa znalezionych problemów

3 Specyfikacja finalnego produktu

Najważniejsze funkcjonalności:

- Możliwość ustawienia przez użytkownika odpowiednich trybów pracy skanera
- Przycisk Start oraz Stop, które umożliwiają rozpoczęcie oraz wstrzymanie pracy urządzenia
- Ikonka wskazująca czy aplikacja jest połączona z urządzeniem
- Przycisk Ustaw umożliwiający ponowne dokonanie skanowania
- Obracanie zeskanowanego przedmiotu w aplikacji
- Wyświetlanie kąta pod którym znajduje się widok/kamera użytkownika
- Możliwość zmiany języka, jednostek w zależności od regionu

Głównym celem projektu jest stworzenie w pełni funkcjonalnej aplikacji, która umożliwia wyświetlanie i analizę zeskanowanego obiektu. Dokładność dokonywanych pomiarów jest zależna od dużej ilości czynników takich jak niepewność pomiaru odległości przez sam czujnik, luzy występujące na stelażu, niepewność przy zaokrąglaniu wyników.

4 Terminarz realizacji poszczególnych podcelów

- 21 marca 2022 – zakończenie przeglądu materiałów związanych z danym tematem
- 28 marca 2022 – schemat układu elektronicznego
- 4 kwietnia 2022 – Zaprogramowanie mikrokontrolera do komunikacji z komputerem
- 11 kwietnia 2022 – Napisanie części programu odpowiedzialnej za przesył danych z i do mikrokontrolera
- 25 kwietnia 2022 – Dodanie sumy kontrolnej podczas przesyłu danych
- 2 maja 2022 – Testowanie i eliminacja występujących błędów w komunikacji
- 9 maja 2022 – Wstępne dodanie trybu graficznego wraz z rozmieszczeniem elementów
- 16 maja 2022 – Ustawienie przycisków wraz z odpowiednimi komunikatami
- 23 maja 2022 – Wyświetlanie siatki punktów w trakcie pracy skanera
- 30 maja 2022 – Dodanie ikon oraz parametrów pracy urządzenia
- 6 czerwca 2022 – Unifikacja programu w zależności od danego regionu/języka

- 13 czerwca 2022 – Finalne testowanie pełnego oprogramowania wraz z wyszukiwaniem błędów
- 20 czerwca 2022 – Poprawa znalezionych problemów

Poniżej znajduje się rysunek 1 przedstawiający diagram Gantta.



Rysunek 1: Diagram Gantta

4.1 Kamienie milowe

I Kamień milowy - 09.05.2022

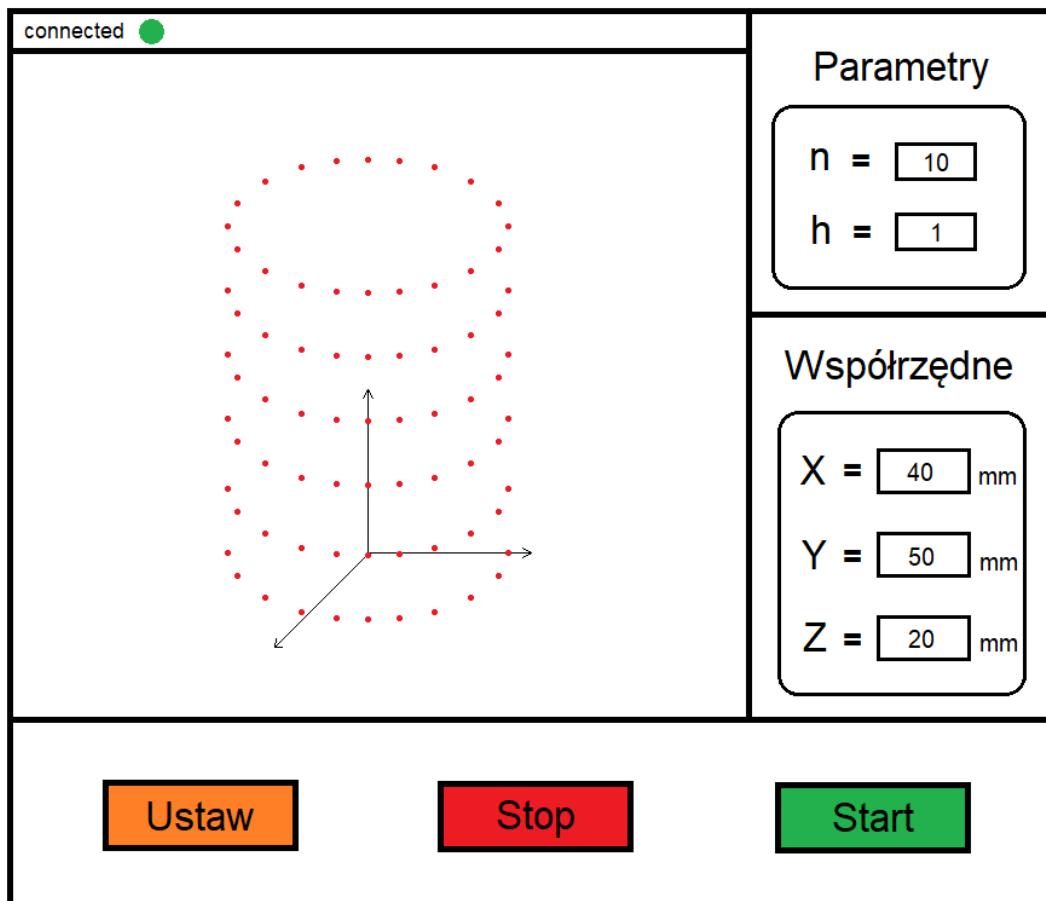
Dokonany zostanie przegląd dostępnych materiałów dydaktycznych, zostanie stworzony ideowy schemat elektryczny. Umożliwi się komunikację między mikrokontrolerem a aplikacją, dodana zostanie także suma kontrolna, która wyeliminuje powstawanie błędów w trakcie komunikacji. Na samym końcu 1 etapu całość zostanie poddana testowaniu w celu wyeliminowania błędów.

