



Politechnika
Śląska

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
WYDZIAŁ AUTOMATYKI, ELEKTRONIKI I INFORMATYKI
KIERUNEK: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Praca dyplomowa inżynierska

Tytuł pracy dyplomowej inżynierskiej

autor: Szymon Ciemala

kierujący pracą: dr inż. Krzysztof Jaskot

konsultant: dr inż. Imię Nazwisko

Gliwice, grudzień 2021

Spis treści

1	Streszczenie	1
	Streszczenie	1
2	Wstęp	3
2.1	Wprowadzenie w problem	4
2.2	Cel pracy	4
2.3	Osadzenie problemu w dziedzinie	4
2.4	Charakterystyka rozdziałów	4
3	[Analiza tematu]	7
3.1	Sformułowanie problemu	7
3.2	Podobne rozwiązania	8
4	Wymagania i narzędzia	9
4.1	Wymagania Funkcjonalne i Niefunkcjonalne	9
4.2	Narzędzia	9
4.2.1	System operacyjny Ubuntu	10
4.2.2	GitHub	10
4.2.3	Python	10
4.2.4	iPython	11
4.2.5	Jupyter Notebook	11
4.2.6	Visual Studio Code	11
4.2.7	Python Package Index	11
4.2.8	Programy bdist_wheel, sdist orz twine	12
4.3	Biblioteki	12
4.3.1	OpenCV	12
4.3.2	MediaPipe	13
4.3.3	SciKit-Learn	13
5	[Właściwy dla kierunku – np. Specyfikacja zewnętrzna]	15
5.1	Wymagania sprzętowe	15

5.1.1	Kamera	15
5.1.2	Komputer	15
5.2	Instalacja paczki	16
5.3	Program testowy	17
5.3.1	Parametry	20
5.3.2	Dostępne funkcje	21
5.3.3	Główny wątek	21
5.4	Przykłady użycia	21
5.4.1	Rozpoznawanie alfabetu w języku migowym	21
5.4.2	Interaktywny Kiosk	23
5.4.3	Dobór koloru	25
5.5	Stworzenie nowego modelu	27
6	[Właściwy dla kierunku - np.Specyfikacja wewnętrzna]	29
6.1	Klasa OpenLeap	30
6.1.1	Relacja klas - kompozycja	30
6.1.2	Budowa klasy	30
6.1.3	Atrybuty klasy	31
6.1.4	Metody klasy	32
6.2	Struktury danych	34
6.2.1	Struktura mp_hands	34
6.2.2	Struktura results	35
6.2.3	Dataclass	36
6.2.4	Słownik	36
6.2.5	Pickle	37
6.3	Rozpoznawanie dłoni	37
6.3.1	OpenCV - przygotowanie obrazu z kamery	38
6.4	MediaPipe - Elementy charakterystyczne	39
6.4.1	Generowanie grafiki dłoni	39
6.5	Pomiary oraz inne ważne elementy	40
6.5.1	Pozycja dłoni	40
6.5.2	Obrót dłoni	40
6.5.3	Odległość między palcami	40

6.6	Rozpoznawanie gestów	40
6.6.1	Przygotowanie modeli uczenia maszynowego	40
6.6.2	Zebranie danych	41
6.6.3	Budowa pliku CSV	44
6.6.4	Metody klasyfikacji - uczenie maszynowe	44
6.6.5	Wybrane algorytmy klasyfikujące	45
6.6.6	Badanie dokładności każdego z algorytmów	46
6.6.7	Ponowne wykorzystanie modelu	46
6.7	Paczka PyPi	46
6.7.1	Budowa paczki	46
6.7.2	Struktura Paczki	46
6.7.3	Pliki Konfiguracyjne	47
6.7.4	Załadowanie paczki do repozytorium	47
7	Weryfikacja i walidacja	49
8	Podsumowanie i wnioski	51
	Bibliografia	51
	Spis skrótów i symboli	55
	Źródła	57
	Zawartość dołączonej płyty	59

Rozdział 1

Streszczenie

Praca inżynierska „Rozpoznawanie obiektów z wykorzystaniem biblioteki OpenCV”, łączy tematykę wizji komputerowej oraz algorytmów uczenia maszynowego.

Praca skupia się na stworzeniu wygodnej w użyciu oraz powszechnie dostępnej biblioteki umożliwiającej wykorzystanie gestów, pozycji dłoni, obrotu dłoni oraz odległości między palcem wskazującym a kciukiem jak elementów sterujących w dowolnych projektach napisanych w języku Python.

Do napisania pracy wykorzystano biblioteki języka Python o otwartym kodzie źródłowym, głównie OpenCV, MediaPipe oraz SciKit Learn.

Rozdział 2

Wstęp

- wprowadzenie w problem/zagadnienie
- osadzenie problemu w dziedzinie
- cel pracy
- zakres pracy
- zwięzła charakterystyka rozdziałów
- jednoznaczne określenie wkładu autora, w przypadku prac wieloosobowych
 - tabela z autorstwem poszczególnych elementów pracy

2.1 Wprowadzenie w problem

Rozwój technologii w ostatnich czasach przyczynił się do coraz częstszego wykorzystywania wizji komputerowej oraz metod uczenia maszynowego do rozpoznawania oraz klasyfikacji różnego typu obiektów, w tym części ludzkiego ciała. Pozwala to na interakcję człowieka z aplikacjami, często w sposób bardziej naturalny.

2.2 Cel pracy

Projekt inżynierski ma na celu stworzenie biblioteki w języku Python, która pozwoli na przystępne wykorzystanie algorytmów rozpoznawania gestów oraz ruchu dłoni. Biblioteka powinna oferować gotowe rozwiązania, na przykład przygotowane modele matematyczne pozwalające na rozpoznawanie języka migowego oraz gestów podstawowych. Dodatkowo powinna pozwolić na wyznaczenie pozycji dłoni, jej typu oraz wartości charakterystycznych, na przykład odległości między końcówkami wybranych palców czy kąta obrotu dłoni.

2.3 Osadzenie problemu w dziedzinie

Aktualnie istnieją częściowo gotowe rozwiązania pozwalające na rozpoznanie i klasyfikację dłoni - biblioteka MediaPipe.

2.4 Charakterystyka rozdziałów

W pierwszym rozdziale zostanie poruszony temat genezy problemu oraz jego sformułowania. Zostaną dodatkowo opisane jego założenia wraz z wymaganą funkcjonalnością projektu.

W drugim temacie zostaną opisane techniczne tworzonej biblioteki oraz narzędzia wymagane do jej stworzenia. Zakres opisywanych narzędzi rozpocznie się od opisu wybranego systemu operacyjnego do programów służących do stworzenia pobieralnej paczki na platformi PyPi.

W rozdziale nr 5 zostaną opisane wymagania sprzętowe wymagane do poprawnego działania funkcji biblioteki. Przedstawione zostanie działanie klasy wraz

z jej parametrami oraz sposób jego wykorzystania. W drugiej jego części zostaną przedstawione przykłady wykorzystania modułu. Przykładowym projektami będą: program rozpoznający gest, interaktywny kiosk bezdotykowy i system doboru koloru przy pomocy gestu.

Kolejny rozdział opisuje budowę klasy wraz z najważniejszymi algorytmami oraz strukturami danych. Dodatkowo opisany zostanie Jupyter Notebook służący do generowania modeli uczenia maszynowego rozpoznających gest dłoni.

Rozdział 3

[Analiza tematu]

- sformułowanie problemu
- osadzenie tematu w kontekście aktualnego stanu wiedzy (state of the art) o poruszonym problemie
- studia literaturowe [?, ?, ?, ?] - opis znanych rozwiązań (także opisanych naukowo, jeżeli problem jest poruszany w publikacjach naukowych), algorytmów,

3.1 Sformułowanie problemu

Problem można podzielić na trzy części. Każda z nich odpowiada za wybraną część funkcjonalności biblioteki.

- Wyznaczenie pozycji dłoni, odległości pomiędzy wybranymi palcami oraz jej kąta obrotu.
- Rozpoznawanie gestów dłoni w dwóch trybach: prostym (parę dostępnych gestów) oraz zaawansowanym, który rozoznaje alfabet języka migowego.
- Dostępność biblioteki poprzez platformę PyPi.

Stworzenie modułu będzie wymagało napisania klasy wykorzystującej odpowiednie biblioteki pozwalających na rozpoznanie elementów charakterystycznych dłoni oraz przetworzenia obrazu. Obraz będzie pochodził z kamerki internetowej, który zostanie odpowiednio przetworzony z wykorzystaniem funkcji dostępnych

poprzez bibliotekę OpenCV. Przetworzony obraz zostanie wykorzystany przez metody biblioteki MediaPipe, która pozwoli na rozpoznanie elementów charakterystycznych dłoni. W napisanej klasie zostaną zaimplementowane metody, które pozwolą na rozpoznanie typu dłoni (prawa, lewa), odległości między paliczkiem palca wskazującego oraz kciuka, oraz obrotu dłoni.

Kolejnym elementem jest wygenerowanie modelu matematycznych klasyfikujących gesty dłoni. W tym celu zostanie wykorzystana biblioteka SciKit Learn wraz z dostępnymi poprzez nią algorytmami uczenia maszynowego. Odpowiednio zebrane dane pozwolą na przeprowadzenie procesu uczenia dla paru wybranych algorytmów.

Najważniejszym elementem pracy jest powyżej wymieniony ostatni punkt listy. Dzięki wykorzystaniu platformy PyPi deweloperzy będą mogli przy pomocy programu **pip** za pomocą jednej komendy zainstalować paczkę wraz ze wszystkimi wymaganymi zależnościami.

3.2 Podobne rozwiązania

Rozdział 4

Wymagania i narzędzia

4.1 Wymagania Funkcjonalne i Niefunkcjonalne

Klasa powinna zawierać w sobie wszystkie niezbędne funkcje oraz parametry pozwalające na wykorzystanie jej w dowolnym projekcie, takie jak na przykład obliczanie kąta obrotu dłoni względem nadgarstka czy rozpoznawanie gestów. Dwa podstawowe modele rozpoznające gesty powinny zostać uprzednio przygotowane, natomiast użytkownik powinien mieć dodatkowo możliwość stworzenia własnego modelu rozpoznającego wybrane ułożenie dłoni.

Pobranie modułu powinno być możliwe poprzez wykorzystanie standardowego menedżera do zarządzania paczkami w języku Python, czyli programu **pip**. Ten menedżer pozwala na instalację paczki wraz z jej zależnościami, czyli innymi paczkami wymaganymi do poprawnego działania pobieranej biblioteki.

Na głównej stronie projektu powinna zostać zamieszczona krótka dokumentacja w postaci pliku **README.md**, w którym zostanie opisany proces instalacji paczki, jej funkcjonalność oraz przykładowe programy.

4.2 Narzędzia

Przy tworzeniu modułu ważne są wykorzystywane narzędzia, zaczynając od wybranego systemu operacyjnego, a kończąc na programach pozwalających na przygotowanie plików źródłowych wysyłanych na zdalne repozytorium PyPi, każde

z nich jest kluczowe do zbudowania pełnego projektu.

4.2.1 System operacyjny Ubuntu

Do stworzenia oprogramowania została wybrana dystrybucja Ubuntu w wersji 20.04 LTS. System został wybrany ze względu na istnienie takich elementów jak powłoka systemowa **bash**, menedżer pakietów oraz wsparcie dla języka Python.

