

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

Факультет компьютерных наук
Департамент программной инженерии

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Доцент департамента программной
инженерии, канд. техн. наук

Академический руководитель
образовательной программы
«Программная инженерия» профессор
департамента программной инженерии,
канд. техн. наук

_____ Р. З. Ахметсафина
«_____» _____ 2020 г.

_____ В. В. Шилов
«_____» _____ 2020 г.

ВИЗУАЛИЗАТОР ТРЕХМЕРНОЙ ПРОЕКЦИИ
ЧЕТЫРЕХМЕРНОГО ТЕЛА

Пояснительная записка

Лист УТВЕРЖДЕНИЯ

RU.17701729.04.13-01 81 01-1-ЛУ

Исполнитель: Студент группы БПИ-194
_____ М. Г. Савинов
«_____» _____ 2020 г.

УТВЕРЖДЁН
RU.17701729.04.13-01 81 01-1-ЛУ

ВИЗУАЛИЗАТОР ТРЕХМЕРНОЙ ПРОЕКЦИИ
ЧЕТЫРЕХМЕРНОГО ТЕЛА

Пояснительная записка

RU.17701729.04.13-01 81 01-1

Листов 17

Инов. № подл	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подп. и дата

Аннотация

В данном программном документе приведена пояснительная записка к программе «Визуализатор трехмерной проекции четырехмерного тела» («3D Viewer of a Four-Dimensional Figure»), которая предназначена для построения трехмерной проекции тессеракта.

В документе, в разделе "Введение" указано наименование программы, краткое наименование программы и документы, на основании которых ведется разработка.

Раздел «Назначение и область применения» содержит функциональное и эксплуатационное назначение ПО, а также краткую характеристику его области применения.

Раздел «Технические характеристики» описывает постановку задачи на разработку программы, алгоритм ее функционирования, состав входных и выходных данных, состав технических и программных средств.

В разделе «Ожидаемые технико-экономические показатели» отражены планируемая потребность и экономические превосходства разработки по сравнению с отечественными и зарубежными образцами или аналогами.

Настоящий документ разработан в соответствии с требованиями:

- 1) ГОСТ 19.101-77 Виды программ и программных документов [1];
- 2) ГОСТ 19.102-77 Стадии разработки [2];
- 3) ГОСТ 19.103-77 Обозначения программ и программных документов [3];
- 4) ГОСТ 19.104-78 Основные надписи [4];
- 5) ГОСТ 19.105-78 Общие требования к программным документам [5];
- 6) ГОСТ 19.106-78 Требования к программным документам, выполненным печатным способом [6];
- 7) ГОСТ 19.404-79 Пояснительная записка. Требования к содержанию и оформлению [7].

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.04.13-01 81 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Содержание

1	Введение	4
1.1	Наименование программы	4
1.2	Документы, на основании которых ведется разработка	4
2	Назначение программы	5
2.1	Функциональное назначение	5
2.2	Эксплуатационное назначение	5
2.3	Краткая характеристика области применения	5
3	Технические характеристики	6
3.1	Постановка задачи на разработку программы	6
3.2	Описание алгоритма и функционирования программы	6
3.3	Описание и обоснование выбора метода организации входных и выходных данных	8
3.4	Описание состава технических и программных средств	9
4	Технико-экономические показатели	10
4.1	Предполагаемая потребность	10
4.2	Экономические преимущества разработки по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами	10
5	Источники, использованные при разработке	11
6	Основные понятия, определения и сокращения	12
	Описание и функциональное назначение классов	13
	Описание и функциональное назначение методов, полей и свойств	14

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.04.13-01 81 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

1. Введение

1.1. Наименование программы

1.1.1. Наименование программы на русском языке

Визуализатор трехмерной проекции четырехмерного тела.

1.1.2. Наименование программы на английском языке

3D Viewer of a Four-Dimensional Figure.