II Kamień milowy - 20.06.2022

Wstępna implementacja trybu graficznego w aplikacji, zostaną wydzielone odpowiednie okna, przyciski. Następnie zostanie dodana możliwość wyświetlania siatki skanowanego obiektu w trzech wymiarach. Użytkownik będzie w stanie z poziomu aplikacji wpływać na parametry skanowania takie jak rozdzielczość. Bardzo ważnym elementem w tym etapie jest uniwersalność działania w zależności od regionu i języka z jakiego korzysta użytkownik. Na samym końcu zostaną wykonane niezbędne testy całej aplikacji oraz zostaną dokonane niezbędne poprawki.

5 Projekt graficzny interfejsu użytkownika

Na poniższym rysunku 2 znajduje się projekt graficzny interfejsu użytkownika.



Rysunek 2: Projekt graficzny interfejsu użytkownika

Funkcjonalności dostarczane przez aplikację

- **Start** - przycisk umożliwia użytkownikowi rozpoczęcie skanowania obiektu
- **Stop** - przycisk umożliwia użytkownikowi nagłe zatrzymanie skanowania
- **Ustaw** - przycisk umożliwia użytkownikowi ustawienie odpowiednich parametrów skanowania
- Tabela **Parametry** - zawiera dwie pozycje: **n** - oznacz ilość pomiarów dokonywanych w trakcie jednego obrotu oraz **h** - oznacza odległość podaną w mm pomiędzy pomiarami na osi z
- Tabela **Współrzędne** wskazuje pozycję wybranego punktu. Dodatkowo użytkownik będzie w stanie zaznaczyć wszystkie punkty na danej wysokości.
- **Czerwono/zielona dioda** pokazuje czy aplikacja jest połączona z mikrokontrolerem.