4.2.2 GitHub

Platforma GitHub, która wykorzystuje rozproszony system kontroli Git, pozwala na stworzenie głównej strony biblioteki, na której znajdują się pliki programu wraz z dokumentacją oraz instrukcją instalacji i korzystania. W czasie pracy nad modulem system Git pomaga w tworzeniu kopii zapasowych. W przypadku dalszego rozwoju projektu GitHub może posłużyć jako medium pracy innych kontrybutorów.

4.2.3 Python

Do napisania biblioteki został wykorzystany język skryptowy Python. Dzięki swojej popularności oraz dostępności, Python stał się językiem powszechnie stosowanym w pracy związanej z zagadnieniami uczenia maszynowego, analizy danych oraz przetwarzania obrazów. Na platformie PyPi można znaleźć wiele narzędzi pozwalających na pracę właśnie w tych dziedzinach, jak i również wielu innych.

Ze względu na swoją budowę, Python nie należy do najwydajniejszych języków. Python jest językiem interpretowanym, co oznacza, że jego program nie zostaje skompilowany do kodu maszynowego, a zostaje on zinterpretowany przez interpreter. Ma ta jednak swoje zalety, skrypt można wykonywać w częściach, co pozwala na testowanie działania programu. Dzięki czemu łatwiej jest znajdować błędy i na bieżąco je likwidować. Potencjał tego w pełni wykorzystuje interaktywna powłoka iPython.

4.2.4 iPython

To interaktywna powłoka dla języka Python, która rozszerza jego działanie o introspekcję, czyli możliwość wykonywania poprzednich części programu. W praktyce oznacza to, że użytkownik ma możliwość wykonywania programu zawartego w komórkach w dowolnej kolejności, nawet jeśli oznacza to wykonywanie programu zapisanego w komórkach poprzedzających aktualną.

Dodatkowo iPython oferuje możliwość korzystania z komend wiersza poleceń. Pozwala to, na przykład na instalowanie modułów wewnątrz programu.

4.2.5 Jupyter Notebook

Do obsługi interaktywnej powłoki iPython, wykorzystany został Jupyter Notebook („notatnik”), czyli webowy edytor, który został stworzony z myślą o pracy związanej z analizą danych oraz obliczeniami naukowymi.

Dodatkowym atutem jest fakt, że Jupyter Notebook pozwala na zapis tekstu w języku Markdown, czyli języku znaczników stosowanym do formatowania tekstu. Co pozwala na czytelny opis programu oraz wstawianie obrazów, jeśli są wymagane. Dodatkowo wszystkie wykresy generowane przez na przykład bibliotekę **matplotlib** będą wyświetlane na stałe pod komórką, w której został wykonany program. Pozwala to na stworzenie programu, który może służyć jednocześnie jako interaktywna instrukcja.

4.2.6 Visual Studio Code

Do stworzenia oprogramowania został wybrany edytor Visual Studio Code. Edytor jest programem o otwartym kodzie źródłowym i został stworzony przez korporację Microsoft. Aplikacja posiada wiele darmowych rozszerzeń, często tworzonych przez użytkowników edytora. To właśnie dzięki rozszerzeniom program pozwala na pracę z wieloma typami plików oraz języków programowania.

4.2.7 Python Package Index

Python Package Index, w skrócie PyPi, jest platformą, na której udostępniane są moduły dla języka Python. Aktualnie jest ona zarządzana przez fundację

„Python Software Foundation”. Paczki pobierane są przy pomocy programu **pip**, standardowo instalowanego wraz z językiem Python, co oznacza, że PyPi jest oficjalnym repozytorium oprogramowania właśnie dla tego języka.

Każdy użytkownik, organizacja lub firma mają możliwość stworzenia swojej własnej paczki i udostępnienia jej na repozytorium wraz z krótką dokumentacją oraz instrukcją instalacji.

4.2.8 Programy **bdist_wheel**, **sdist** oraz **twine**

Oba programy są niezbędne do przygotowania w pełni działającej paczki udostępnianej na repozytorium PyPi. Program **sdist** pozwala na stworzenie źródłowej dystrybucji, czyli w praktyce pliku typu **.zip**, **.tar** czy też **.gztar**, w których znajdują się wybrane pliki będące częścią biblioteki.

Kolejnym programem jest **bdist_wheel**, który odpowiada za stworzenie paczki typu **WHEEL**, która pozwala na szybszą instalację niż w przypadku instalacji wykorzystującej pliki źródłowe. **WHEEL** pozwala na pominięcie etapu kompilacji, przez co kompilator nie jest wymagany na sprzęcie użytkownika.

Ostatnim programem jest **twine**, który pozwala na załadowanie gotowej paczki na repozytorium wraz z autoryzacją poprzez HTTPS. Program wspiera różne typy paczek, w tym typ **WHEEL**.

4.3 Biblioteki

Biblioteki opisane w tej sekcji są bibliotekami o otwartym kodzie źródłowym. Pozwala to na wykorzystanie ich w projekcie bez opłacania lub łamania żadnych licencji.

4.3.1 OpenCV

OpenCV jest biblioteką, która zajmuje się wizją komputerową, w tym głównie przetwarzaniem obrazów w czasie rzeczywistym. Projekt został rozpoczęty przez firmę Intel w 2001 roku, a później był wspierany przez laboratorium Willow Garage, które jest odpowiedzialne za stworzenie systemu ROS. OpenCV wspiera

wiele języków programowania: C++, C#, Python, Java oraz JavaScript, co oznacza, że jest to biblioteka wieloplatformowa i znajduje ona zastosowanie w wielu aplikacjach oraz systemach.

4.3.2 MediaPipe

Biblioteka MediaPipe, która została stworzona przy wsparciu firmy Google, udostępnia wieloplatformowe oraz konfigurowalne rozwiązania wykorzystujące uczenie maszynowe w dziedzinie rozpoznawania, segmentacji oraz klasyfikacji obiektów wizji komputerowej. Niektórymi z rozwiązań są:

- Segmentacja włosów oraz twarzy
- Śledzenie pozycji obiektów
- Rozpoznawanie dłoni

Oprogramowanie tworzone przez MediaPipe jest wysoce zoptymalizowane, co pozwala na wykorzystanie go na urządzeniach codziennego użytku, smartfonach, czy komputerach osobistych.

4.3.3 SciKit-Learn

SciKit-Learn początkowo został stworzony jako dodatek do biblioteki SciPy jako projekt w ramach **Google Summer of Code** w roku 2007. Biblioteka oferuje różnego typu metody uczenia maszynowego, w tym algorytmy klasyfikacji, regresji oraz analizy skupień. Przykładowym algorytmami w bibliotece są:

- Las losowy – polegająca na konstruowaniu wielu drzew decyzyjnych w czasie uczenia.
- Algorytm centroidów – algorytm wykorzystywany w analizie skupień.
- Maszyna wektorów nośnych – algorytm klasyfikujący, często wykorzystywany w procesie rozpoznawania obrazów.

Rozdział 5

[Właściwy dla kierunku – np. Specyfikacja zewnętrzna]

5.1 Wymagania sprzętowe

5.1.1 Kamera

Elementem niezbędnym do korzystania z modułu OpenLeap jest kamera, która pozwoli na pozyskanie obrazu. Rozdzielczość matrycy kamery powinna być wystarczająco duża, aby pozwolić na rozpoznanie dłoni. Nie ma tutaj minimalnych wymagań, większa rozdzielczość, czy też lepsza praca w warunkach niskiego oświetlenia kamery pozwoli na poprawniejsze działania algorytmów identyfikujących dłoni. Podobnie ma się liczba klatek na sekundę, która powinna być wystarczająco wysoka, tak aby można było sprawnie korzystać z możliwości oprogramowania.

5.1.2 Komputer

Jednostka obliczeniowa powinna zostać wyposażona w system operacyjny dający możliwość obsługi języka Python, taki warunek spełnia większość systemów operacyjnych na rynku. Komputer powinien spełniać minimalne wymagania w kwestii wydajności przetwarzania obrazu. Fakt istnienia możliwości instalacji i wykorzystania biblioteki MediaPipe przez minikomputery Raspberry Pi w wersji 3 i 4 oznacza, że wymagania nie są wysokie.

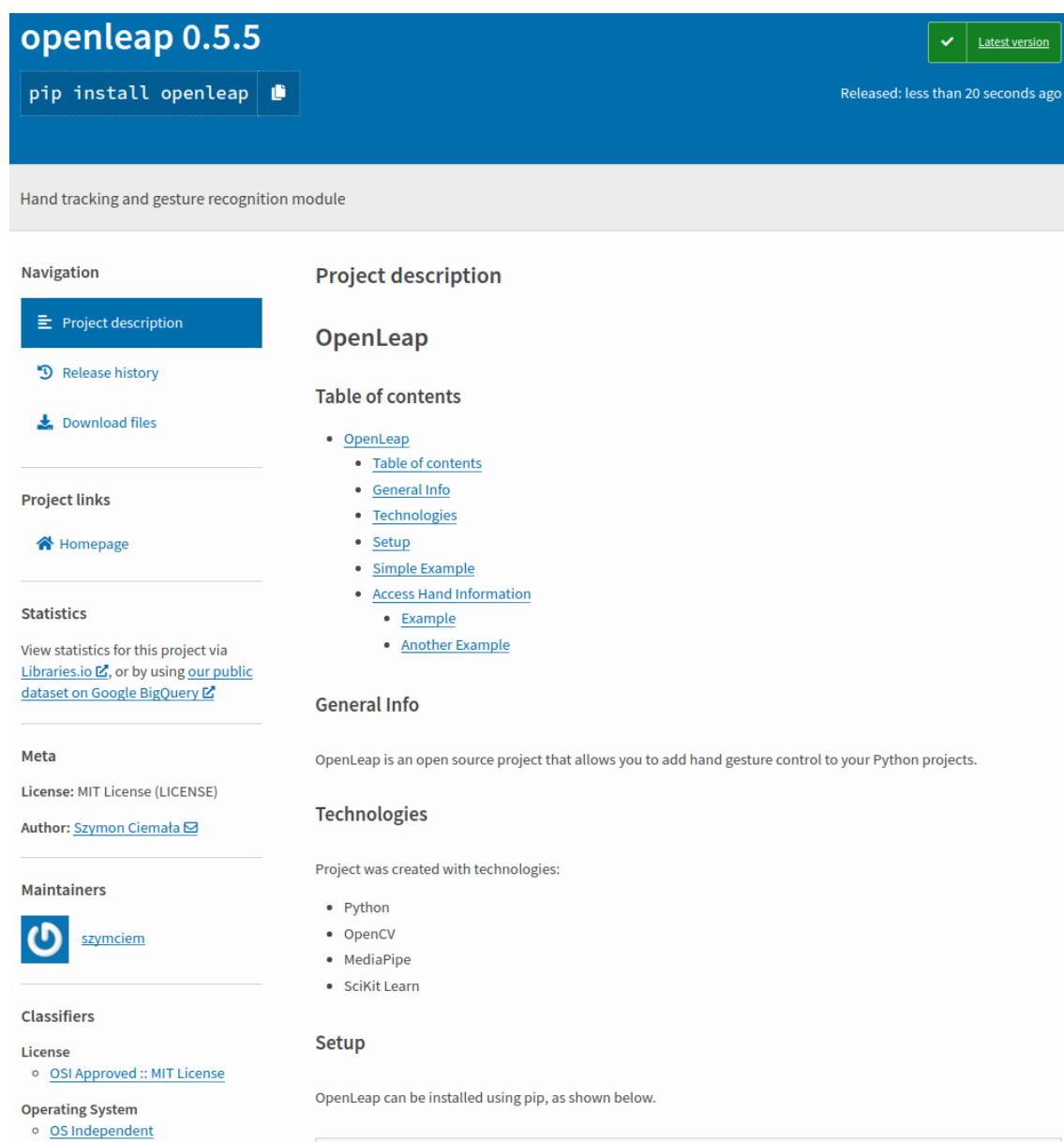
5.2 Instalacja paczki

Instalacja paczki odbywa się poprzez wykorzystanie programu **pip**, który jest instalowany automatycznie razem z językiem Python. W zależności od wybranego systemu operacyjnego komenda może przybierać różne formy, ogólnie można przyjąć poniższy zapis 5.1. Komenda powinna zostać wykonana poprzez powłokę **bash** lub inną dostępną w systemie Unix-owym lub poprzez wiersz poleceń w systemie Windows.


```
$ pip install openleap
```