1.2. Документы, на основании которых ведется разработка

Приказ декана факультета компьютерных наук Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» № 2.3-02/1112-04 от 11.12.2019 «Об утверждении тем, руководителей курсовых работ студентов образовательной программы Программная инженерия факультета компьютерных наук».

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.04.13-01 81 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

2. Назначение программы

2.1. Функциональное назначение

Программа показывает, как выглядит тессеракт (правильный четырёхмерный полигон) в проекции на трехмерное пространство в виде диаграммы Шлегеля и совершает вращение этой фигуры, используя матрицу поворота и стереографическое проектирование. Иными словами программа представляет тессеракт как 8 кубических ячеек (одна в центре, 6 по бокам внутреннего куба и одна внешняя).

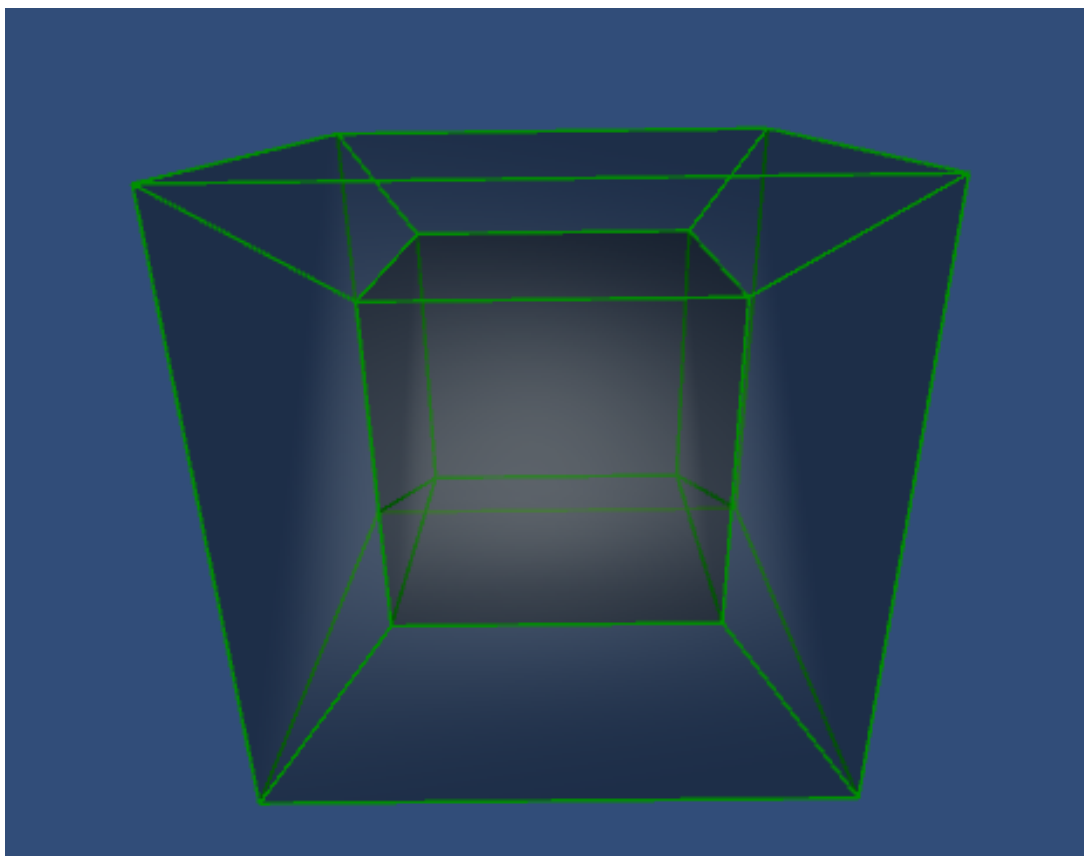


Рис. 1 — Проекция тессеракта на трехмерное пространство в виде диаграммы Шлегеля

2.2. Эксплуатационное назначение

Данное приложение может быть использовано в образовательных целях, а также пользователями, желающими узнать, как выглядят четырехмерные тела. Приложение предназначено для использования на персональных компьютерах, удовлетворяющих минимальным системным требованиям. Для работы программы не требуется подключение к сети Интернет.