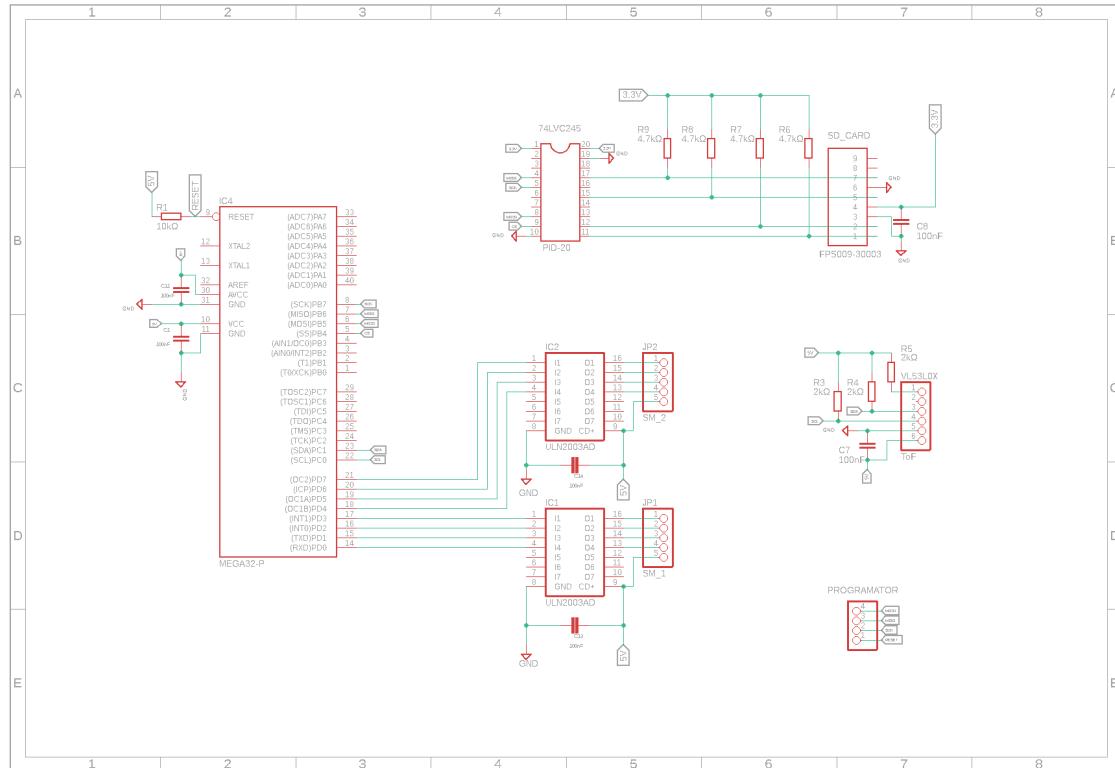
5.1 Scenariusze działania aplikacji

Na samym początku użytkownik ustawia odpowiednie parametry pracy skanera, następnie klikając przycisk **Ustaw** aplikacja wysyła parametry do mikrokontrolera po czym następuje kalibracja urządzenia. Po dokonaniu kalibracji mikrokontroler przesyła informacje o skończeniu czynności do aplikacji. Następnie użytkownik może nacisnąć przycisk **Start**, który wysyła sygnał do skanera o rozpoczęciu skanowania obiektu. W trakcie dokonywania pomiarów na animacji przestrzeni euklidesowej zaczyna pojawiać się pojedyncze punkty. Po dokonaniu pomiarów istnieje możliwość zaznaczenia odpowiedniego punktu oraz wyświetlenia jego współrzędnych. Użytkownik w tym momencie jest w stanie zatrzymać skanowanie za pomocą przycisku **Stop**. Wznowienie skanowania jest możliwe poprzez naciśnięcie przycisku **Start**. W celu zresetowania aplikacji użytkownik musi jeszcze raz wcisnąć przycisk **Ustaw**. Dodatkowo podczas pracy aplikacji przyciski, które nie będą chwilowo dostępne takie jak przycisk **Start** w momencie gdy skaner będzie w trakcie kalibracji, będą miały szary odcień.

6 Uzyskane wstępne wyniki

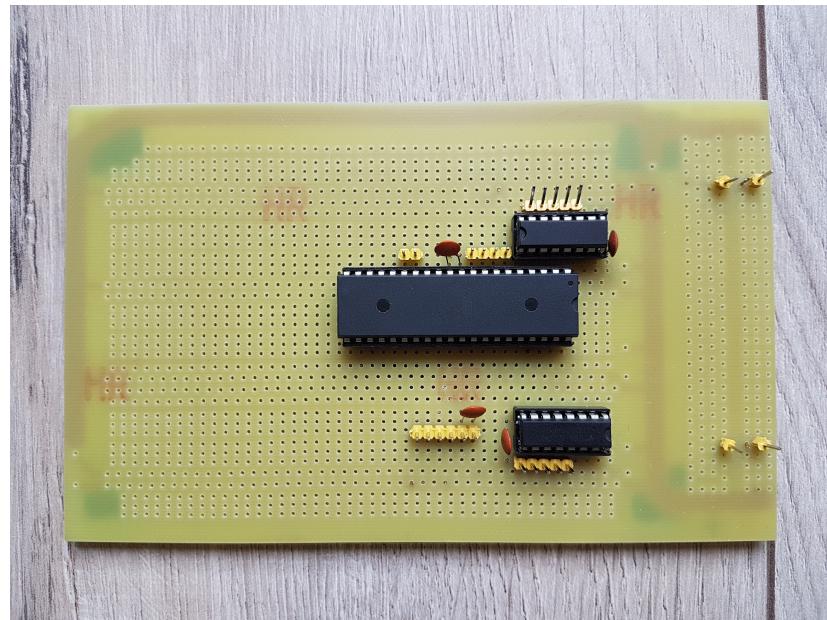
6.1 Projekt układu elektronicznego

Projekt schematu elektronicznego został stworzony w programie Eagle. Jak można zauważyć na poniższym rysunku 3 znajduje się gotowy schemat elektroniczny przedstawiający odpowiednie połączenia i wykorzystane podzespoły.

