

Арутюнян Мартирос Геннадьевич, аспирант,  
ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет

## ФОРМАЛИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЙ ПАЛЬЦЕВ И ПОСТРОЕНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПО АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ КИСТИ РУКИ

**Аннотация:** Одной из самых сложных частей антропоморфного робота является кисть. Для построения виртуальной и робототехнической модели кисти робота необходимо изучить особенности человеческой кисти. Целью данной работы является создание виртуальной модели кисти с возможностью демонстрации ограничений и особенностей движений пальцев. Описан полный процесс методики сбора данных о кисти человеческой руки и описана формальная модель движений пальцев.

**Ключевые слова:** антропоморфный, человеко-компьютерное взаимодействие, антропометрия, Жестомимический интерфейс, моделирование.

**Abstract:** One of the most difficult parts of an anthropomorphic robot is the hand. To create virtual and robotic models of the hand. For creation of a virtual and robotic model of the robot arm, it is necessary to explore the characteristics of the human hand. The purpose of this work is to create a virtual model of the hand with the ability to demonstrate the limitations and peculiarities of finger movements. The article describes the process of collecting data of the human hand and a formal model of finger movements.

**Key words:** anthropomorphic, human-computer interaction, anthropometry, gesture-based interface, modeling.

Робототехника играет важную роль в новой промышленной революции. Роботизация производства и внедрение аддитивных технологий набирают большую популярность. Данные процессы дополняют друг друга, так как внедрение 3D-печати существенно снижает затраты и объем работ. Робототехника становится двигателем любой индустрии, поскольку она способствует как НИОКР, так и производству изделий точной механики, электротехники, электроники, оптики, композитных материалов и т. д.

Развитие робототехники уже сегодня позволяет решать различные социальные проблемы – уход за престарелыми людьми, снижение человеческих потерь в военных конфликтах и на транспорте. Также большое распространение робототехника получила в медицине. Существуют разные категории роботов, используемые в медицине: роботы-ассистенты, различные хирургические системы, роботизированные протезы, но самыми распространенными являются роботы-манекены, имитирующие человека. Такие роботы отличаются особенностями конструкций и функциональными характеристиками. Одной из самых сложных по строению компонентой антропоморфных роботов являются руки. Антропоморфные роботизированные руки часто используются как отдельные робототехнические комплексы. Спектр применения данного типа роботов широк. Они востребованы как в космонавтике, так и в медицине, и в военной сфере. Кроме того, робототехнические руки востребованы в сфере развлечения, а также в решении социальных проблем. Например, решает проблему обучения жестовому языку слышащих, образования глухих и слабослышащих людей [1, с. 2.].

Для проектирования антропоморфной роботизированной руки необходимо изначально изучить поведение человеческой кисти. Целью данной работы является создание виртуальной модели кисти с возможностью демонстрации ограничений и особенностей движений пальцев. Описан полный процесс методики сбора данных о кисти человеческой руки и описана формальная модель движений пальцев. Объектом исследования является моделирование движений кисти. Предмет – построение формальной модели

позиционирование фаланг пальцев для имитации движений человеческой кисти.

Если рассматривать кисть в целом, то, равно как и в каждом ином участке опорно-двигательного аппарата человека, в ней возможно отметить 3 основные структуры: кости кисти, связки кисти, которые сохраняют кости и формируют суставы, и мышцы кисти. Кисть содержит 3 отдела: запястье, пясть и пальцы. 8 небольших по величине костей запястья имеют неправильную форму. Они размещены в 2 ряда.

