

# Содержание

<b>1</b>	<b>Аналитический раздел</b>	<b>2</b>
1.1	Допустимые положения пальцев рук . . . . .	2
1.2	Prolog . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Конструкторский раздел</b>	<b>6</b>
2.1	Углы Эйлера . . . . .	6
2.2	Структура проверок положения точек . . . . .	6
2.3	Визуализация руки . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Технологический раздел</b>	<b>8</b>
3.1	Средства реализации . . . . .	8
3.2	Описание структуры базы знаний . . . . .	8
3.3	Взаимодействие с Python . . . . .	11
3.4	Отрисовка руки . . . . .	12
	<b>Список использованных источников</b>	<b>13</b>

# 1 Аналитический раздел

## 1.1 Допустимые положения пальцев рук

Каждый палец, кроме первого, состоит из проксимальной (более приближенной к лучезапястному суставу), медиальной (средней) и дистальной (наиболее удаленной от лучезапястного сустава) фаланг, а большой палец - из проксимальной и дистальной фаланги. Пальцы нумеруются с единицы, начиная с большого пальца.

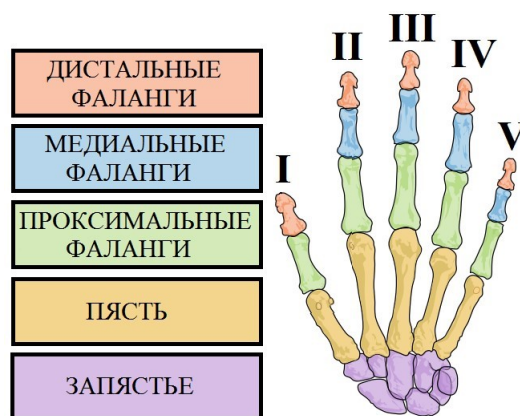


Рис. 1.1: Составные части кисти

В каждом из суставов пальцев кисти выполняется сгибание и разгибание, но только в пястных суставах - отведение и приведение. Движения могут быть следующими: активными (вызванными собственными сокращениями мышц кисти) и пассивными (вызванными внешней причиной). Большой палец, который имеет наиболее сложную структуру, способен на такие движения, как сгибания и разгибание, отведение и приведение, а также противопоставление при помощи пястной кости. В пястно-фаланговом и межфаланговом суставах большого пальца возможны только сгибание и разгибание.

Простые движения кисти приведены на рисунках 1.2 и 1.3. Амплитуда сгибания/разгибания и отведения/приведения измеряется из нейтрального положения, при котором ось кисти, проходящая через средний палец и третью пястную кость, коллинеарна продольной оси предплечья.

Вокруг вертикальной оси в горизонтальной плоскости осуществляются вращение внутрь (пронация) и наружу (супинация) большого пальца вместе с пястной костью при помощи пястно-запястного сустава. Большой палец при сгибании вокруг сагиттальной оси во фронтальной плоскости смещается в сторону ладони, при этом возможно противопоставление остальным пальцам. Движение вокруг фронтальной оси определяется как приведение и отведение большого пальца.

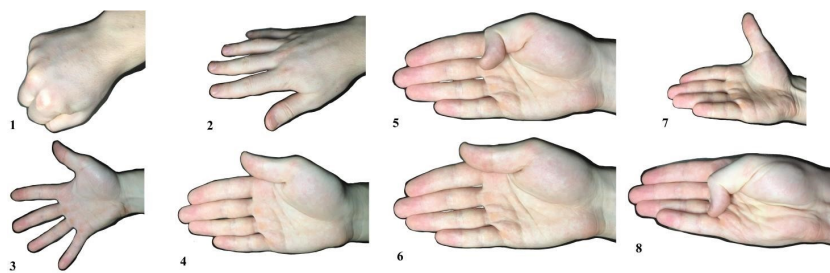


Рис. 1.2: Движения кисти. 1. Сгибание пальцев. 2. Разгибание пальцев. 3. Отведение пальцев. 4. Приведение пальцев. 5. Сгибание большого пальца. 6. Разгибание большого пальца. 7. Отведение большого пальца. 8. Противопоставление большого пальца