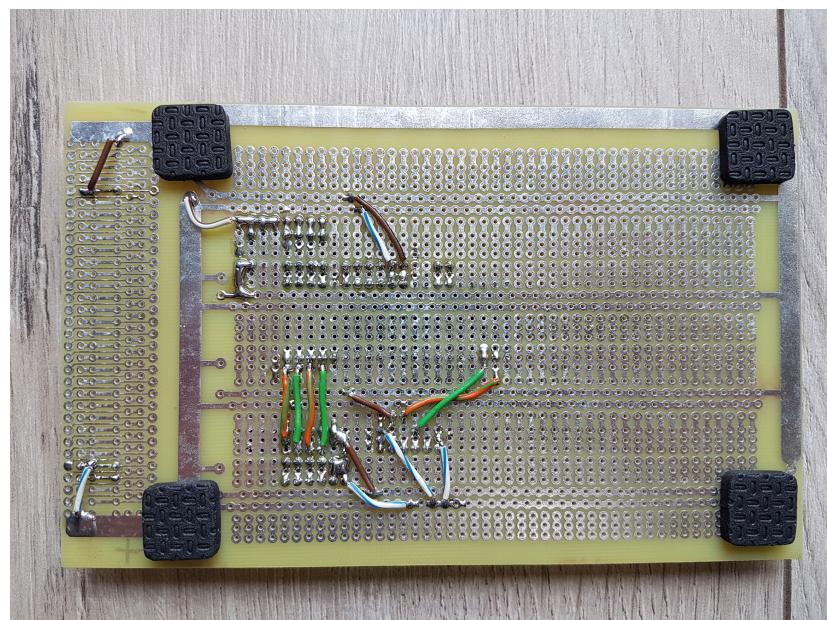


Rysunek 3: Projekt schematu elektronicznego

Wykonany został także gotowy układ elektroniczny. Poniższe rysunki 4 5 przedstawiają finalną budowę płytka prototypowej.



Rysunek 4: Projekt płytki prototypowej, górna część



Rysunek 5: Projekt płytki prototypowej, dolna część

6.2 Programowanie mikrokontrolera

Komunikacja z dalmierzem VL53L0X odbywa się za pomocą protokołu I2C. Wykorzystana została biblioteka stworzona przez producenta. Z wstępnie uzyskanych testów wynika, że pomiar odległości jest zawyżony o 20mm względem rzeczywistej odległości.

6.2.1 Konwersja danych

Po uzyskaniu odległości między czujnikiem a obiektem program zaczyna przeliczać wartości w celu wyznaczenia siatki współrzędnych w przestrzeni euklidesowej. W tym celu zostały wykorzystane wzory trygonometryczne (2) oraz (3). Gdzie P_{pros} (1) jest odlegością między mierzonym punktem a środkiem obrotu podstawki, r jest odlegością między dalmierzem a środkiem układu współrzędnych. Wartość kata jest uzyskiwana poprzez odpowiednie wysterowanie silnikiem krokowym.

$$P_{pros} = r - \text{pomiar}; \quad (1)$$

$$x = P_{pros} \cdot \cos(\text{kat}); \quad (2)$$

$$y = P_{pros} \cdot \sin(\text{kat}); \quad (3)$$

Wartość współrzędnej z jest wyznaczana poprzez zliczanie ilości pełnych obrotów. Skok śruby wynosi 1,5mm zatem podwójne obrócenie powoduje podniesienie się czujnika o 3mm.

6.3 Komunikacja

Komunikacja z programem odbywa się za pomocą protokołu RS232 / UART. Dodana została także suma kontrolna CRC8 dzięki której możliwe jest wykrycie błędnej wiadomości. Wysyłana jak i odbierana wiadomość składa się z odpowiedniej dla danego formatu ramki danych. Na samym počzatku wysyłany jest znak X informujący o rozpoczęciu wysyłania wiadomości, następnie przesyłana jest wiadomość. Na samym końcu ramki znajduje się suma kontrolna, która pozwala wyeliminować błędy w komunikacji. Funkcję separatora pomiędzy odpowiednimi danymi pełni spacja. Po otrzymaniu wiadomości program automatycznie koduje otrzymaną wiadomość i porównuje z wcześniej odebraną. Poniżej 4 znajduje się przykładowa ramka danych.