Listing 5.1: Instalacja paczki

Informacje na temat biblioteki można znaleźć na platformie PyPi pod linkiem: <https://pypi.org/project/openleap/>. Na tej stronie znajduje się opis modułu, instrukcja instalacji oraz przykładowe programy i możliwości wykorzystania.



openleap 0.5.5 ✓ Latest version

`pip install openleap` 

Released: less than 20 seconds ago

Hand tracking and gesture recognition module

Navigation

- Project description**
- Release history
- Download files

Project links

- Homepage

Statistics


View statistics for this project via [Libraries.io](#), or by using [our public dataset on Google BigQuery](#)

Meta

License: MIT License (LICENSE)

Author: [Szymon Ciemala](#)

Maintainers

-  [szymciem](#)

Classifiers

License

- OSI Approved :: MIT License

Operating System

- OS Independent

Project description

OpenLeap

Table of contents

- OpenLeap
 - Table of contents
 - General Info
 - Technologies
 - Setup
 - Simple Example
 - Access Hand Information
 - Example
 - Another Example

General Info

OpenLeap is an open source project that allows you to add hand gesture control to your Python projects.

Technologies

Project was created with technologies:

- Python
- OpenCV
- MediaPipe
- Scikit Learn

Setup

OpenLeap can be installed using pip, as shown below.

Rysunek 5.1: Strona modułu OpenLeap na PyPi

5.3 Program testowy

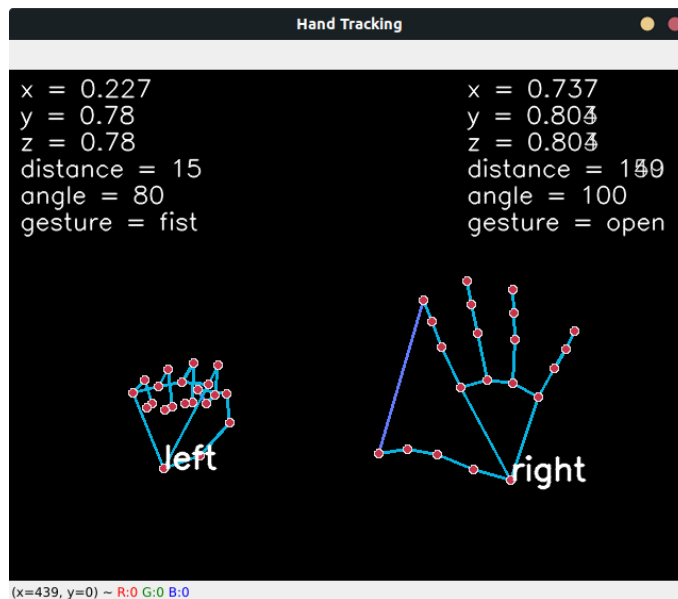
Paczkę można przetestować korzystając z dostępnych metod klasy. W ramach testu istnieje możliwość napisania programu wyłącznie w powłoce języka Python.

W pierwszym kroku programu zostaje zaimportowana paczka **openleap**. Zostaje stworzony obiekt kontrolera z wybranymi parametrami, dokładny opis parametrów znajduje się w późniejszej części rozdziału, w podsekcji (5.3.1). Metoda **loop()** odpowiada za wywołanie głównej logiki programu odpowiedzialnej za generowanie danych oraz wyświetlanie ich w wybranym miejscu (powłoka, okno graficzne).

```
1  import openleap
2
3  controller = openleap.OpenLeap(screen_show=True,
4                                screen_type='BLACK',
5                                show_data_on_image=True,
6                                gesture_model='basic')
7
8  controller.loop()
```

Listing 5.2: Program testowy

Przykładowy program pozwoli na wyświetlenie okna z widocznymi dłońmi wraz z oznaczonymi punktami charakterystycznymi oraz opisem parametrów, takich jak obrót dłoni względem nadgarstka, jej pozycja względem lewego górnego rogu obrazu kamery czy rozpoznany gest. Zrzut ekranu testowego programu znajduje się poniżej na rysunku 5.2.



Rysunek 5.2: Zrzut ekranu programu testowego

Dane zostają zapisane w słowniku składającym się z obiektów typu **dataclass**, które przechowują wygenerowane informacje o danej dłoni. Operację pobrania danych można wykonać w poniżej przedstawiony sposób. Klasa **dataclass** zostanie dokładniej opisana w kolejnym rozdziale.

```
1 if controller.data['right'].gesture == 'open':  
2     print('Right hand is opened!')  
3 elif controller.data['right'].gesture == 'fist':  
4     print('Right hand is closed!')
```

Listing 5.3: Odczyt gestów

Program oferuje możliwość odczytu odległości między końcem palca wskazującego a końcem kciuka. Te punkty zostały oznaczone poprzez niebieską linię oraz wartość **distance**, co można zobaczyć na rysunku 5.2. Przykład odczytu tej wartości znajduje się w poniższym przykładzie.

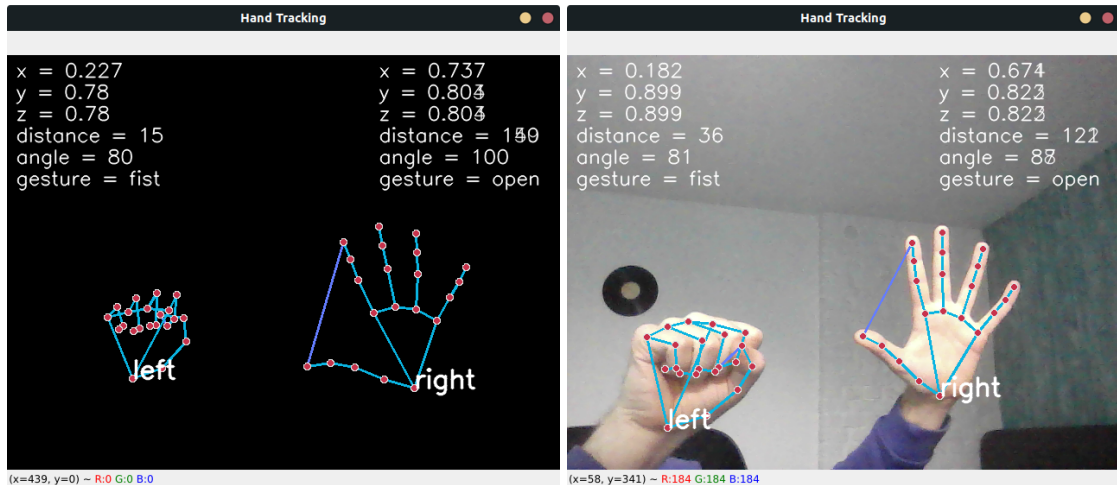
```
1 if controller.data['right'].distance < 20:  
2     print('Click has been detected!')
```

Listing 5.4: Odczyt odległości między palcami

5.3.1 Parametry

Obiekt kontrolera może zostać stworzony z wybranymi parametrami. Można wybrać czy należy wyświetlić podgląd kamery, czy wyświetlić dane na podglądzie oraz w konsoli, oraz wybrać tło podglądu, czarne lub obraz z kamery.

1. **screen_show** - podgląd okna, typ **boolean**
2. **screen_type** - typ tła
 - „CAM” - obraz z kamery
 - „BLACK” - czarne tło
3. **show_data_in_console** - wyświetlanie danych w konsoli, typ **boolean**
4. **show_data_on_image** - wyświetlanie danych w oknie graficznym, typ **boolean**
5. **normalized_position** - wyświetlanie znormalizowanej pozycji, typ **boolean**
6. **model** - wybór modelu rozpoznającego gesty
 - „basic” - gesty podstawowe
 - „sign_language” - język migowy



(a) Obraz z kamery.

(b) Czarne tło.

Rysunek 5.3: Parametry wyświetlanego obrazu.

5.3.2 Dostępne funkcje

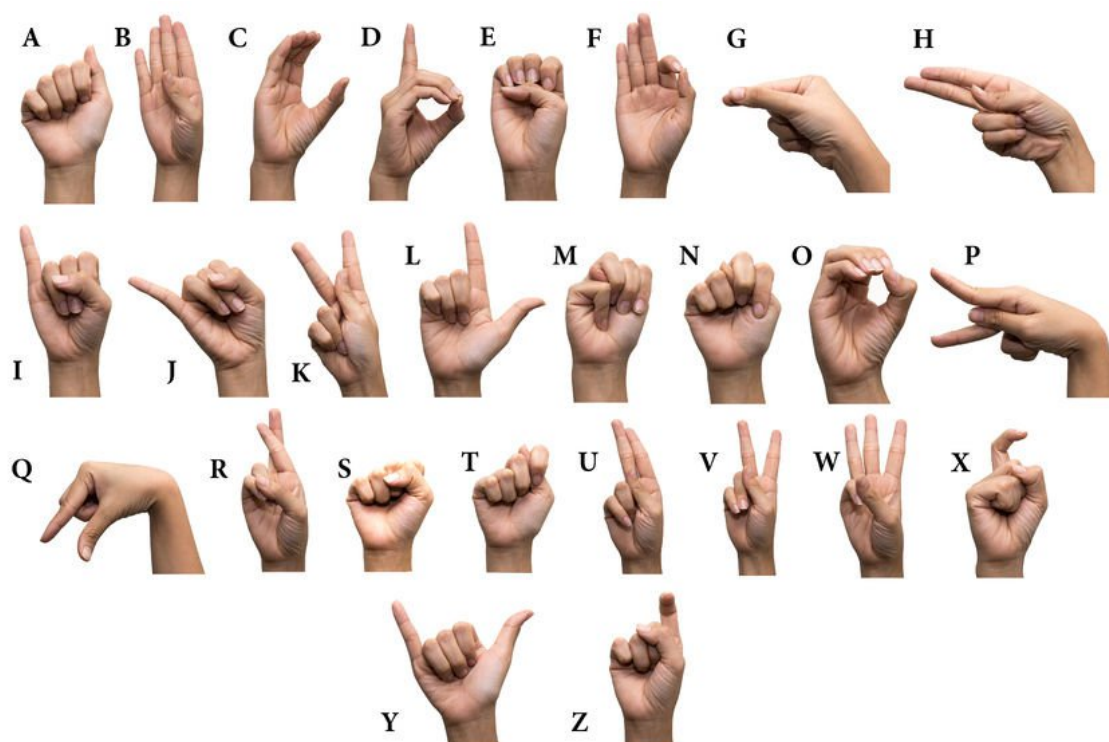
5.3.3 Główny wątek

Działanie kontrolera opiera się na wywoływaniu funkcji **main()**. Tą funkcję można wywołać za pomocą wybudowanej funkcji **loop()**, która po prostu wywołuje funkcję **main()** w pętli wraz z warunkiem wyjścia z programu. Takie podejście może ułatwić stosowanie kontrolera w osobnym wątku aplikacji. Alternatywnym podejściem jest po prostu zastosowanie funkcji **main()** w pętli budowanego programu. Takie rozwiązanie daje podobny rezultat, ale bez konieczności wykorzystania osobnego wątku.