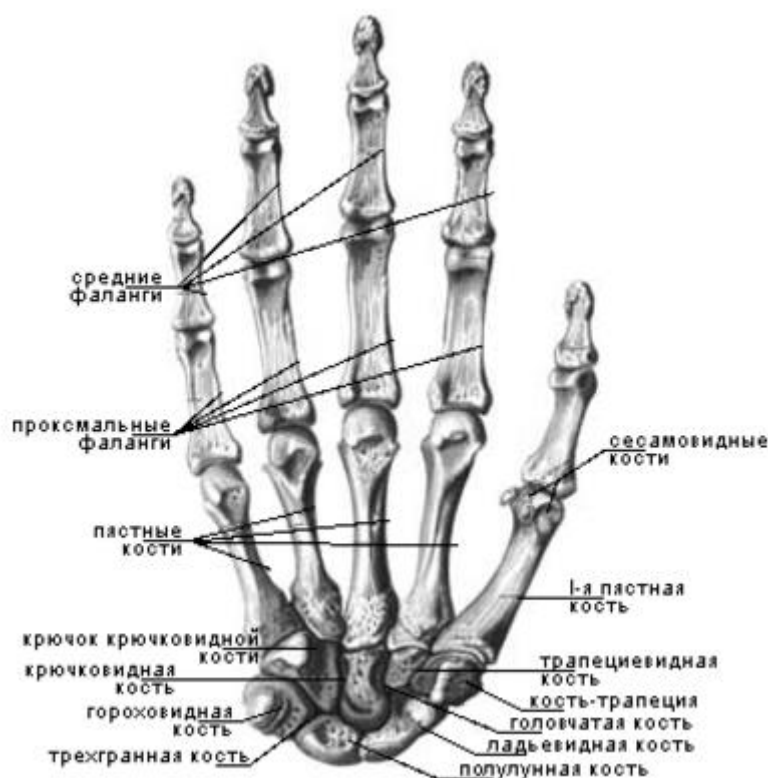


Рисунок 1. Анатомия кисти.

Проксимальный ряд составляют следующие кости, в случае если идти с края большого пальца в сторону 5-ого пальца: ладьевидная, полулунная, трехгранная и гороховидная.

Дистальный ряд составляют также 4 кости: многоугольная, трапециевидная, головчатая и крючковидная, что своим крючком направлена к ладонной стороне кисти.

Проксимальный ряд костей запястья образует выпуклую в сторону лучевой кости суставную поверхность. Дистальный ряд связывается с проксимальным при помощи сустава неправильной фигуры.

Останки запястья лежат в разных плоскостях и образуют желоб (борозду запястья) на ладонной плоскости и выпуклость навнешней. В борозде запястья проходят сухожилия мышц-сгибателей пальцев. Ее внутренней регион урезан гороховиднойкостью и крючком крюч-ковидной кости, которые свободно прощупываются; внешний край собран 2-мя костями — ладьевидной и многоугольной.

Кости пясти.

Пясть состоит с 5 цилиндрических пястных костей. Пястная кость первого пальца короче других, однако отличается собственной массивностью. Более длинной считается 2-ая пястная кость. Последующие кости по направленности к локтевому краю кисти сокращаются в длине. Каждая пястная кость содержит основание, тело и головку [2, с. 53].

Кости пальцев.

Каждый палец состоит из трех фаланг: проксимальной, средней и дистальной. Исключение составляет первый палец, имеющий только две фаланги — проксимальную и дистальную. Проксимальные фаланги являются наиболее длинными, дистальные — наиболее короткими. Каждая фаланга имеет среднюю часть — тело и два конца — проксимальный и дистальный. На проксимальном конце находится основание фаланги, а на дистальном — головка фаланги. На каждом конце фаланги имеются суставные поверхности для сочленения с соседними костями.

Движения в луче – запястном суставе тесно связаны с движениями в среднезапястном суставе, который располагается между проксимальным и дистальным рядами костей запястья. Этот сустав имеет сложную поверхность неправильной формы. Общий объем подвижности при сгибании кисти достигает 85°, при разгибании также приблизительно 85°. Приведение кисти в

этих суставах возможно на  $40^\circ$ , а отведение — на  $20^\circ$ . Кроме того, в луче - запястном суставе возможно круговое движение (циркумдукция).

Запястно-пястные суставы кисти.

Представляют из себя объединения дистального ряда костей запястья с основаниями пястных костей. Данные суставы, кроме запястно-пястного сустава большого пальца кисти, имеют плоскую форму и малоподвижны. Объем движений в них не более  $5—10^\circ$ . Подвижность в этих суставах, а также между костями запястья резко ограничена хорошо развитыми связками.

Запястно-пястный сустав большого пальца кисти состоит из многоугольной кости и основания первой пястной кости. Суставные грани имеют седловидную форму. В суставе возможны следующие движения: приведение и отведение, противопоставление (оппозиция) и обратное движение (репозиция), а также круговое движение (циркумдукция). Благодаря противопоставлению большого пальца всем остальным пальцам значительно возрастает объем хватательных движений кисти. Величина подвижности в запястно-пястном суставе большого пальца составляет  $45—60^\circ$  при отведении и приведении и  $35—40^\circ$  при противопоставлении и обратном движении.