$$X \ 147 \ 45281 \ FC \quad (4)$$

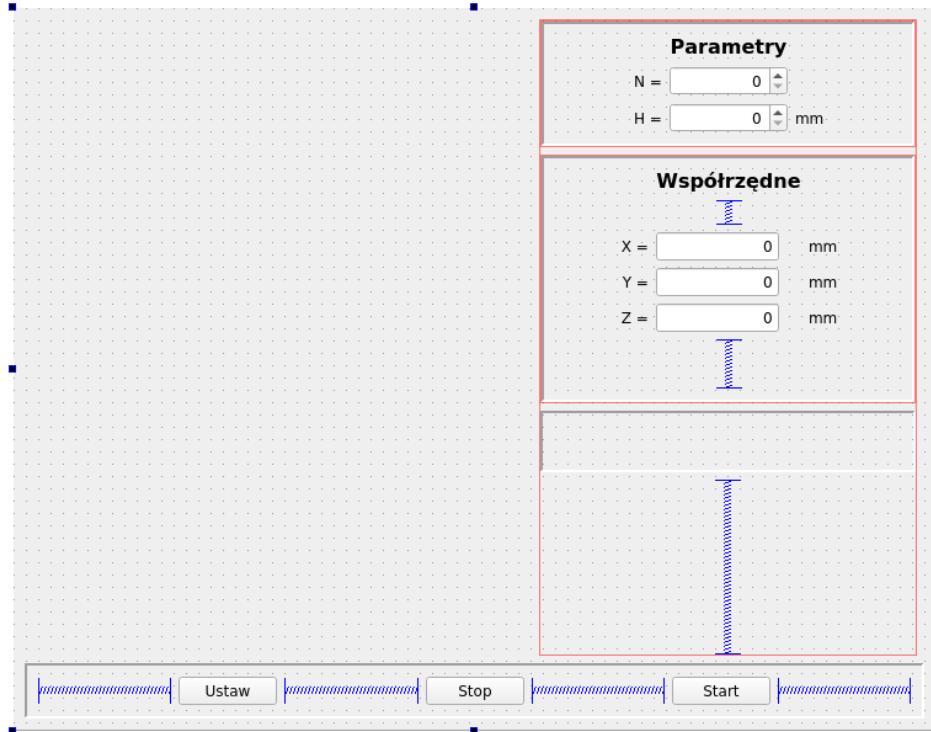
7 Rezultaty zaawansowane

7.1 Doxygen

Została utworzona dokumentacja w Doxygenie zawierająca opis wykorzystanych funkcji jak i zmiennych wyjściowych. W znaczący sposób ułatwia ona analizę kodu.

7.2 Widok finalnej aplikacji

Wykonany został widok zawierający rozmieszczenie danych obiektów w oknie aplikacji. Dodane zostały odpowiednie przyciski, etykiety umożliwiające użytkownikowi rozróżnienie danych opcji, miejsca do wpisywania parametrów. W celu zwiększenia czytelności parametrów zostały dodane ramki wraz z wyjustowanym tekstem. Dodana została także możliwość zmiany rozmiaru okienka dzięki czemu elementy znajdujące się w środku także zmieniają swój rozmiar. Na poniższym rysunku 6 znajduje się projekt okienka.