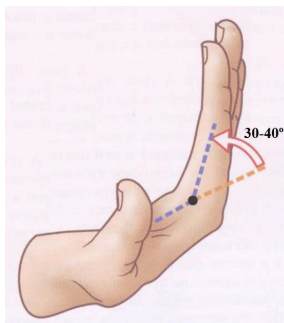


Рис. 1.3: Активное разгибание в пястно-фаланговом суставе

Простые движения состоят из:

- «Сгибания в лучезапястном суставе» или «Разгибания в лучезапястном суставе»;
- «Отведения в лучезапястном суставе» или «Приведения в лучезапястном суставе»;
- «Сгибания пальцев» или «Разгибания пальцев» (большой палец рассматривается отдельно);
- «Отведения пальцев» или «Приведения пальцев» (большой палец рассматривается отдельно);
- «Сгибания большого пальца» или «Разгибания большого пальца»;
- «Отведения большого пальца» или «Приведения большого пальца»;
- «Противопоставления большого пальца».

Были составлены таблицы 1.1 и 1.2 амплитудных углов кисти и пальцев от нейтрального положения. Также, принимая во внимание факт, что движения отведения или приведения совершаются самостоятельно только проксимальными фалангами, все другие фаланги данного движения самостоятельно не выполняют и являются ведомыми. II палец отличается способностью производить отведение в  $60^\circ$  от начального положения, сохраняя возможность выполнять приведение и отведение в диапазоне  $30^\circ$ .

Таблица 1.1: Угловая амплитуда движений ладони

Движение	Амплитуда, °
Сгибание	80 - 85
Разгибание	70 - 85
Отведение	15 - 25
Приведение	30 - 45

Таблица 1.2: Угловая амплитуда движений пальцев

Движение			Сгибание	Разгибание	Отведение	Приведение
Амп., °	БП	Пястная кость и запястье	20	!20	20	20
		Проксимальная фаланга и пястная кость	50	!50	-	-
		Дистальная и проксимальная фаланги	80	!80+(20)	-	-
	II палец	Проксимальная фаланга и пястная кость	-	-	60	!60
	II, III, IV, V пальцы	Проксимальная фаланга и пястная кость	90	!90+(30)	30	30
		Медиальная и проксимальная фаланги	100	!100	-	-
		Дистальная и медиальная фаланги	80	!80	-	-
	Ладонь	Ладонь и предплечье	70		80	

## 1.2 Prolog

Prolog — язык и система логического программирования, основанные на языке предикатов математической логики дизъюнктов Хорна, представляющей собой подмножество логики предикатов первого порядка. Язык сосредоточен вокруг небольшого набора основных механизмов, включая сопоставление с образцом, древовидного представления структур данных и автоматического перебора с возвратами. Хорошо подходит для решения задач, где рассматриваются объекты (в частности структурированные объекты) и отношения между ними. Пролог, благодаря своим особенностям, используется в области искусственного интеллекта, компьютерной лингвистики и нечислового программирования в целом. В некоторых случаях реализация символьных вычислений на других стандартных языках вызывает необходимость создавать большое количество кода, сложного в понимании, в то время как реализация тех же алгоритмов на языке Пролог даёт простую программу, легко помещающуюся на одной странице.

Prolog является декларативным языком программирования: логика программы выражается в терминах отношений, представленных в виде фактов и правил. Для того чтобы инициировать вычисления, выполняется специальный запрос к базе знаний, на которые система логического программирования генерирует ответы «истина» и «ложь». Для обобщённых запросов с переменными в качестве аргументов созданная система Пролог выводит конкретные данные в подтверждение истинности обобщённых сведений и правил вывода. Иначе говоря, предикат можно определить как функцию, отображающую множество произвольной природы в множество булевых значений ложно, истинно. Задача пролог-программы заключается в том, чтобы доказать, является ли заданное целевое утверждение следствием из имеющихся фактов и правил.