2.3. Краткая характеристика области применения

На момент разработки большинство визуализаторов четырехмерных тел не могут показать это тело со всех возможных ракурсов.

Данная работа нацелена на аудиторию, желающую понять как устроены четырехмерные тела, а также представить как они выглядят с разных сторон.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.04.13-01 81 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

3. Технические характеристики

3.1. Постановка задачи на разработку программы

Разрабатываемое приложение должно:

- 1) строить четырехмерную фигуру тессеракт;
- 2) показывать 3D проекцию тессеракта с разных сторон в виде диаграммы Шлегеля в среде Unity3D.

3.2. Описание алгоритма и функционирования программы

3.2.1. Описание алгоритма программы

Программа состоит из нескольких алгоритмов, реализующих различные части программы:

- 1) создание тессеракта
- 2) задание вращения тессеракта вокруг плоскостей XOY и ZOW ;
- 3) создание проекции на трехмерное пространство
- 4) расчет нормалей и создания граней и ребер проекции;

3.2.1.1. Создание тессеракта

Вершины описываются с помощью 16 четырехмерных векторов вида $(\pm 1, \pm 1, \pm 1, \pm 1)$:

0 - $(-1, -1, -1, 1)$,
1 - $(1, -1, -1, 1)$,
2 - $(1, -1, 1, 1)$,
3 - $(-1, -1, 1, 1)$,
4 - $(-1, 1, 1, 1)$,
5 - $(1, 1, 1, 1)$,
6 - $(1, 1, -1, 1)$,
7 - $(-1, 1, -1, 1)$,
8 - $(-1, -1, -1, -1)$,
9 - $(1, -1, -1, -1)$,
10 - $(1, -1, 1, -1)$,
11 - $(-1, -1, 1, -1)$,
12 - $(-1, 1, 1, -1)$,
13 - $(1, 1, 1, -1)$,
14 - $(1, 1, -1, -1)$,
15 - $(-1, 1, -1, -1)$.

Создается 12 граней для будущей проекции в виде диаграммы Шлегеля (6 для внутреннего куба и 6 для внешнего).

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.04.13-01 81 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Внутренний:

0, 1, 2, 3,
4, 5, 6, 7,
7, 6, 1, 0,
6, 5, 2, 1,
5, 4, 3, 2,
4, 7, 0, 3.

Внешний:

8, 9, 10, 11,
12, 13, 14, 15,
15, 14, 9, 8,
14, 13, 10, 9,
13, 12, 11, 10,
12, 15, 8, 11.

Задаются 32 ребра в виде пары номеров вершин (по 12 для каждого из кубов и еще 8 между внешним и внутренним кубом).

Внутренний:

(0, 1), (1, 2), (2, 3), (3, 0),
(4, 5), (5, 6), (6, 7), (7, 4),
(0, 7), (1, 6), (2, 5), (3, 4).

Внешний:

(8, 9), (9, 10), (10, 11), (11, 8),
(12, 13), (13, 14), (14, 15), (15, 12),
(8, 15), (9, 14), (10, 13), (11, 12).

Между кубами:

(0, 8), (1, 9), (2, 10), (3, 11),
(4, 12), (5, 13), (6, 14), (7, 15).

3.2.1.2. Задание вращения тессеракта вокруг плоскостей X0Y и Z0W

Вращение задается с помощью матрицы поворота для четырехмерного пространства. Все точки пространства при использовании матрицы поворота двигаются параллельно какой-то плоскости, а значит угол А - это обычный угол, зависящий от времени работы программы. Вокруг плоскости X0Y она выглядит следующим образом:

$$M_{xy} = \begin{pmatrix} \cos A & \sin A & 0 & 0 \\ -\sin A & \cos A & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