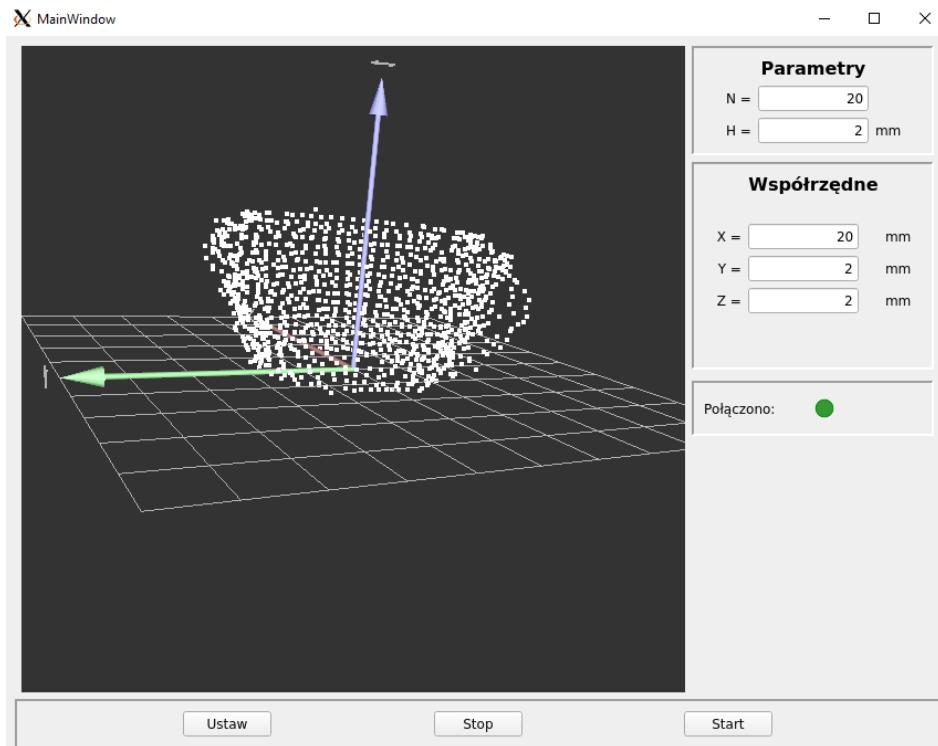


Rysunek 6: Okno projektu – Qt designer

8 Rezultaty prawie końcowe

8.1 Wyświetlanie wstępnych wyników

W celu wyświetlenia współrzędnych punktów w przestrzeni euklidesowej wykorzystano bibliotekę GLViewer, która umożliwia wyświetlanie wykresów w 3D. W celu przetestowania działania samego skanera jak i aplikacji zeskanowana została filiżanka do kawy. Na poniższym rysunku 7 można zauważyć siatkę punktów przedstawiającą dany obiekt. Widoczne jest zaokrąglenie u dołu filiżanki jak i małe uszko od trzymania.



Rysunek 7: Okno projektu – wizualizacja skanu 3D

8.2 Sprawdzanie połączenia

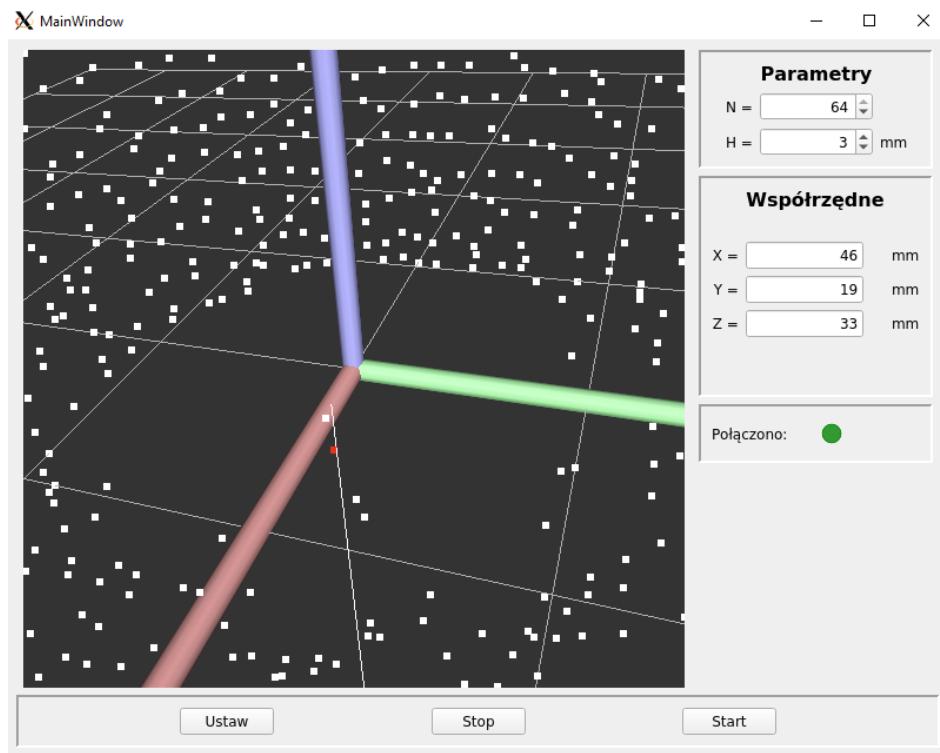
W celu sprawdzenia czy dane urządzenie jest podłączone został stworzony wątek, który regularnie sprawdza połączenie i zwraca odpowiedni komunikat użytkownikowi. Na poniższym rysunku 8 przedstawione są wyświetlane komunikaty odnośnie połączenia.