Основными понятиями в языке Пролог являются факты, правила логического вывода и запросы, позволяющие описывать базы знаний, процедуры логического вывода и принятия решений. В логическом программировании, как оно реализовано в прологе, используется только одно правило вывода — резолюция. В языке пролог исходное множество формул, для которого ищется пустая резолювента, представляется в виде так называемых «дизъюнктов Хорна»:

Программа на Прологе описывает отношения, определяемые с помощью предложений. Как и в любом другом языке, ориентированном на символьные вычисления, предложения выстраива-

ются из термов, которые в свою очередь подразделяются на атомы, числа, переменные и структуры. Структуры представляют собой совокупности термов, заключённые в круглые скобки, в том числе и другие структуры. Структура обозначается именем (функтором), которое располагается перед круглыми скобками.

`book( 'Название', '2009', 'Спб', authors( 'Первый автор', 'Второй автор' ) )`.

Ещё одной конструкцией являются списки, элементы которых заключаются в квадратные скобки. В основе списков в Пролог лежат связанные списки.

Правила в Прологе записываются в форме правил логического вывода с логическими заключениями и списком логических условий. В чистом Прологе предложения ограничиваются дизъюнктами Хорна. Факты в языке Пролог описываются логическими предикатами с конкретными значениями. Факты в базах знаний на языке Пролог представляют конкретные сведения (знания). Обобщённые сведения и знания в языке Пролог задаются правилами логического вывода (определениями) и наборами таких правил вывода (определений) над конкретными фактами и обобщёнными сведениями. Предложения с пустым телом называются фактами.

## 2 Конструкторский раздел

### 2.1 Углы Эйлера

Углы Эйлера определяют три поворота системы, которые позволяют привести любое положение системы к текущему. Обозначим начальную систему координат как  $(x, y, z)$ , конечную как  $(X, Y, Z)$ . Пересечение координатных плоскостей  $xy$  и  $XY$  называется линией узлов  $N$ .

- Угол  $a$  между осью  $x$  и линией узлов — угол прецессии.
- Угол  $b$  между осями  $z$  и  $Z$  — угол нутации.
- Угол  $\gamma$  между линией узлов и осью  $X$  — угол собственного вращения.

Повороты системы на эти углы называются прецессия, нутация и поворот на собственный угол (вращение). Такие повороты некоммутативны и конечное положение системы зависит от порядка, в котором совершаются повороты. В случае углов Эйлера производится серия из трёх поворотов:

1. На угол  $a$  вокруг оси  $z$ . При этом ось  $x$  переходит в  $N$ .
2. На угол  $b$  вокруг оси  $N$ . При этом ось  $z$  переходит в  $Z$ .
3. На угол  $\gamma$  вокруг оси  $Z$ . При этом ось  $N$  переходит в  $X$ .

Иногда такую последовательность называют 3,1,3 (или  $Z, X, Z$ ), но такое обозначение может приводить к двусмыслице.

### 2.2 Структура проверок положения точек

Входные данные в программу представляют собой 42 точки в трехмерном пространстве. Из 42 точек, 21 определяет одну кисть.

Проверка кисти на правильность осуществляется с помощью группы проверок отдельных пальцев, а также точек расположенных непосредственно на ладони. Для реализации проверок лучше использовать язык программирования Prolog, поскольку это мощный инструмент именно для работы с логическими конструкциями.

Для удобства представления входных данных их можно разделить на структуры. Возьмем точки 0, 1, 2, 3. Вместе они составляют мизинец на руке. В соответствии с этим можно создать структуру мизинца. Схожим образом можно объединить оставшиеся точки в безымянный, средний, указательный и большой пальцы. Останутся только точки 19, 20 на левой руке и 40, 41 на правой. Эти точки являются ключевыми для своих кистей соответственно.

Далее полученные структуры пальцев мы можем объединить в структуру руки. Каждая рука будет состоять из пальцев и оставшимся двум точкам соответственно для левой и правой кисти.

Данные преобразования необходимо провести для упрощения понимания структуры кода при его чтении, а также облегчения работы при написании процедур проверок.

Сами проверки в своей основе опираются на проверку углов между определенными точками в пальце.