А вокруг плоскости Z0W так:

$$M_{xy} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos A & \sin A \\ 0 & 0 & -\sin A & \cos A \end{pmatrix}.$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.04.13-01 81 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Таким образом, матрица поворота вокруг обеих плоскостей выглядит так:

$$R = \begin{pmatrix} \cos A & \sin A & 0 & 0 \\ -\sin A & \cos A & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos A & \sin A \\ 0 & 0 & -\sin A & \cos A \end{pmatrix}.$$

3.2.1.3. Создание проекции на трехмерное пространство

Для создания проекции необходимо найти матрицу проекции, которая выглядит следующим образом:

$$P = \begin{pmatrix} a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

где a вычисляется по формуле $1/(l_w - w)$ (l_w - расстояние, на котором точка зрения (в этой же точке находится источник света) располагается в четырехмерном пространстве на оси w , а w - четвертая координата рассматриваемой вершины). При изменении l_w изменяются размеры внешнего куба проекции к внутреннему. Для лучшей реализации проекции тессеракта подходит формула $5/(4 - w)$, где коэффициент 5 влияет только на размеры получаемой проекции. Для получения проекций четырехмерных вершин на трехмерное пространство достаточно просто умножить вектор, состоящий из координат X, Y, Z четырехмерной вершины, преобразованной с помощи матрицы поворота, на полученную матрицу проекций.

3.2.1.4. Расчет нормалей и создания граней и ребер

Нормали рассчитываются для каждой грани (заданной 4-мя вершинами). Берутся любые 3 вершины a, b, c , из них получаем 2 вектора $v_0 = b - a$ и $v_1 = c - a$, нормаль к грани равняется векторному произведению векторов v_0 и v_1 . Затем по известным нормальям к граням вычисляются нормали к образующим грани вершинам, они нормализуются до длины 1. Матрицы граней и ребер проекции не меняются при всех преобразованиях.

3.2.2. Описание функционирования программы

Программа предоставляет пользователю возможность посмотреть на проекцию тессеракта в трехмерном пространстве с разных сторон.

3.3. Описание и обоснование выбора метода организации входных и выходных данных

3.3.1. Описание метода организации входных и выходных данных

Для представленной программы входные данные не требуются.

Выходные данные – изображение на экране вращающейся проекции тессеракта в виде диаграммы Шлегеля.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.04.13-01 81 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

3.4. Описание состава технических и программных средств

3.4.1. Состав технических средств

Для корректной работы программы требуются следующие технические и программные средства:

- 1) Центральный процессор архитектуры AMD или Intel с частотой не менее 1000 МГц
- 2) Графическая видеокарта с поддержкой DirectX10 и выше;
- 3) Монитор с разрешением 1024x768 пикселей и более;
- 4) Не менее 1Гб ОЗУ;
- 5) Не менее 20Мб на жёстком диске;
- 6) Клавиатура;
- 7) Компьютерная мышь.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.04.13-01 81 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

4. Технико-экономические показатели

4.1. Предполагаемая потребность

Программа может потребоваться в университетах, профессионально-технических училищах, техникумах и т.д. в качестве демонстрации того, как можно представить четырехмерное пространство. Программа является полностью бесплатной, поэтому ее легко может запустить каждый ученик.

4.2. Экономические преимущества разработки по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами

На отечественном рынке найден один аналог, который находится в свободном доступе: <http://www.michurin.net/online-tools/hypercube.html>

Однако разрабатываемая программа будет реализована в формате удобного приложения на движке Unity 3D и обладает рядом качеств:

- 1) вращение фигур осуществляется автоматически;
- 2) имеет неограниченный срок службы;
- 3) программа распространяется бесплатно.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.04.13-01 81 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