Rysunek 8: Komunikaty – połączenie

8.3 Wybieranie danych punktów

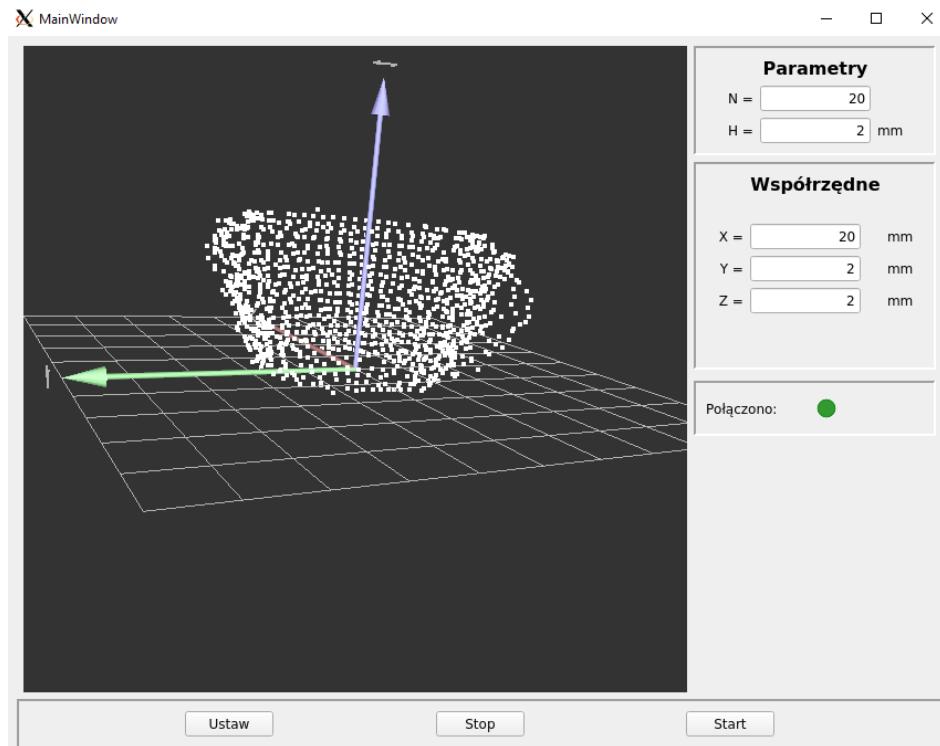
Aplikacja umożliwia użytkownikowi dalszą analizę uzyskanego skanu poprzez wybranie odpowiedniego punktu. Możliwe jest to poprzez przytrzymanie przycisku **shift** i kliknięciu na punkt. Dodatkowo wybrany punkt podświetla się na czerwono dzięki czemu można go łatwo zlokalizować. W tym momencie po prawej stronie okienka pojawiają się dane współrzędne. Funkcjonalność umożliwia użytkownikowi analizę i badanie danego obiektu oraz można porównać jakość dokonanego skanu do rzeczywistego obiektu. Na poniższym rysunku 9 przedstawiony jest przykład selekcjonowania wybranych punktów.



Rysunek 9: Wybieranie punków

9 Testy działania

Do wykonania pierwszych testów została wybrana filiżanka. Jak można zauważyć na poniższym rysunku 10 został przedstawiony skan filiżanki. Poniżej znajduje się rysunek 11 przedstawiający rzeczywisty obiekt. Jak można zauważyć skaner bardzo dobrze się spisał. Bardzo dobrze widoczne jest zaokrąglenie filiżanki jak i uszko za które można je trzymać.