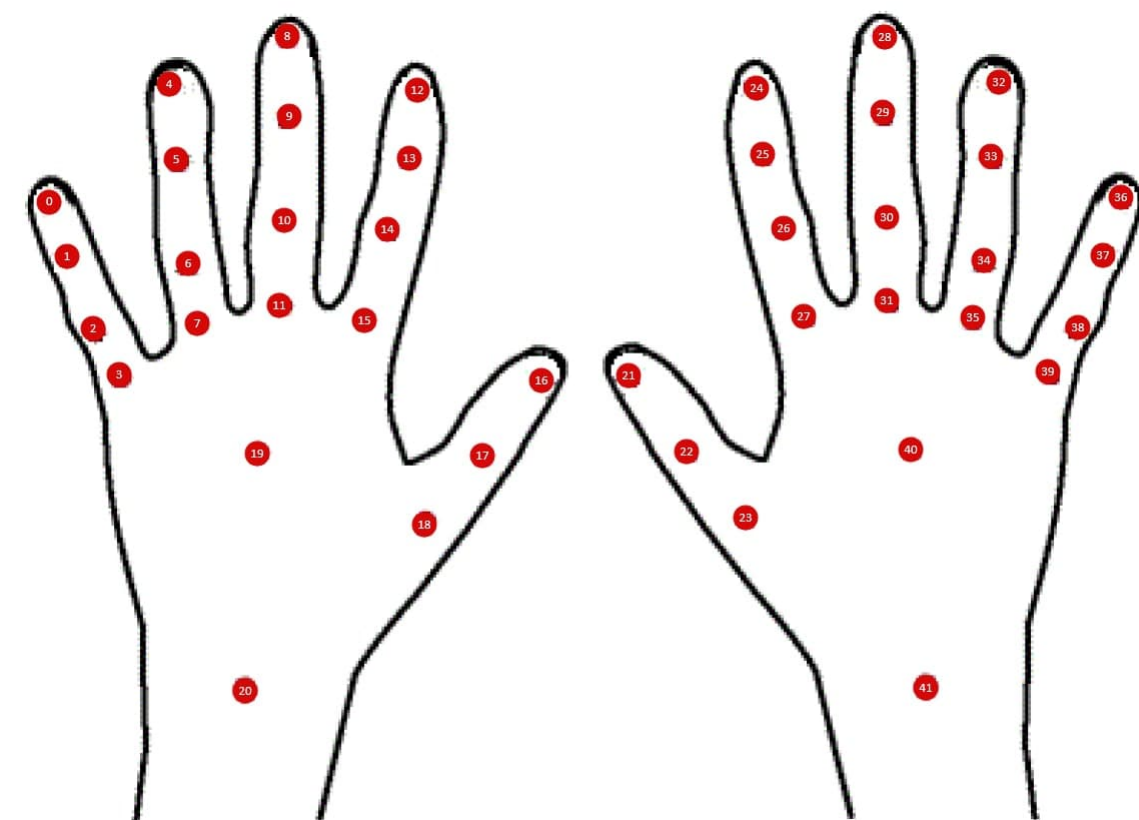


Рис. 2.1: Нумерация точек на кисти

## 2.3 Визуализация руки

## 3 Технологический раздел

### 3.1 Средства реализации

Для реализации программы были следующие языки программирования:

- Python (v.3.9(3)) для написания интерфейса программы и отрисовки рук. Python является простым в использовании средством для выполнения небольших задач, таких как чтение и запись, отрисовка оконного интерфейса;
- Prolog (SWI-Prolog(4)) для написания функций проверки точек на корректность.

### 3.2 Описание структуры базы знаний

Каждый палец (кроме большого) определяется 4 точками (3 точки для большого), следовательно необходимо проверять 3 различных угла при сгибе пальцев (2 для большого), а также угол отклонения пальца при отведении пальца. Таким образом, каждому пальцу соответствует 4 типа проверок.

Листинг 3.1: Знания о типах проверок каждого пальца

```
1 %finger_motion_type(FingerType, AbductionType, Flexion1, Flexion2, Flexion3).
2
3 finger_motion_type(thumb, bprived, bpsgib1, bpsgib2, bpsgib2).
4 finger_motion_type(index, oprived, o2sgib1, o2sgib2, o2sgib3).
5 finger_motion_type(middle, oprived, o3sgib1, o3sgib2, o3sgib3).
6 finger_motion_type(ring, oprived, o4sgib1, o4sgib2, o4sgib3).
7 finger_motion_type(little, oprived, o5sgib1, o5sgib2, o5sgib3).
```

Каждому из типу проверок соответствуют диапазоны углов, которые допустимы при том или ином движении пальца.