Антропометрия (от греч. *ἄνθρωπος* — человек и *μέτρον* — мерить) считается одной из главных методов антропологического исследования, который состоит в измерении тела человека и его частей для установления половых, возрастных, расовых и других особенностей физического строения с целью дать количественную характеристику такой изменчивости.

Морфологические признаки, определяющие форму кисти человеческой руки, меняются в зависимости от пола, возраста людей, эпохальных изменений и др. Наблюдаются вариации не только отдельных размеров, но и пропорций кистей рук человека.

С целью получения конкретных и сопоставимых данных кисти рук измеряют между определенными антропометрическими пунктами и согласно очерченным границам в мягких материях либо согласно особым кожным

образованиям, к примеру, по 1 и второй дугам тенара (тенар — мышцы возвышения большого пальца).

Размеры кисти в значительной степени зависят от положения кисти измеряемого, поэтому кисти измеряют в определенном положении, предусмотренном методикой. Соблюдение техники измерений является предпосылкой получения сопоставимых и точных данных [3, с. 103].

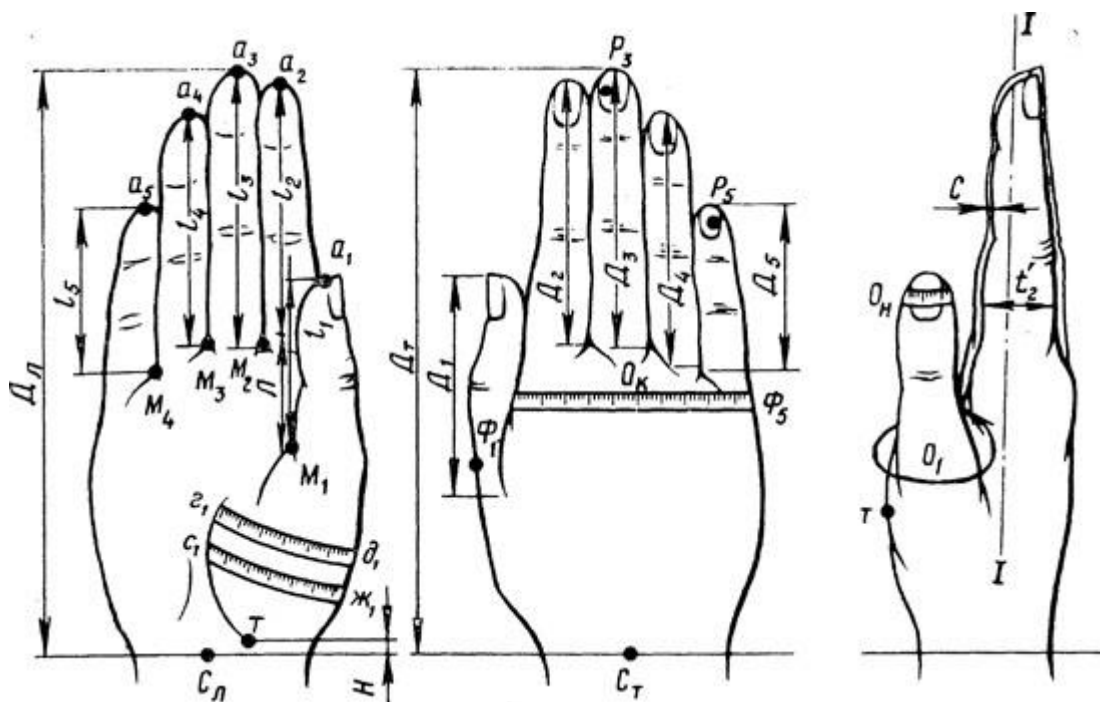


Рисунок 2. Пример программы обмера кисти.