5. Источники, использованные при разработке

- 1) ГОСТ 19.101-77 Виды программ и программных документов. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001;
- 2) ГОСТ 19.102-77 Стадии разработки. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001;
- 3) ГОСТ 19.103-77 Обозначения программ и программных документов. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001;
- 4) ГОСТ 19.104-78 Основные надписи. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001;
- 5) ГОСТ 19.105-78 Общие требования к программным документам. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001;
- 6) ГГОСТ 19.106-78 Требования к программным документам, выполненным печатным способом. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001;
- 7) ГОСТ 19.404-79 Пояснительная записка. Требования к содержанию и оформлению. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001;
- 8) Документация по Unity[Электронный ресурс] //URL:<https://docs.unity3d.com/Manual/>;
- 9) Лурье А. И. Аналитическая механика. — М.:Физматлит. — 1961. — 824 с.
- 10) Кочин Н.Е. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления. АН СССР: Изд-во «НАУКА», М. 1965.
- 11) Дужин С., Рубцов В. Четырехмерный куб // Квант. — 1986. — № 6. — С. 3—7.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.04.13-01 81 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

6. Основные понятия, определения и сокращения

- 1) **Диаграмма Шлегеля** - это метод представления политопов для изучения их свойств. В размерности 3 диаграмма Шлегеля представляет собой проекцию многогранника в плоскую фигуру, а в размерности 4 - проекцию 4-мерного многогранника в трехмерное пространство.
- 2) **Нормаль** - в 3х мерном пространстве перпендикуляр к плоскости.
- 3) **Тессеракт** - четырёхмерный гиперкуб, аналог обычного трёхмерного куба в четырёхмерном пространстве. Правильный четырёхмерный политоп.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.04.13-01 81 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Описание и функциональное назначение классов

Таблица 1 - классы проекта

Класс	Назначение
Main	Инициализация запуска программа
AbstractMesh	Инициализирует какую-то абстрактную сетку
TesseractMesh	Объявляет проецируемый объект и все действия, происходящие с ним

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.04.13-01 81 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Описание и функциональное назначение методов, полей и свойств

Таблица 2 - описание методов класса Main

Имя	Модификаторы	Тип	Аргументы	Назначение
Start	-	void	-	Вызывается до обновления первого кадра и инициализирует объект, описанный в дальнейших классах
Update	-	void	-	Вызывается каждый кадр, за счет этого происходит вращение

Таблица 3 - описание методов класса AbstractMesh

Имя	Модификаторы	Тип	Аргументы	Назначение
UpdateMesh	abstract	void	Mesh	Метод для переопределения в TesseractMesh
CalculateNormals	protected static	Vector3[]	Vector3[]	Расчитывает нормали к массиву векторов
CalculateNormal	private static	Vector3	Vector3, Vector3, Vector3	Считает нормаль к плоскости, заданной тремя векторами

Таблица 4 - описание методов класса TesseractMesh

Имя	Модификаторы	Тип	Аргументы	Назначение
UpdateMesh	override	void	Mesh	Метод вызываемый через Update в классе Main, реализует основной функционал программы
GenerateHypercube	public static	TesseractMesh	-	Инициализирует тессеракт

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.04.13-01 81 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Таблица 5 - описание полей класса Main

Имя	Модификаторы	Тип	Назначение
edgcolor	public	Material	Хранит цвет для ребер объекта PredictionPhotoPath
innercolor	public	Material	Хранит цвет для граней объекта
projection	private	GameObject	Проекция тессеракта
meshObject	private static	AbstractMesh	Какая-то абстрактная сетка

Таблица 5 - описание полей класса AbstractMesh

Имя	Модификаторы	Тип	Назначение
_name	protected	string	Хранит имя объекта

Таблица 6 - описание полей класса TesseractMesh

Имя	Модификаторы	Тип	Назначение
quads	private static	int[]	Хранит заданные грани объекта
lines	private static	int[]	Хранит заданные ребра объекта
vertices	private static	Vector4[]	Хранит заданные вершины объекта

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.04.13-01 81 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Таблица 7 - описание свойств класса AbstractMesh

Имя	Модификаторы	Тип	Назначение
Name	public	string	Возвращает имя создаваемого объекта

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.04.13-01 81 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Лист регистрации изменений

[illegible]