Листинг 3.2: Знания об амплитудах углов

```
1 %angle_type_limits(Finger, MinAngle, MaxAngle)
2
3 angle_type_limits(bpabc, -80, 80).
4 angle_type_limits(bpbcd, -50, 50).
5 angle_type_limits(bpcde, -90, 90).
6 angle_type_limits(oabc, -80, 80).
7 angle_type_limits(obcd, -100, 100).
8 angle_type_limits(ocde, -90, 90).
9 angle_type_limits(between, -30, 30).
10
11 angle_type_limits(bprived, -50, 50).
12 angle_type_limits(oprived, -60, 60).
13 angle_type_limits(bpsgib1, -50, 50).
14 angle_type_limits(bpsgib2, -100, 80).
15
16 angle_type_limits(o2sgib1, -120, 90).
```



```

17 angle_type_limits(o2sgib2, -100, 100).
18 angle_type_limits(o2sgib3, -100, 100).
19
20 angle_type_limits(o3sgib1, -120, 90).
21 angle_type_limits(o3sgib2, -100, 100).
22 angle_type_limits(o3sgib3, -80, 80).
23
24 angle_type_limits(o4sgib1, -120, 90).
25 angle_type_limits(o4sgib2, -100, 100).
26 angle_type_limits(o4sgib3, -80, 80).
27
28 angle_type_limits(o5sgib1, -120, 90).
29 angle_type_limits(o5sgib2, -100, 100).
30 angle_type_limits(o5sgib3, -80, 80).
31
32 angle_type_limits(bppz, -100, 100).

```

Также каждый из типов проверок отвечает за конкретную ось пространства, по которой проводится проверка.

Листинг 3.3: Знания об осях типов проверок

```

1 %angle_det_type(Type, Axis)
2
3 angle_det_type(bpabc, all).
4 angle_det_type(bpbcd, all).
5 angle_det_type(bpcde, all).
6 angle_det_type(oabc, all).
7 angle_det_type(obcd, all).
8 angle_det_type(ocde, all).
9 angle_det_type(between, all).
10
11 angle_det_type(bpprived, x).
12 angle_det_type(oprived, x).
13 angle_det_type(bppsgib1, y).
14 angle_det_type(bppsgib2, y).
15
16 angle_det_type(o2sgib1, x).
17 angle_det_type(o2sgib2, x).
18 angle_det_type(o2sgib3, x).
19
20 angle_det_type(o3sgib1, x).
21 angle_det_type(o3sgib2, x).
22 angle_det_type(o3sgib3, x).
23
24 angle_det_type(o4sgib1, x).
25 angle_det_type(o4sgib2, x).
26 angle_det_type(o4sgib3, x).
27
28 angle_det_type(o5sgib1, x).
29 angle_det_type(o5sgib2, x).
30 angle_det_type(o5sgib3, x).
31
32 angle_det_type(bppz, z).

```

Попадание угла в диапазон определяется процедурой, которая для этого использует знание о рассматриваемом виде соединения (который устанавливается исходя из знания о рассматриваемом пальце).

Листинг 3.4: Проверка попадания угла в диапазон

```

1 %valid_angle - check if angle is valid for finger

```

```

2 valid_angle(Type, Angle):-
3     angle_type_limits(Type, MinAngle, MaxAngle),
4     MinAngle =< Angle, Angle =< MaxAngle.

```

Программой на Prolog для описания руки используются структуры Рука, Палец и Точка.

Листинг 3.5: Структуры

```

1 point(X, Y, Z).
2
3 hand(
4     finger(little, P0, P1, P2, P3),          %5|finger V
5     finger(ring, P4, P5, P6, P7),            %4|finger IV
6     finger(middle, P8, P9, P10, P11),        %3|finger III
7     finger(index, P12, P13, P14, P15),       %2|finger II
8     finger(thumb, P16, P17, P18),           %1|finger I
9     P19, P20
10 ).

```

Каждой структуре соответствует своя процедура проверки корректности точек.