В качестве антропометрических точек были взяты:

- Шиловидный отросток
- Ладьевидная кость
- Грани фаланг пальцев

Измерения велись по трём измерениям:

- длина
- высота
- ширина

Инструменты для проведения измерений:

- Линейка
- Штангенциркуль

- Карандаш

Данные измерений:

Левая рука

Мизинец	длина	глубина	ширина
фл1	24	11	12
фл2	25	14	15
фл3 виз	23	15	14
фл3	37	23	20
до шиловидной	162		
Безымянный			
фл1	27	12	13
фл2	31	15	17
фл3 виз	26	16	15
фл3	48	22	18
до шиловидной	184		
Средний			
фл1	27	12	12
фл2	32	14	15
фл3 виз	30	15	14
фл3	54	27	26
до шиловидной	195		
Указательный			
фл1	24	11	12
фл2	25	14	15
фл3 виз	23	15	14
фл3	37	23	17
до шиловидной	186		
Большой			
фл1	32	18	23
фл2	37	25	26
до шиловидной	149		

Ширина ладони(макс)	103
Ширина у шиловидной	60
Глубина у шиловидной	34
Ширина у ладьевидной	67
Глубина у ладьевидной	39
Между шиловидн и ладьевидной	20
От шил. до кончика среднего	192

\*фл - фаланга

## Правая рука

Мизицен	длин а	глубина	ширин а
фл1	23	12	12
фл2	24	14	15
фл3 виз	26	15	16
фл3	38	24	20
До шиловидной	163		
Безымянный			
фл1	27	13	13
фл2	32	15	17
фл3 виз	26	16	16
фл3	48	22	18
до шиловидной	184		

Средний			
фл1	27	13	12
фл2	32	15	15
фл3 виз	30	16	14
фл3	54	27	26
до шиловидной	195		
Указательный			
фл1	24	11	12
фл2	25	14	16
фл3 виз	23	16	14
фл3	37	24	17
до шиловидной	86		

Большой			
фл1	32	18	24,4
фл2	37	25	26
до шиловидной	149		

Ширина ладони(макс)	108
Ширина у шиловидной	60
Глубина у шиловидной	34
Ширина у ладьевидной	67
Глубина у ладьевидной	39
Между шиловидн. И ладьевидной	21
От шиловидн до кончика среднего	192,3

\*фл=фаланга

Таким образом были получены антропометрические данные кисти руки. Усредненные данные будут использованы для проектирования виртуальной модели кисти.

**Формализация движений и разработка виртуальной модели движения пальцев.**

Разработка виртуальной модели движения пальцев.

Создание виртуальной модели ведется в Microsoft Visual Studio. Это интегрированная среда разработки (IDE) Visual Studio предлагает набор



инструментов для написания и изменения кода, а также обнаружения и исправления в нем ошибок. А ядром, на котором базируется создание виртуальной модели, является OpenGL.

OpenGL — это просто спецификация, то есть документ, описывающий пакет функций и их четкое поведение. Производители оборудования на основе данной спецификации создают реализации — библиотеки функций, соответствующих комплекту функций спецификации. Реализация призвана продуктивно применять возможности оборудования. В случае если оборудование никак не позволяет реализовать какую-либо возможность, она обязана быть эмулирована программно. Производители обязаны пройти специфические тесты (conformance tests — тесты на соответствие) прежде чем реализация станет классифицирована как OpenGL-реализация. Подобным способом, разработчикам программного обеспечения довольно научиться применять функции, описанные в спецификации, откинув эффективную реализацию последних разработчикам аппаратного обеспечения.

Спецификация OpenGL пересматривается консорциумом ARB (Architecture Review Board), который был организован в 1992 г.. Консорциум состоит из фирм, заинтересованных в разработке широко распространённого и легкодоступного API. Согласно официальному веб-сайту OpenGL, членами ARB с решающим голосом на ноябрь 2004 годы считаются производители высококлассных графических аппаратных средств SGI, 3Dlabs, Matrox и Evans & Sutherland (военные приложения), производители графичных аппаратных средств ATI и NVIDIA, производитель процессоров Intel, и производители ПК и компьютерного оснащения IBM, Apple, Dell, Hewlett-Packard и Sun Microsystems. Помимо постоянных членов, каждый год приглашается большое количество других компаний, становящихся частью OpenGL ARB в течение одного года. Такое большое число компаний, вовлеченных в разнообразный круг интересов, позволило OpenGL стать прикладным интерфейсом широкого назначения с большим количеством возможностей [4, с. 27].