5.4 Przykłady użycia

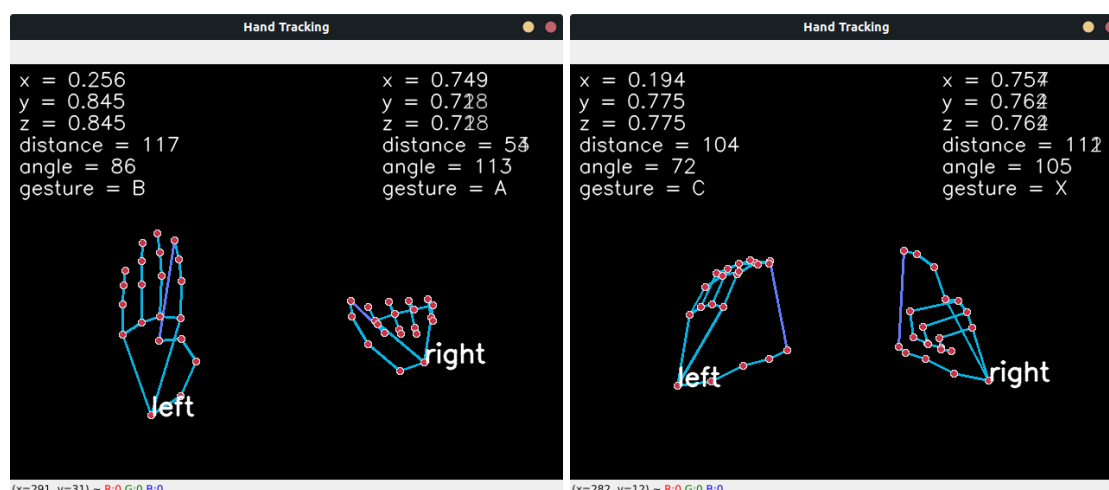
5.4.1 Rozpoznawanie alfabetu w języku migowym

Pierwszym przykładem zastosowania jest wykorzystanie paczki do rozpoznawania alfabetu języka migowego. Taki program może umożliwić komunikację między osobą głuchoniemą posługującą się językiem migowym, a osobą, które takiego języka nie zna.



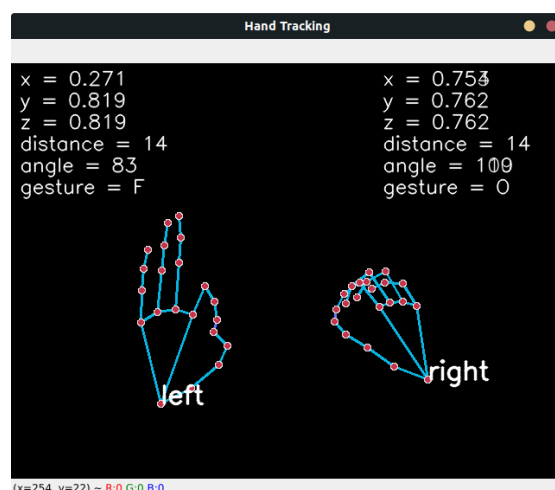
Rysunek 5.4: Gesty alfabetu języka migowego

Oprócz modelu rozpoznającego gesty alfabetu języka migowego, klasa została wyposażona w model rozpoznający podstawowe gesty, czyli gesty otwartej i zamkniętej dłoni. Wybór odpowiedniego modelu odbywa się w momencie tworzenia obiektu poprzez ustawienie parametru `gesture_model`.



(a) Litery A i B.

(b) Litery C i X.

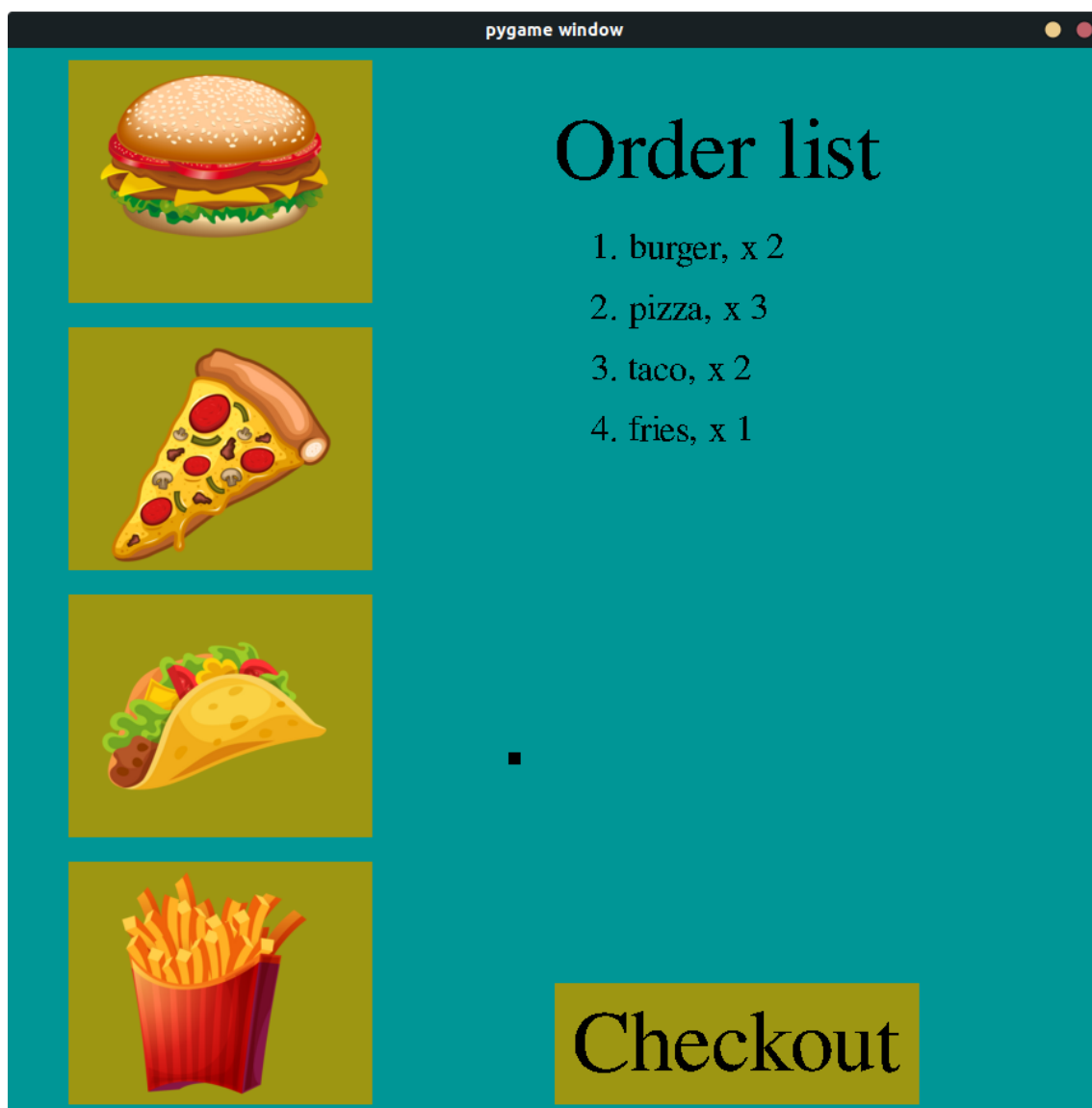


(c) Litery F i O.

Rysunek 5.5: Rozpoznawanie języka migowego .

5.4.2 Interaktywny Kiosk

Kolejnym przykładem jest interaktywny kiosk, który pozwala na złożenie zamówienia w sposób, który nie wymaga dotykania ekranu dotykowego. W dobie pandemii takie rozwiązanie może potencjalnie przyczynić się do spowolnienia rozprzestrzeniania się różnego rodzaju wirusów i drobnoustrojów.



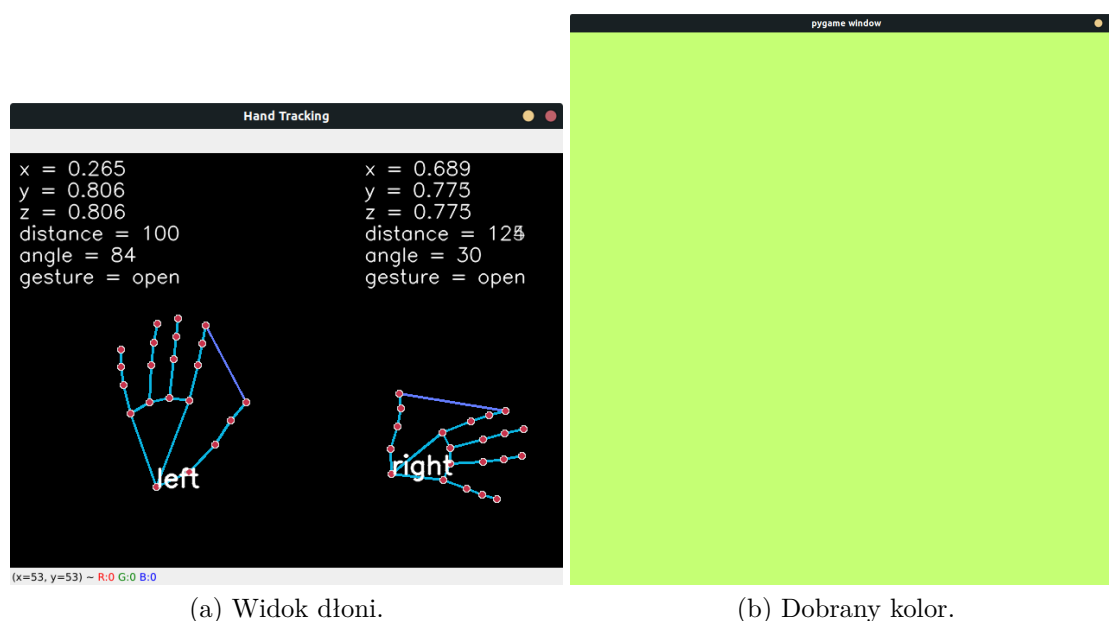
Rysunek 5.6: Zrzut ekranu kiosku interaktywnego

Wskaźnik kiosku interaktywnego jest sterowany poprzez pozycję dłoni. Kliknięcie w przycisk zostaje aktywowane za pomocą wykrycia odpowiednio małej odległości między końcówką palca wskazującego, a końcówką kciuka.

Odległość między tymi dwoma punktami jest obliczana automatycznie poprzez wbudowaną funkcję klasy OpenLeap.