Листинг 3.6: Процедура проверки корректности точек руки

```

1 validate_hand(hand:hand(Finger5, Finger4, Finger3, Finger2, Finger1, P19, Wrist)):-
2     validate_finger(Finger5, P19, Wrist),
3     validate_finger(Finger4, P19, Wrist),
4     validate_finger(Finger3, P19, Wrist),
5     validate_finger(Finger2, P19, Wrist),
6     validate_finger(Finger1, P19, Wrist).

```

Процедура проверки корректности точек пальца состоит из двух правил: одно для большого пальца, второе - для остальных пальцев.

Листинг 3.7: Процедура проверки корректности точек пальца

```

1 validate_finger(finger(thumb, P1, P2, P3), P19, Wrist):-
2     finger_motion_type(thumb, Abduction, Flex1, Flex2, _),
3     validate_points(bpabc, P1, P2, P3),
4     validate_points(Abduction, P3, P2, Wrist),
5     validate_points(Flex1, P1, P2, P3),
6     validate_points(Flex2, P1, P2, Wrist),
7     validate_points(bppz, P1, P2, P3).
8
9 validate_finger(finger(Finger, P1, P2, P3, P4), P19, Wrist):-
10     not(Finger == thumb),
11     finger_motion_type(Finger, Abduction, Flex1, Flex2, Flex3),
12     validate_points(oabc, P1, P2, P3),
13     validate_points(obcd, P2, P3, P4),
14     validate_points(Abduction, P4, P2, Wrist),
15     validate_points(Flex1, P2, P1, P3),
16     validate_points(Flex2, P4, P2, P3),
17     validate_points(Flex3, P4, P3, Wrist),
18     validate_points(bppz, P1, P2, P3).

```

Листинг 3.8: Процедура проверки угла между точками на корректность

```

1 validate_angle(Type, Point1, Point2, Point3) :-
2     hand:angle_det_type(Type, Axis),
3     get_angle(Axis, Point1, Point2, Point3, Angle),
4     write_files:write_angle(Type, Angle),
5     hand:valid_angle(Type, Angle).

```

### 3.3 Взаимодействие с Python

Взаимодействие Prolog с Python осуществляется с помощью библиотеки PySwip. С помощью метода `prolog.query(statement)`, куда мы передаем все параметры, вызывается основная процедура проверки всех точек. Для получения этих параметров мы читаем точки из текстового файла. После этого вызванная процедура начинает проверку допустимости рук. Если некоторые точки не образуют допустимый угол, то мы записываем эти точки в текстовый файл. Если руки образуют допустимое положение, то решением будет `Result=«Ok»`, если нет - `Result=«Not»`.

Листинг 3.9: Основная процедура проверки корректности точек

```
1 validate_all(Working_Dir, Result,
2     Point1, Point2, Point3, Point4, Point5, Point6, Point7,
3     Point8, Point9, Point10, Point11, Point12, Point13, Point14,
4     Point15, Point16, Point17, Point18, Point19, Point20, Point21,
5     Point22, Point23, Point24, Point25, Point26, Point27, Point28,
6     Point29, Point30, Point31, Point32, Point33, Point34, Point35,
7     Point36, Point37, Point38, Point39, Point40, Point41, Point42
8 ) :-
9     working_directory(_, Working_Dir),
10    open('points.txt', write, Stream),
11    open('angles.txt', write, Stream2),
12    close(Stream2),
13    close(Stream),
14    (
15        (
16            validate_hand(
17                hand:hand(
18                    finger(little, Point1, Point2, Point3, Point4),
19                    finger(ring, Point5, Point6, Point7, Point8),
20                    finger(middle, Point9, Point10, Point11, Point12),
21                    finger(index, Point13, Point14, Point15, Point16),
22                    finger(thumb, Point17, Point18, Point19),
23                    Point20, Point21
24                )
25            ),
26            validate_hand(
27                hand:hand(
28                    finger(little, Point37, Point38, Point39, Point40),
29                    finger(ring, Point33, Point34, Point35, Point36),
30                    finger(middle, Point29, Point30, Point31, Point32),
31                    finger(index, Point25, Point26, Point27, Point28),
32                    finger(thumb, Point22, Point23, Point24),
33                    Point41, Point42
34                )
35            )
36    )-> Result = "Ok"; Result = "Not"
37 ).
```

### 3.4 Отрисовка руки

Отрисовка руки написана на языке Python с помощью библиотек Tkinter и OpenGL. Точки загружаются из текстового файла, которых должно быть 42. После проверки допустимости каркас рук выводится на экран. При этом если ребра окрашены красным цветом, то это означает, что положение отдельной части руки в этих трех точках недопустимо. Левая рука окрашена зелёным цветом, а правая - рыжим. Точки обозначены чёрными квадратами. Перемещать камеру возможно с помощью стрелок на клавиатуре, масштабирование осуществляется с помощью кнопок '+' и '-'.