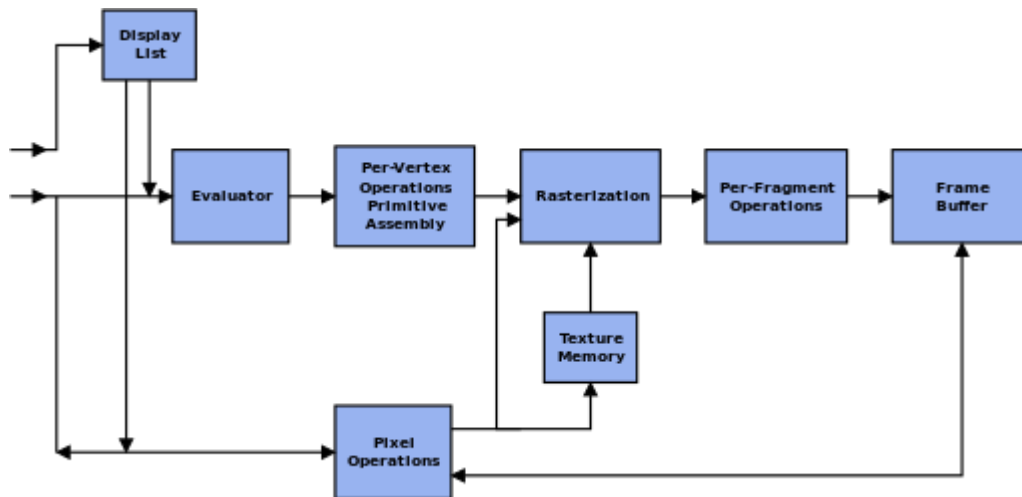


Рисунок 3 структура OpenGL.

### Формализация движение руки человека в пространстве



Рисунок 4. Указатели кисти.

Руку человека можно разделить на три составные части:

1. кисть
2. предплечье
3. плечо

$$R = \{K, Pr, P1\}$$

В свою очередь кисть {K} состоит из множества пальцев и ладони:

$$K = \{P1, P2, P3, P4, B, L\}$$

Все пальцы кисти (кроме большого) P {P1, P2, P3, P4} имеют идентичное строение с точки зрения количества фаланг и их перемещения в пространстве.

```
void finger(  
    int numF,  
    float TT,  
    float L1, float L2, float L3,  
    float X0, float Y0, float Z0,  
    float &X1, float &Y1, float &Z1,  
    float &X2, float &Y2, float &Z2,  
    float &X3, float &Y3, float &Z3  
)
```

Каждый элемент множества P обладает следующими характеристиками:

1. Длины каждой фаланги { L1, L2, L3 }
2. Точки соединения фаланг { X1, X2, Y1, Y2, Z1, Z2 }
3. Точка основания пальца { X0, Y0, Z0 }
4. Точка окончания пальца { X3, Y3, Z3 }

Формальное описание движения пальцев задается следующими формулами:

1. Движение без перекоса

Перекося  $\beta=0$

$$X1 = X0 - L1 \cos \alpha1$$

$$Y1 = Y0$$

$$Z1 = Z0 - L1 \cos \alpha1$$

$$X2 = X1 - L2 \cos(\alpha1 + \alpha2)$$

$$Y2 = Y1$$

$$Z_2 = Z_1 - L_2 \cos(\alpha_1 + \alpha_2)$$

$$X_3 = X_2 - L_3 \cos(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)$$

$$Y_3 = Y_2$$

$$Z_3 = Z_2 - L_3 \cos(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)$$

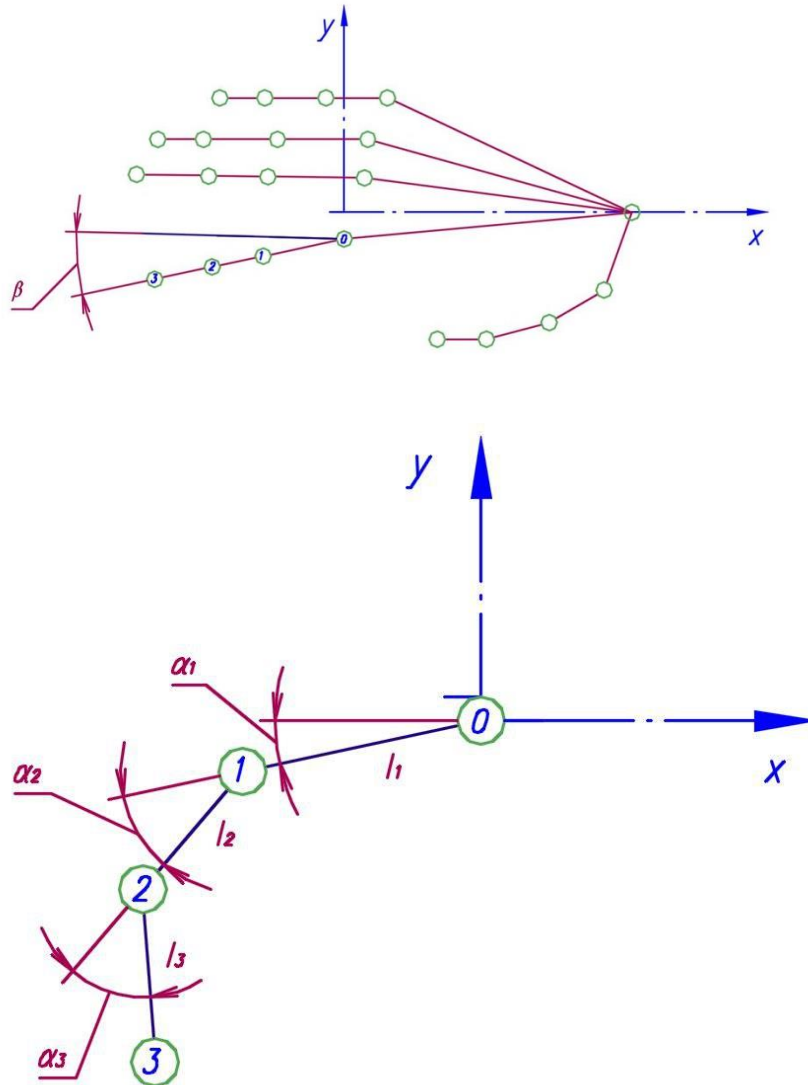


Рисунок 5. Движения с перекосом и без.

## 2. Движение с перекосом

Перекос  $\beta \neq 0$

При этом все значения умножаются на матрицу:

$$\begin{matrix} \cos\beta & -\sin\beta & 0 \\ \sin\beta & \cos\beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{matrix}$$

$$x'_i = x_i \cos \beta - y_i \sin \beta$$

$$y'_i = x_i \sin \beta - y_i \cos \beta$$

$$z'_i = z_i$$

3. Кинематический анализ перемещений пальца 1 в системе координат кисти.

Рассматриваем точки 0,1,2,3. Сгибание в суставах задается углами  $KS1n$ ,  $KS2n$ ,  $KS3n$ . Перекос пальца – угол  $F1n$ .

Движение в системе координат, связанной с большим пальцем.

$$X1\_P = -L1[0] * \cos(Ft1*Q + F1n*Q)*\cos(KSt1*Q + KS1n*Q);$$

$$Y1\_P = -L1[0] * \sin(Ft1*Q + F1n*Q)*\sin(KSt1*Q + KS1n*Q);$$

$$Z1\_P = -L1[0] * \cos(Ft1*Q + F1n*Q)*\sin(KSt1*Q + KS1n*Q);$$

$$X2\_P = X1\_P - L2[0] * \cos(Ft1*Q + F1n*Q)*\cos(KSt1*Q + KSt2*Q + KS1n*Q);$$

$$Y2\_P = Y1\_P - L2[0] * \sin(Ft1*Q + F1n*Q)*\sin(KSt1*Q + KSt2*Q + KS1n*Q);$$

$$Z2\_P = Z1\_P - L2[0] * \cos(Ft1*Q + F1n*Q)*\sin(KSt1*Q + KSt2*Q + KS1n*Q);$$

$$X3\_P = X2\_P - L3[0] * \cos(Ft1*Q + F1n*Q)*\cos(KSt1*Q + KSt2*Q + KSt3*Q + KS1n*Q);$$

$$Y3\_P = Y2\_P - L3[0] * \sin(Ft1*Q + F1n*Q)*\sin(KSt1*Q + KSt2*Q + KSt3*Q + KS1n*Q);$$

$$Z3\_P = Z2\_P - L3[0] * \cos(Ft1*Q + F1n*Q)*\sin(KSt1*Q + KSt2*Q + KSt3*Q + KS1n*Q);$$