5.4.3 Dobór koloru

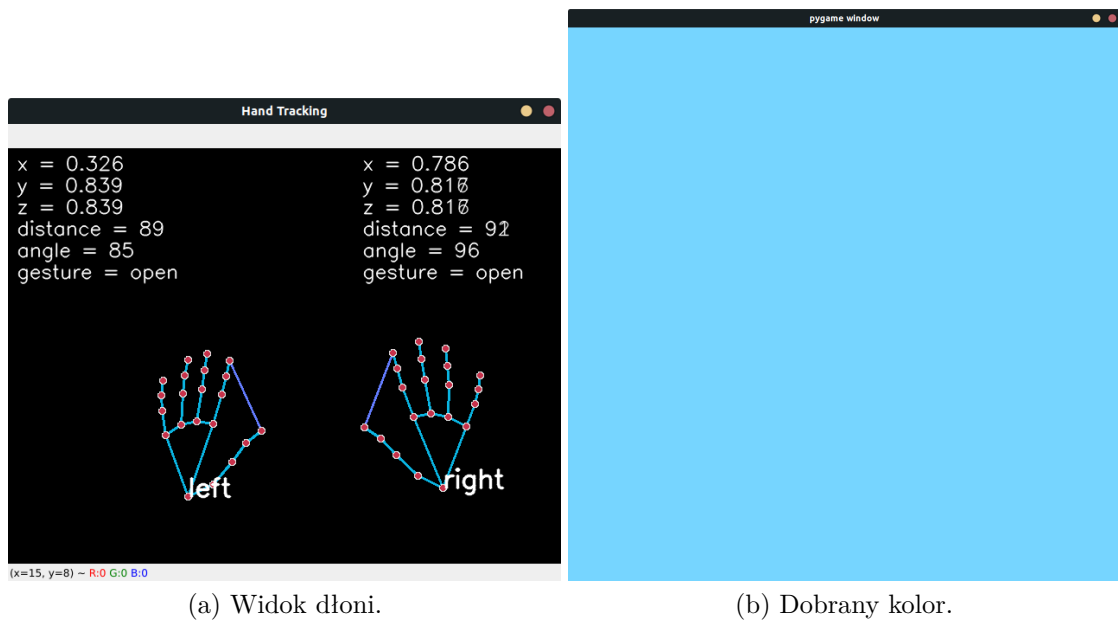
Ostatnim przykładem jest wykorzystanie dłoni jako kontrolera, za którego pomocą można wybrać dowolny kolor. Takie zastosowanie może zostać wykorzystane w pracy grafika komputerowego. Dzięki temu użytkownik będzie mógł zmieniać kolor wykorzystywanego narzędzia bez przerywania pracy, na przykład malowania. Kolor można ustawiać tylko wtedy kiedy gest lewej ręki jest gestem otwartej dłoni.



(a) Widok dłoni.

(b) Dobrany kolor.

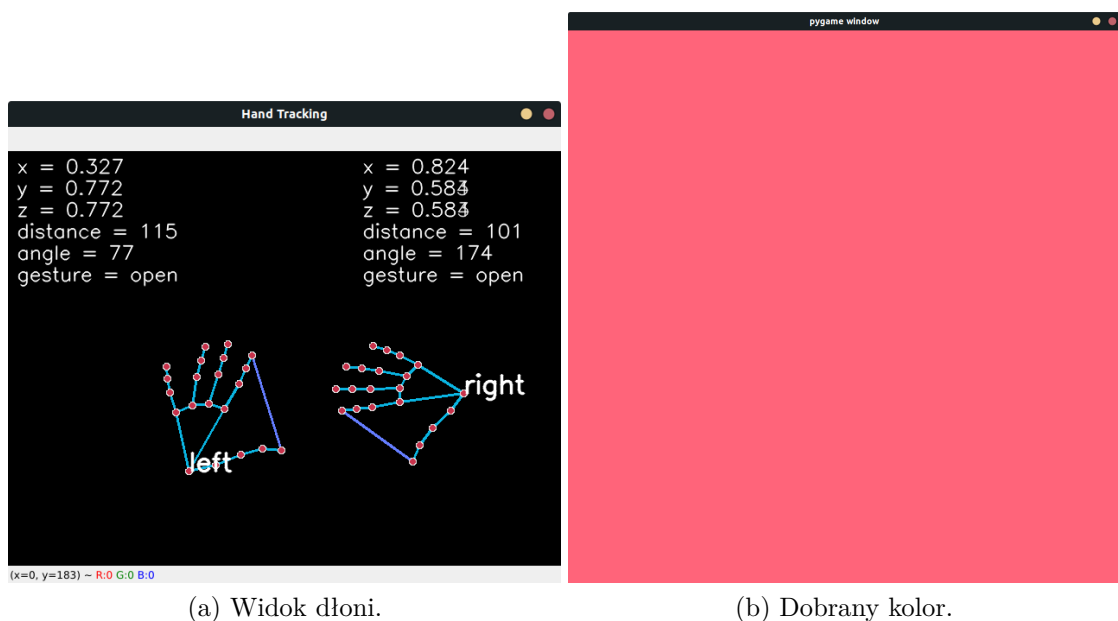
Rysunek 5.7: Obrót dłoni o 30 stopni.



(a) Widok dłoni.

(b) Dobrany kolor.

Rysunek 5.8: Obrót dłoni o 96 stopni.



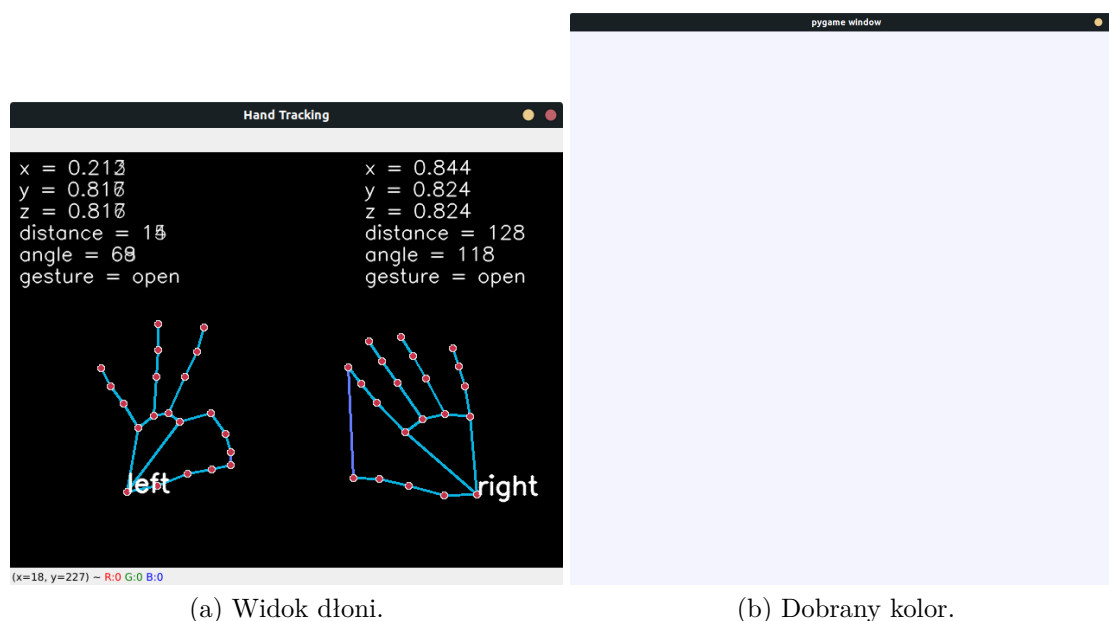
(a) Widok dłoni.

(b) Dobrany kolor.

Rysunek 5.9: Obrót dłoni o 174 stopni.

Dodatkową opcją jest ustawienie saturacji poprzez obliczenie jej wartości na

podstawie odległości między palcem wskazującym, a kciukiem.



Rysunek 5.10: Ustawienie saturacji

Podobnie jak obliczenie odległości między palcami, biblioteka oblicza obrót dłoni wokół osi Z punktu opisującego pozycję nadgarstka.

5.5 Stworzenie nowego modelu

Użytkownik biblioteki może stworzyć własny model rozpoznający gesty. Wykorzystać do tego można program napisany przy pomocy Jupyter Notebook. Plik jest dostępny na platformie **GitHub**. Plik posiada rozszerzenie **.ipynb**.

Dokładny opis tworzenia modelu zostanie opisany w kolejnym rozdziale dotyczącym specyfikacji wewnętrznej.

Rozdział 6

[Właściwy dla kierunku - np.Specyfikacja wewnętrzna]

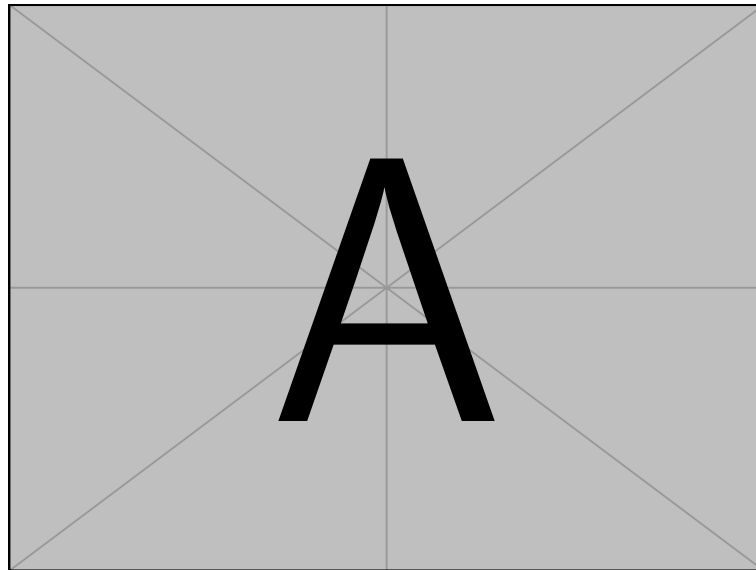
Jeśli to Specyfikacja wewnętrzna:

- przedstawienie idei
- architektura systemu
- opis struktur danych (i organizacji baz danych)
- komponenty, moduły, biblioteki, przegląd ważniejszych klas (jeśli występują)
- przegląd ważniejszych algorytmów (jeśli występują)
- szczegóły implementacji wybranych fragmentów, zastosowane wzorce projektowe
- diagramy UML
- wymagania funkcjonalne i нефункционалне
- przypadki użycia (diagramy UML) - dla prac, w których mają zastosowanie
- opis narzędzi, metod eksperymentalnych, metod modelowania itp.
- metodyka pracy nad projektowaniem i implementacją - dla prac, w których ma to zastosowanie

6.1 Klasa OpenLeap

6.1.1 Relacja klas - kompozycja

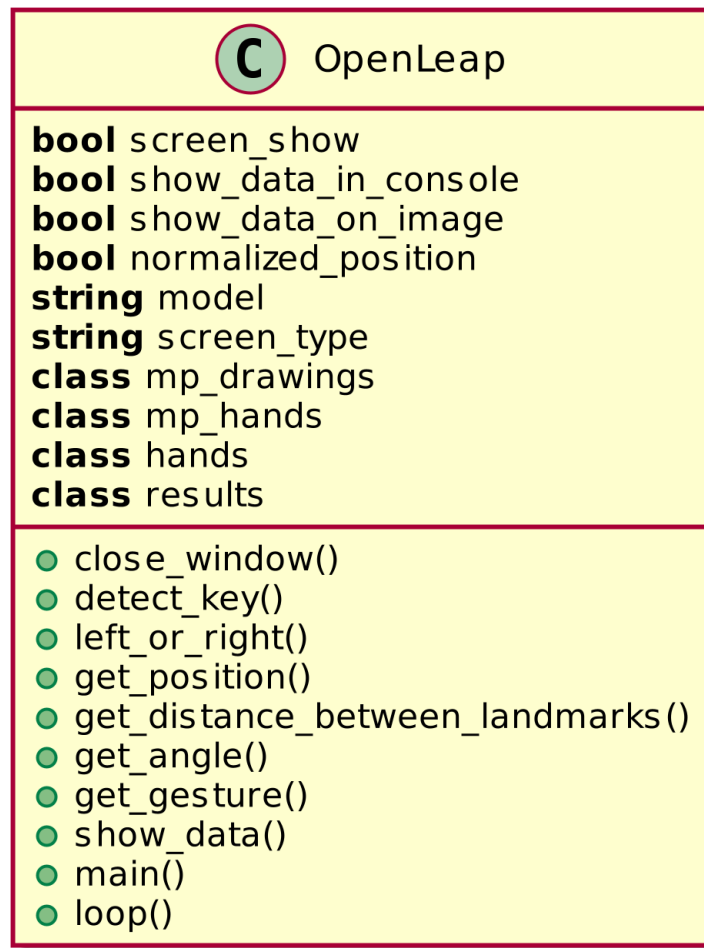
Klasa OpenLeap korzysta z różnych bibliotek oraz klas. Natomiast nie dziedziczy ona żadnej klasy. Zostały jedynie wykorzystane wybrane metody tworzących obiektów wewnątrz klasy.