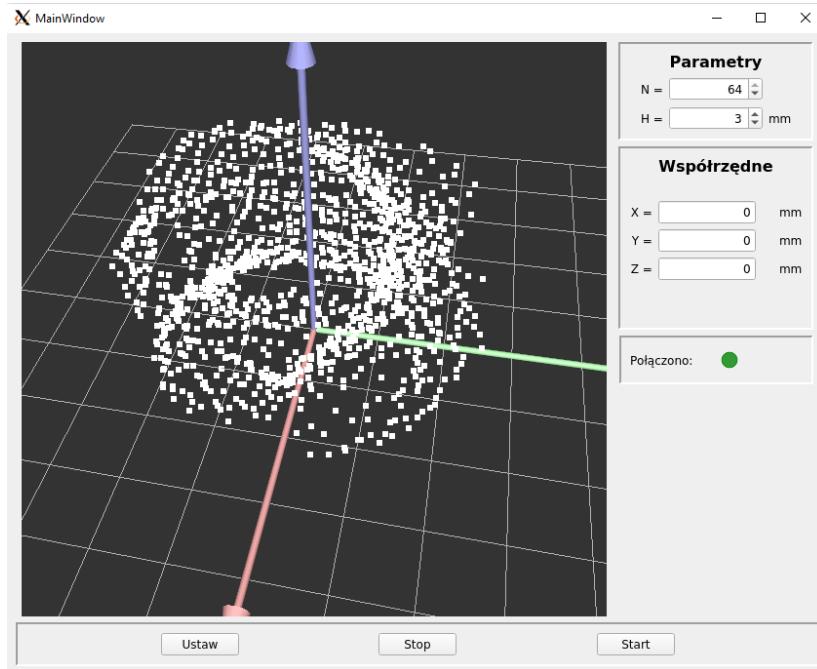


Rysunek 10: Test skanowania filiżanki



Rysunek 11: Fotografia rzeczywistej filiżanki

W dalszym etapie testowania została wykorzystana figurka ludzkiej twarzy, jest ona widoczna na rysunku 13. Jak można zauważyć na rysunku 12 wykonany skan obiektu jest już mało ciekawy. Figurka zawierająca dużą ilość szczegółów przez co skaner ma problem z odwzorowaniem powierzchni. Jest to spowodowane tym, że kąt pod którym skaner wysyła wiązkę światła wynosi aż 30° . Rozwiązaniem, które umożliwiły uzyskanie dużo wyższej jakości skanu jest zmiana dalmierza. Czujnik Sharp GP2D120 ma minimalny kąt padania jedynie $1,5^\circ$ co w znaczący sposób polepszyłoby wyniki pomiarów.



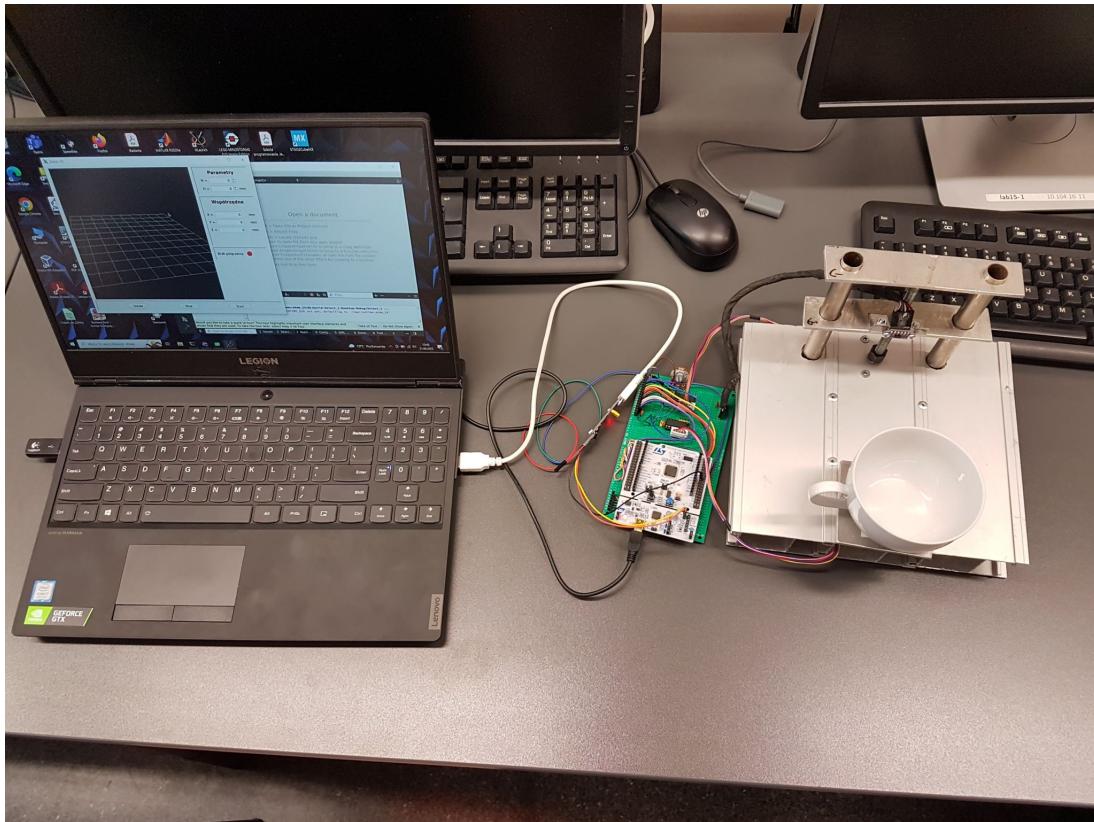
Rysunek 12: Test skanowania figurki w kształcie twarzy



Rysunek 13: Fotografia rzeczywistej figurki

10 Finalny efekt

Jak można zauważyć na poniższym rysunku 14 znajduje się zestawienie całego projektu, który składa się z szkieletu skanera, płytki PCB oraz aplikacji.



Rysunek 14: Połączenie wszystkich elementów

Literatura

- [1] Jasmin Blanchette, Mark Summerfield. *C++ GUI Programming with Qt 4.* <http://www.qtrac.eu/C++-GUI-Programming-with-Qt-4-1st-ed.zip>, 2006.
- [2] KAROL Derejczyk, K Siemiński. Analiza dokładności metod optycznego skanowania 3d. *Mechanik*, 4:312–313, 2016.
- [3] J. Szabatin. *Podstawy teorii sygnałów*. WKŁ, Warszawa, 2000.