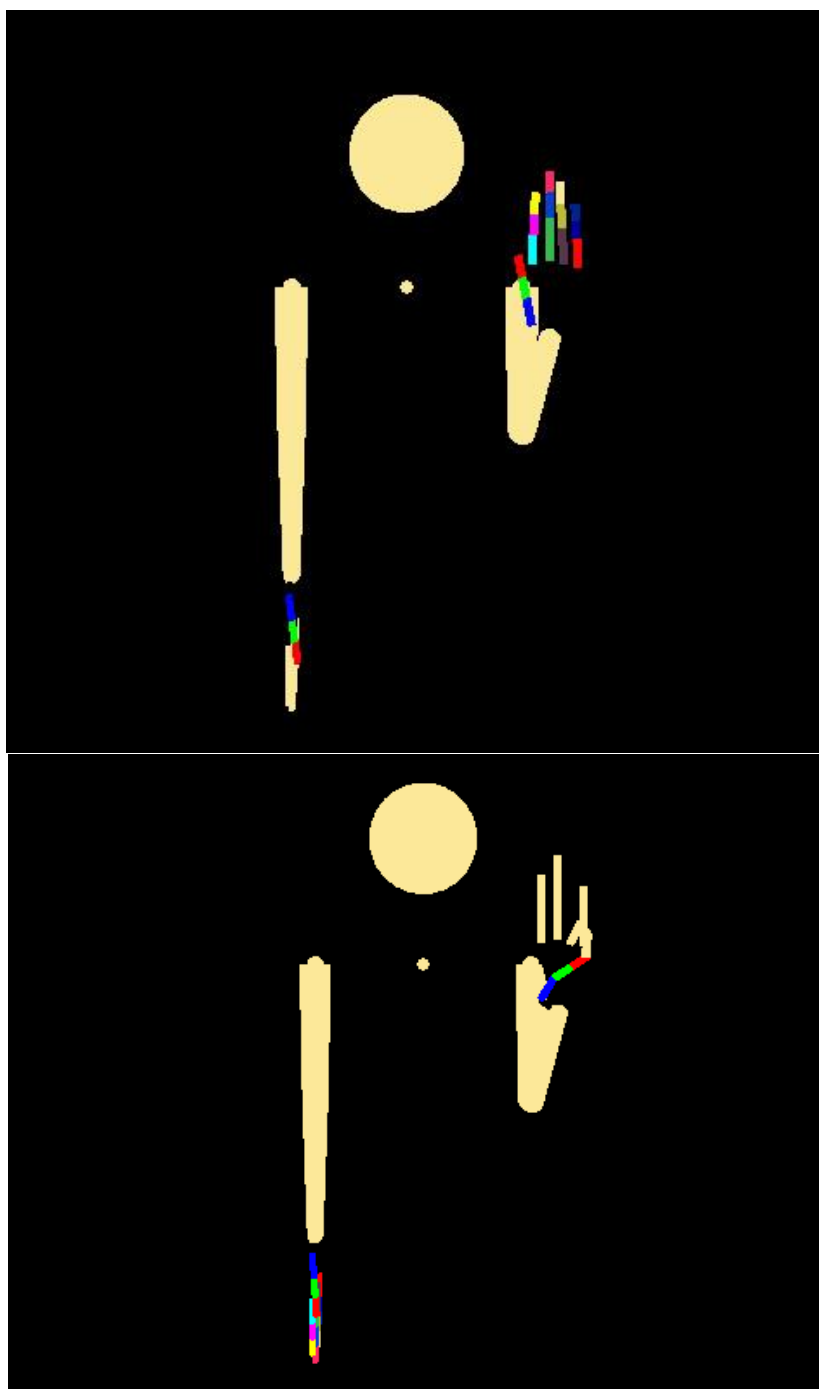


Рисунок 6. Модель OPENGL.

### **Библиографический список:**

1. Трушин А. Н., Арутюнян М. Г. Робототехнический комплекс для демонстрации русских дактильных жестов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://technology.snauka.ru/2017/04/13038> (дата обращения: 07.02.2019).
2. Козлова В. И. Анатомия человека: учеб. для студ. инст. физ. культ. //Под ред. Козлова В. И. Физкультура и спорт// - Москва - 1978 – 187с.

3. Байтингер В. Ф., Синичев Д. Н. Справочник кистевого хирурга. изд. «Дельтаплан» - Томск. - 2012. – 168с.

4. Боресков А. В. Расширения opengl. //изд.БХВ-Петербург, – Санкт-Петербург, - 2012. – 667с.