Rysunek 6.1: Relacja klas

OpenLeap wykorzystuje metody klasy **mediapipe.solutions.hands.Hands** oraz **cv2.VideoCapture**. Pierwsza klasa pozwala na stworzenie obiektu, którego zadaniem jest rozpoznawanie dłoni na podstawie podawanego obrazu. Druga klasa tworzy obiekt, który pozwala na pobranie obrazu z kamery, określenie jego wielkości oraz sprawdzenia czy kamery jest aktualnie dostępna.

6.1.2 Budowa klasy

Rysunek 6.2: Schemat klasy *OpenLeap*

6.1.3 Atrybuty klasy

Część atrybutów klasy została opisana w podrozdziale **Parametry**, są to te elementy, które mogą zostać zdefiniowane przez użytkownika. Druga część atrybutów jest generowana automatycznie.

- **mp_drawings** - obiekt pobierany z biblioteki **MediaPipe** pozwalająca na rysowanie obrysu dłoni w oknie generowanym przez OpenCV.
- **mp_hands** - obiekt przechowujący informacje, na przykład o indeksach opisujących poszczególne elementy charakterystyczne dłoni.

- **hands** - model biblioteki MediaPipe rozpoznający dłonie. Inicjalizacja tego obiektu wymaga podania dwóch parametrów.
 - **min_detection_confidence** - minimalna wartość szacunkowa, dla której model określa czy została wykryta dłoń.
 - **min_tracking_confidence** - minimalna wartość szacunkowa, pozwalająca określić dokładność śledzenia dłoni.
- **results** - obiekt przechowujący informacje o rozpoznanych dłoniach i ich elementach.

6.1.4 Metody klasy

W klasie zostały stworzone metody, które

1. **close_window()** - zamknięcie wszystkich okien biblioteki OpenCV.
2. **detect_key()** - wykrycie kliknięcia wybranego przycisku podanego w argumencie.
3. **left_or_right()** - metoda rozpoznająca lewą oraz prawą dłoń. Metoda za argumenty przyjmuje:
 - **index** - indeks badanej dłoni.
 - **mode** - metoda określania typu dłoni.
 - **AI** - wykorzystuje gotowy model MediaPipe. Niestety ten może nie zawsze działać poprawnie.
 - **position** - drugą metodą jest bazowanie na pozycji dłoni, dłoni po prawej stronie względem drugiej dłoni jest dłonią prawą i odwrotnie. Jeśli na ekranie widoczna jest jedna dłoń, wtedy funkcja jest wywoływana ponownie z metodą 'AI'.
 - **hand** - obiekt przechowujący współrzędne elementów charakterystycznych danej dłoni.
4. **get_position()** - Funkcja zwraca pozycję elementu danej dłoni.
 - **index** - indeks badanej dłoni.
 - **landmark_idx** - indeks elementu charakterystycznego, którego pozycję ma zwrócić funkcja.

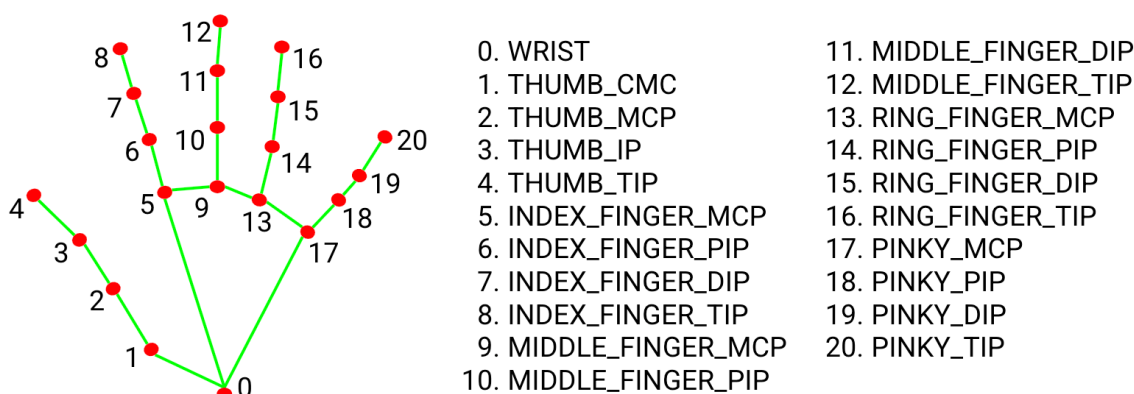
- **normalized** - parametr określający czy zwrócone współrzędne mają zostać znormalizowane czy nie.
5. **get_distance_between_landmarks()** - Metoda obliczająca odległość między dwoma wybranymi elementami charakterystycznymi.
- **index** - indeks dłoni, na której znajdują się mierzone elementy.
 - **landmark_1** - indeks pierwszego elementu dłoni.
 - **landmark_2** - indeks drugiego elementu dłoni.
 - **normalized** - parametr określający czy odległość ma zostać znormalizowana.
6. **get_angle()** - metoda zwracająca kąt obrotu wybranego elementu charakterystycznego dłoni względem nadgarstka.
- **index** - indeks wybranej dłoni.
 - **landmark_idx** - indeks elementu względem, którego obliczany jest kąt.
 - **mode**
 - **half** - zwraca kąt półpełny
 - **full** - zwraca kąt pełny
 - **unit**
 - **radians** - jednostka kąta w radianach
 - **degrees** - jednostka kąta w stopniach
7. **get_gesture()** - metoda określa gest wybranej dłoni.
- **index** - indeks wybranej dłoni.
8. **show_data()** - metoda wyświetlająca dane w oknie lub w konsoli w zależności od wybranej opcji.
- **console** - flaga określająca czy dane mają zostać wypisane w konsoli.
 - **on_image** - flaga określająca czy dane mają zostać wypisane na ekranie.
 - **image** - wybrany obraz, na którym mają zostać wypisane dane.
9. **main()** - główna metoda, w której wykonywane są niezbędne obliczenia oraz funkcje.

10. `loop()` - metoda, w której wywoływana jest metoda `main()` w pętli.

6.2 Struktury danych

6.2.1 Struktura `mp_hands`

Struktura `mp_hands` jest enumeratorem. Przechowuje ona informacje o indeksach wszystkich elementów dłoni. Została ona stworzona po to, aby łatwiej było zapisywać program, który odczytuje informacje o danym elemencie.



Rysunek 6.3: Elementy charakterystyczne dłoni

Pierwszym elementem określanym przez enumerator jest nadgarstek. Dalej znajduje się reszta indeksów, oznaczająca resztę części palców i dłoni.

```
x = hand.landmark[ self.mp_hands.HandLandmark.WRIST ].x
```

Listing 6.1: Przykładowe wykorzystanie `mp_hands`

Tak jak zostało to ukazane powyżej, enumerator może zostać wykorzystany, na przykład do odczytu współrzędnej danego punktu. Jest to ułatwienie, dzięki któremu program staje się czytelniejszy dla programisty lub osoby przeglądającej program.

6.2.2 Struktura results

Struktura **results** jest obiektem, który przechowuje informacje zwrócone przez metodę **hands.process()**. Klasa **OpenLeap** korzysta z dwóch typów informacji zwracanych przez tą metodę.

- **multi_hand_landmarks** - obiekt przechowujący dane o pozycjach wszystkich elementów dłoni. Przykład wykorzystania został przedstawiony powyżej.

```
[landmark {
  x: 0.7409825921058655
  y: 0.6843034029006958
  z: 0.0
}
. s
.
.
landmark {
  x: 0.7874422073364258
  y: 0.26234549283981323
  z: -0.16528795659542084
}
]
```

Listing 6.2: Przykład elementu obiektu

- **multi_handedness** - lista przechowująca dane o wszystkich dłoniach widocznych na obrazie. Danymi są indeks, typ dłoni oraz punktacja określająca pewność poprawnego rozpoznania dłoni.

```
[classification {
  index: 1
  score: 0.9482673406600952
  label: "Right "
}
]
```


]

Listing 6.3: Przykład elementu obiektu

6.2.3 Dataclass

Struktura typu **Dataclass** pozwala na stworzenie struktury podobnej do **struct** istniejącej w języku programowania **C**. Taka klasa pozwala na stworzenie obiektu składającego się jedynie z atrybutów wymaganych do opisu elementów klasy kontrolera. Dodatkowym atutem takiej klasy jest możliwość prostego odczytu zapisanych danych, korzystając z operatora kropki, a nie z operatów opisujących słownik lub listę.

```
@dataclass
class Data:
    x : float = 0
    y : float = 0
    z : float = 0
    distance: float = 0.0
    angle: float = 0.0
    gesture: str = None
```

W języku Python stworzenie klasy typu **dataclass** zaczyna się od zapisania dekoratora. W tym wypadku nie jest wymagana funkcja inicjalizująca obiekt, czyli `__init__`. Parametry początkowe można podać w chwili tworzenia obiektu, lub później. W programie zostały przypisane wartości początkowej, tak jak w przykładzie powyżej.

6.2.4 Słownik

Instancja stworzonego typu **Data** zostanie zainicjowana dla każdej dłoni (lewej oraz prawej). Te instancje zostaną zapisane w słowniku.

```
data = { 'right':Data(), 'left':Data() }
```

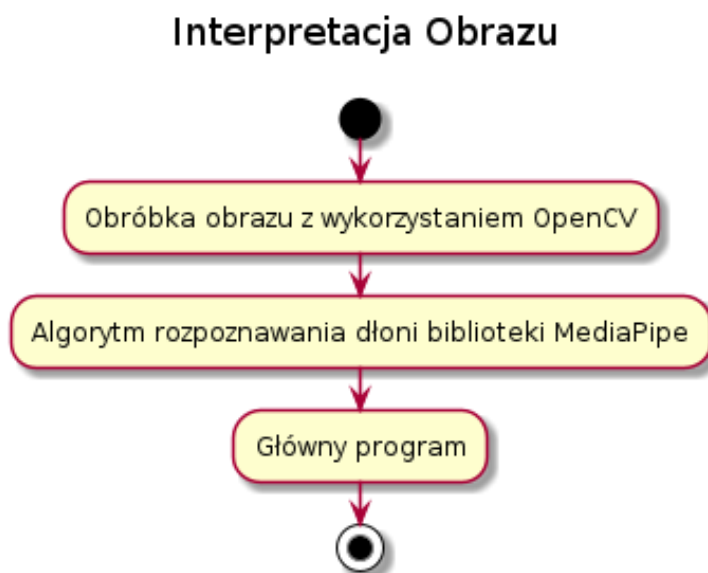
Taka konstrukcja pozwoli użytkownikowi w prosty i przejrzysty sposób na odnajdowania potrzebnych wartości oraz informacji.