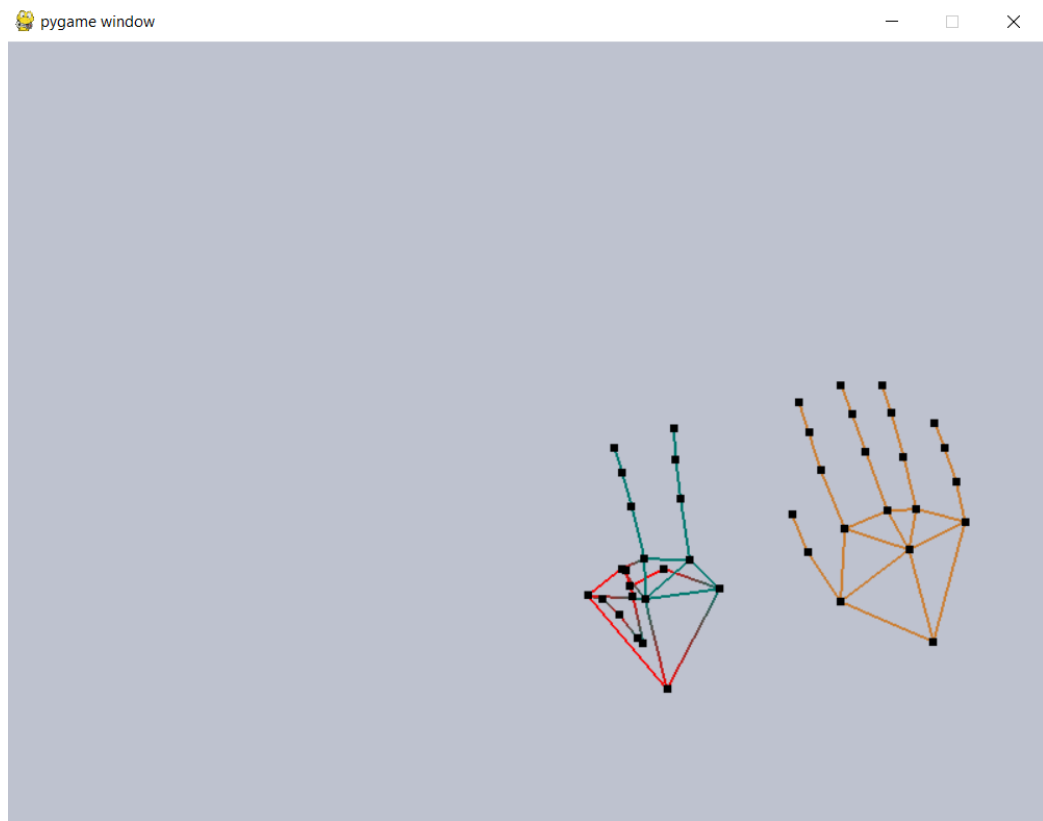


Рис. 3.1: Пример работы программы

## Список использованных источников

- [1] Анатолий Адаменко, Андрей Кучуков. Логическое программирование и Visual Prolog. - СПб.: БХВ-Петербург, 2003 - 990 с. - ISBN 5-94157-156-9.
- [2] Марков, В. Н. Современное логическое программирование на языке Visual Prolog 7.5. - СПб.: БХВ-Петербург, 2016 - 544 с. - ISBN 978-5-9775-3487-1.
- [3] Документация Python 3.9 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://docs.python.org/3/index.html>, свободный. (Дата обращения: 25.09.2021 г.)
- [4] Документация SWI-Prolog [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.swi-prolog.org/pldoc/index.html>, свободный. (Дата обращения: 25.09.2021 г.)