6.2.5 Pickle

Modele matematyczne, które zostaną wytrenowane muszą zostać zapisane, tak aby można było je wykorzystać ponownie. Z tego powodu został wykorzystany plik typu **pickle**, który umożliwia zapis zmiennych oraz obiektów w postaci binarnej. Dzięki czemu można je wykorzystać ponownie pomimo restartu programu.

6.3 Rozpoznawanie dłoni

Pierwszym elementem projektu jest rozpoznanie dłoni poprzez wyznaczenie pozycji elementów charakterystycznych. Pozycja każdego z tych elementów, jak już zostało to opisane, jest względna według lewego górnego rogu obrazu kamery.



Rysunek 6.4: Przygotowanie obrazu

W pierwszym kroku obraz powinien zostać pozyskany z kamery oraz odpowiednio przetworzony przez funkcje biblioteki OpenCV.

Kolejnym krokiem jest rozpoznanie elementów charakterystycznych dłoni przez model biblioteki MediaPipe.

Na końcu powinna zostać wykonana główna część programu. Na przykład rozpoznanie gestu czy obliczenia kąt obrotu.

6.3.1 OpenCV - przygotowanie obrazu z kamery

W pierwszym kroku należy zainicjalizować obiekt obsługujący kamerę. Argumentem jest identyfikator określający, która kamera podłączona do systemu ma zostać wykorzystana. W przypadku kiedy dostępna jest tylko jedna kamera wystarczy wpisać wartość równą 0, tak jak poniżej.

```
self.cap = cv2.VideoCapture(0)
```

W metodzie **main()** w pierwszym kroku warunek określa czy zostało otwarte połączenie z kamerą. Jeśli tak to należy pobrać z niej aktualną klatkę obrazu (**frame**).

```
def main(self):  
    """  
    Main function that runs the core of the program.  
    """  
  
    hand_type = None  
    if self.cap.isOpened():  
        ret, frame = self.cap.read()
```

Model rozpoznający dłoni korzysta z przestrzeni barw RGB (red, green, blue), a nie BGR (blue, green, red). Dlatego należy obraz przekształcić właśnie na przestrzeń RGB. Dodatkowo, obraz powinien zostać obrócony horyzontalnie, tak aby stworzył lustrzane odbicie względem użytkownika ustawionego na przeciwko kamery.

```
#BGR to RGB  
image = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2RGB)  
  
#Flip horizontal  
image = cv2.flip(image, 1)
```

Flage **writeable** ustawiona na **False** pozwala na uzyskanie lepszej wydajności przy przetwarzaniu obrazu w ramach modelu rozpoznającego dłonie.

```
#Set flag
image.flags.writeable = False

#Detections
self.results = self.hands.process(image)
# print(self.results.multi_hand_landmarks)

#Set flag back to True
image.flags.writeable = True
```

Przestrzeń barw zostaje przywrócona do RGB, aby była mogła zostać poprawnie wyświetlona przez funkcję biblioteki OpenCV.

```
#RGB to BGR
image = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_RGB2BGR)
```

6.4 MediaPipe - Elementy charakterystyczne

Pozycje nadgarstka, paliczków oraz stawów dłoni zostaną wykorzystane do obliczenia obrotu dłoni względem punktu 0 oraz do wytrenowania modeli uczenia maszynowego, których zadaniem będzie rozpoznawanie wybranych gestów.

6.4.1 Generowanie grafiki dłoni

Generowanie grafiki nałożonej na daną dłoń wykonuje się przy pomocy przygotowanej funkcji biblioteki MediaPipe, która współpracuje z OpenCV.

6.5 Pomiary oraz inne ważne elementy

6.5.1 Pozycja dłoni

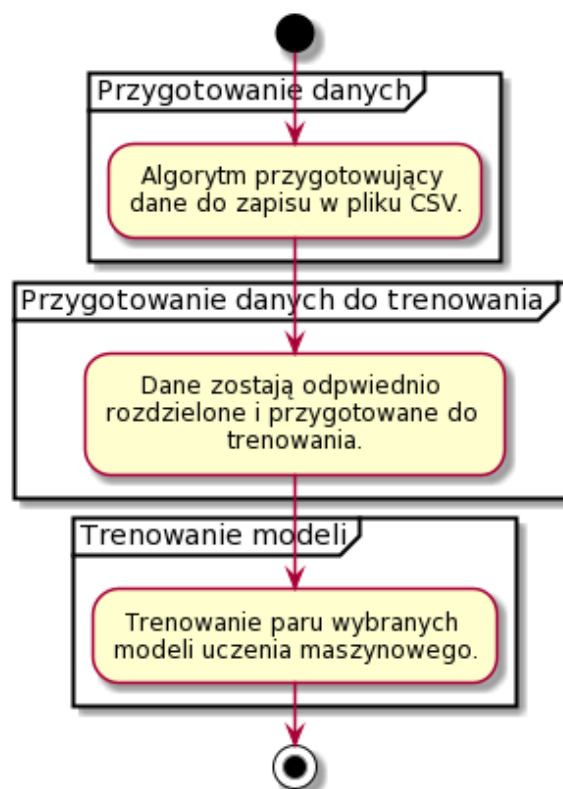
6.5.2 Obrót dłoni

6.5.3 Odległość między palcami

6.6 Rozpoznawanie gestów

6.6.1 Przygotowanie modeli uczenia maszynowego

Celem programu będzie stworzenie modeli matematycznych przy pomocy metod uczenia maszynowego, których celem będzie rozpoznawanie gestów dłoni. Proces tworzenia takiego modelu można podzielić na trzy kroki przedstawione na schemacie 6.3.



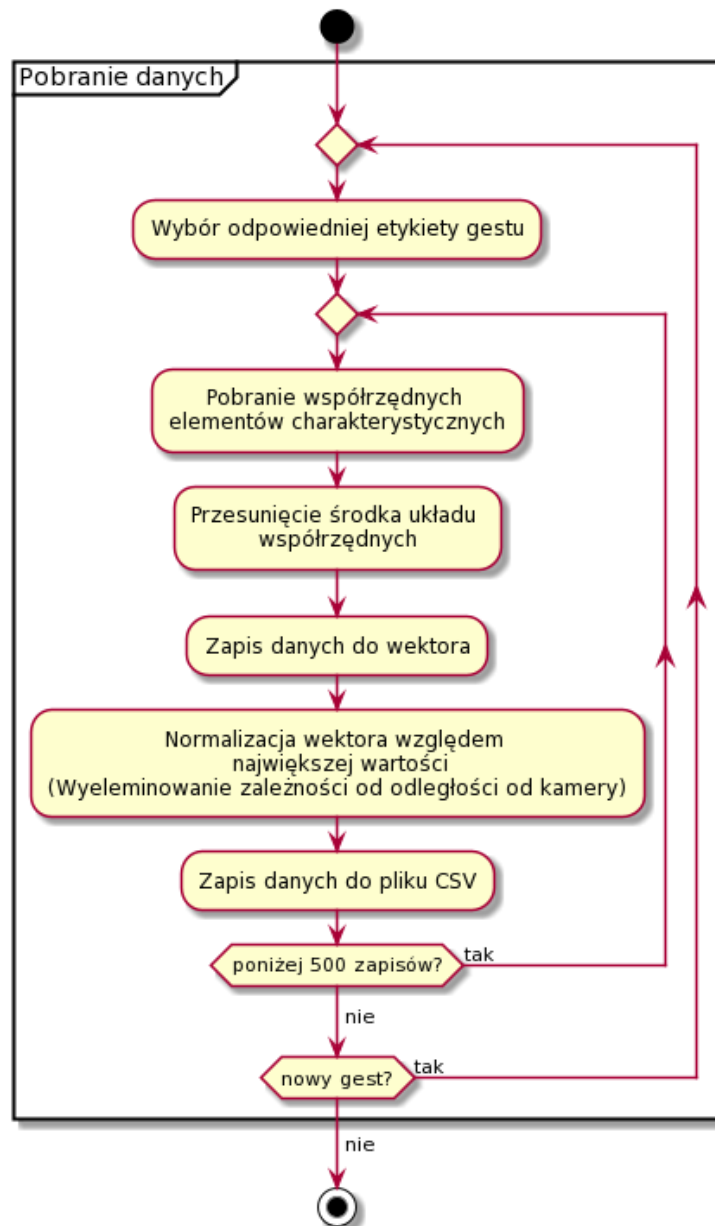
Rysunek 6.5: Ogólny algorytm przygotowania modeli uczenia maszynowego

Całość programu została napisana w notatniku Jupyter. Pozwala to na wykonanie pewnych części programu osobno, niezależnie od reszty programu. W praktyce każdy blok opisany w powyższym schemacie UML ma swoje odwzorowanie w notatniku. Na przykład, część zapisująca współrzędne do pliku będzie wykonywana tyle razy ile jest gestów do wytrenowania.

6.6.2 Zebranie danych

Algorytm zebrania danych polega na pobraniu współrzędnych oszacowanych przez model MediaPipe. Należy pamiętać o tym, że środek układu współrzędnych znajduje się lewym górnym rogu obrazu kamery. Oznacza to, że współrzędne w tej postaci nie nadają się do wyuczenia modelu matematycznego. Gest nie powinien być rozpoznawany na podstawie pozycji dłoni w obrazie lub jej odległości od

kamery. Należy się tych zależności pozbyć.



Rysunek 6.6: Ogólny algorytm przygotowania modeli uczenia maszynowego

Gest dłoni, można scharakteryzować na podstawie pozycji elementów dłoni. Podstawowym problemem jest fakt, że pozycje elementów charakterystycznych są

opisane względem układu współrzędnych, którego środek znajduje się w lewym górnym rogu obrazu pobranego z kamery. Pozycja dłoni na obrazie nie ma żadnego znaczenia w kwestii określania gestu. Poprawnie przygotowane pozycje elementów powinny zostać pozbawione zależności od pozycji dłoni względem obrazu. Przygotowanie danych do przetworzenia będzie wymagało paru operacji matematycznych. W takim wypadku należy przeprowadzić transformację, tutaj akurat przesunięcie układu współrzędnych do pozycji nadgarstka. Taka operacja pozwoli na opis pozycji elementów względem nadgarstka. Ostatecznie pozbywamy się pozycji nadgarstka z wektora danych, ponieważ jest ona środkiem nowego układu współrzędnych.

Macierz przesunięcia

$$M_p = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -x_0 \\ 0 & 1 & 0 & -y_0 \\ 0 & 0 & 1 & -z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Tak naprawdę, przesunięcie układu współrzędnych w osi Z nie będzie miało miejsca. Wartości współrzędnej Z reszty elementów, oprócz elementu z indeksem równym 0, czyli nadgarstka, są określane właśnie nadgarstka. Dlatego też, macierz przesunięcia w osi Z jest równa 0.

$$M_p = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -x_0 \\ 0 & 1 & 0 & -y_0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Aby dane mogły zostać zinterpretowane przez algorytmy uczenia maszynowego muszą one zostać przedstawione w postaci jednowymiarowej. Aktualna postać macierzy przedstawiającej współrzędne elementów charakterystycznych ma następującą postać. Indeksy współrzędnych są równoznaczne z indeksami elementów dłoni.

$$M_p = \begin{bmatrix} x'_1 & y'_1 & z'_1 \\ x'_2 & y'_2 & z'_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x'_{21} & y'_{21} & z'_{21} \end{bmatrix}$$

Dane w postaci jednowymiarowej mają postać następującego wektora.

$$A_f = [x_1 \ y_1 \ z_1 \ x_2 \ y_2 \ \cdots \ y_{21} \ z_{21}]$$

Drugim krokiem jest uniezależnienie pozycji elementów od odległości dłoni od kamery. Najprostszym rozwiązaniem jest normalizacja wektora danych względem największej bezwzględnej wartości.

Normalizacja

$$A_n = \frac{A_f}{\max(\text{abs}(A_f))}$$

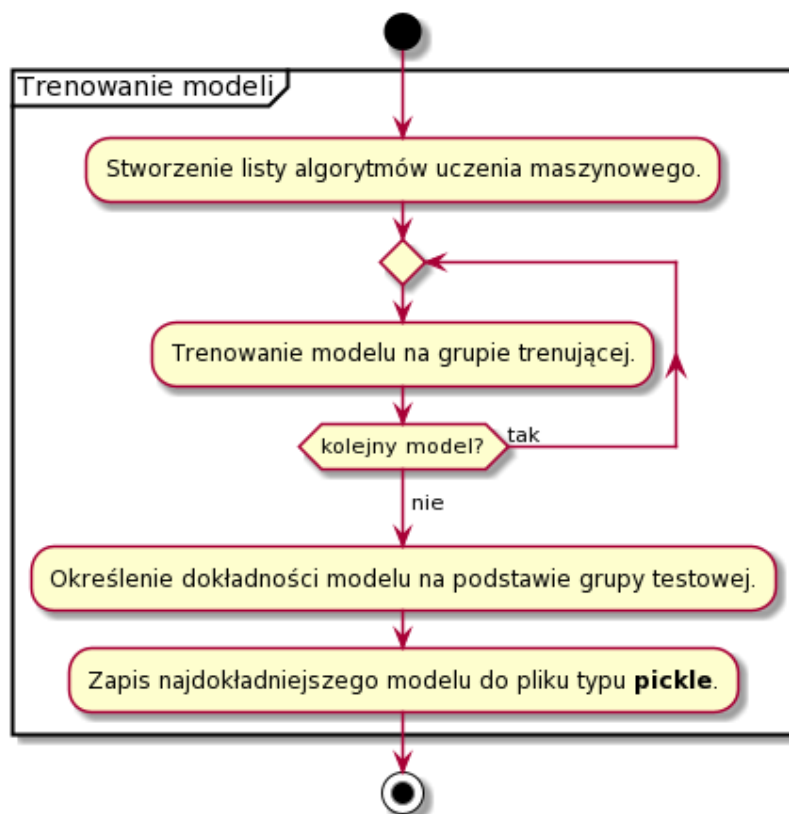
Każdy nowy wektor zostaje zapisany do pliku CSV z odpowiednią etykietą. Zebrane dane posłużą do wytrenowania algorytmów uczenia maszynowego.

6.6.3 Budowa pliku CSV

Dane zapisane w pliku CSV opisują przykładowe współrzędne wszystkich elementów dłoni wraz z przypisaną etykietą oznaczającą gest.

6.6.4 Metody klasyfikacji - uczenie maszynowe

Przygotowane dane zostają odczytane z pliku CSV. W pierwszym kroku należy rozdzielić je na dwie części: współrzędne (dane wejściowe) oraz etykiety (dane wyjściowe). W kolejnym kroku należy te dwie grupy podzielić na grupę trenującą i grupę testową. Zadaniem grupy testowej będzie trenowanie wybranych modeli matematycznych, a grupy testowej przetestowanie ich dokładności.



Rysunek 6.7: Ogólny algorytm przygotowania modeli uczenia maszynowego

W celu wybrania najlepszej metody klasyfikacji, zostnie wybranych kilka algorytmów. Każdy z nich stworzy swój model, a ostatecznie zostanie sprawdzona ich poprawności z wykorzystaniem grupy testowej. Model z najlepszym wynikiem zostanie zapisany do pliku typu **pickle**. W języku Python pliki typu **pickle** pozwalają na zapis zmiennych, obiektów lub innych struktur danych, które mają zostać wykorzystane w po zakończeniu programu.

6.6.5 Wybrane algorytmy klasyfikujące

Do wytrenowania modeli uczenia maszynowego z biblioteki SciKit Learn zostały wybrane następujące algorytmy.

- Logistic Regression

- Nearest Centroid
- Decision Tree Classifier
- Random Forest Classifier
- SGD Classifier
- Gradient Boosting Classifier
- MPL Classifier

6.6.6 Badanie dokładności każdego z algorytmów

6.6.7 Ponowne wykorzystanie modelu

Gotowy model pobieramy i testujemy w przykładowym programie.

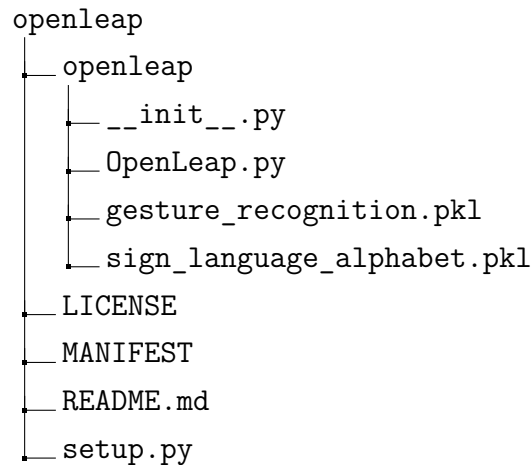
6.7 Paczka PyPi

6.7.1 Budowa paczki

Ostatecznym krokiem jest przygotowanie programu w formie paczki, która zostanie udostępniona na platformie PyPi. Wymaga to przygotowania odpowiednich plików konfiguracyjnych oraz zastosowania stosownych narzędzi do stworzenia pliku **wheel** oraz **tar**.

6.7.2 Struktura Paczki

Pierwszym krokiem jest przygotowanie odpowiedniej struktury paczki. Do tego celu został stworzony folder o poniższej strukturze. W tym folderze znajdują się wszystkie potrzebne elementy paczki. W podfolderze o tej samej nazwie znajduje się główna część modułu, czyli plik **.py**, w którym zapisana jest klasa **OpenLeap**. Dodatkowo w tym folderze znajdują się pliki typu **pickle**, w których zapisane są modele rozpoznające gesty.



Rysunek 6.8: Struktura paczki PyPi

6.7.3 Pliki Konfiguracyjne

Pliki `setup.py` oraz `MANIFEST` są plikami, które odpowiadają za konfigurację oraz opis paczki. W pliku `setup.py` zapisany jest numer aktualnej wersji, autor, kontakt do autora, nazwa paczki itp.

6.7.4 Załadowanie paczki do repozytorium

Przed załadowaniem paczki do repozytorium, należy stworzyć zapakowaną paczkę źródłową, na przykład typu `.tar` oraz plik typu `WHEEL`. Oba pliki spełniają tę samą funkcję, czyli przechowywanie niezbędnych elementów paczki oraz umożliwiają ich instalację na systemie użytkownika. Plik `WHEEL` pozwala na dużo szybszy proces instalacji niż instalacja ze źródła, czyli paczki typu `.tar`.

Rozdział 7

Weryfikacja i walidacja

- sposób testowania w ramach pracy (np. odniesienie do modelu V)
- organizacja eksperymentów
- przypadki testowe zakres testowania (pełny/niepełny)
- wykryte i usunięte błędy
- opcjonalnie wyniki badań eksperymentalnych

Tablica 7.1: Opis tabeli nad nią.

ζ	metoda						
	alg. 1	alg. 2	alg. 3			alg. 4, $\gamma = 2$	
			$\alpha = 1.5$	$\alpha = 2$	$\alpha = 3$	$\beta = 0.1$	$\beta = -0.1$
0	8.3250	1.45305	7.5791	14.8517	20.0028	1.16396	1.1365
5	0.6111	2.27126	6.9952	13.8560	18.6064	1.18659	1.1630
10	11.6126	2.69218	6.2520	12.5202	16.8278	1.23180	1.2045
15	0.5665	2.95046	5.7753	11.4588	15.4837	1.25131	1.2614
20	15.8728	3.07225	5.3071	10.3935	13.8738	1.25307	1.2217
25	0.9791	3.19034	5.4575	9.9533	13.0721	1.27104	1.2640
30	2.0228	3.27474	5.7461	9.7164	12.2637	1.33404	1.3209
35	13.4210	3.36086	6.6735	10.0442	12.0270	1.35385	1.3059
40	13.2226	3.36420	7.7248	10.4495	12.0379	1.34919	1.2768
45	12.8445	3.47436	8.5539	10.8552	12.2773	1.42303	1.4362
50	12.9245	3.58228	9.2702	11.2183	12.3990	1.40922	1.3724

Rozdział 8

Podsumowanie i wnioski

- uzyskane wyniki w świetle postawionych celów i zdefiniowanych wyżej wymagań
- kierunki ewentualnych danych prac (rozbudowa funkcjonalna ...)
- problemy napotkane w trakcie pracy

Dodatki

Spis skrótów i symboli

DNA kwas deoksyrybonukleinowy (ang. *deoxyribonucleic acid*)

MVC model – widok – kontroler (ang. *model-view-controller*)

N liczebność zbioru danych

μ stopień przyleżności do zbioru

\mathbb{E} zbiór krawędzi grafu

\mathcal{L} transformata Laplace’a

Źródła

Jeżeli w pracy konieczne jest umieszczenie długich fragmentów kodu źródłowego, należy je przenieść do załącznika.

Zawartość dołączonej płyty

Do pracy dołączona jest płyta CD z następującą zawartością:

- praca (źródła $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ owe i końcowa wersja w pdf),
- źródła programu,
- dane testowe.

Spis rysunków

5.1	Strona modułu OpenLeap na PyPi	17
5.2	Zrzut ekranu programu testowego	19
5.3	Parametry wyświetlanego obrazu.	20
5.4	Gesty alfabetu języka migowego	22
5.5	Rozpoznawanie języka migowego	23
5.6	Zrzut ekranu kiosku interaktywnego	24
5.7	Obrót dłoni o 30 stopni.	25
5.8	Obrót dłoni o 96 stopni.	26
5.9	Obrót dłoni o 174 stopni.	26
5.10	Ustawienie saturacji	27
6.1	Relacja klas	30
6.2	Schemat klasy OpenLeap	31
6.3	Elementy charakterystyczne dłoni	34
6.4	Przygotowanie obrazu	37
6.5	Ogólny algorytm przygotowania modeli uczenia maszynowego	41
6.6	Ogólny algorytm przygotowania modeli uczenia maszynowego	42
6.7	Ogólny algorytm przygotowania modeli uczenia maszynowego	45
6.8	Struktura paczki PyPi	47

Spis tablic

7.1	Opis tabeli nad nią.	50
-----	------------------------------	----