

## Программные системы и вычислительные методы

Правильная ссылка на статью:

Нуралиев Ф.М., Морозов М.Н., Гиясов У.Э., Ёркулов Ж. — О применении R-функции для геометрического моделирования 3D объектов сложных форм в виртуальной среде образования // Программные системы и вычислительные методы. – 2023. – № 3. DOI: 10.7256/2454-0714.2023.3.36937 EDN: ZDVQZC URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=36937](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=36937)

## О применении R-функции для геометрического моделирования 3D объектов сложных форм в виртуальной среде образования

Нуралиев Фахридин Муродуллаевич

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0574-9278>

кандидат физико-математических наук, доктор технических наук

профессор, кафедра аудиовизуальные технологии, Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий

100084, Узбекистан, Мирзо Улугбек область, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108

✉ [nuraliev2001@mail.ru](mailto:nuraliev2001@mail.ru)

Морозов Михаил Николаевич

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8591-3700>

кандидат технических наук



профессор, кафедра информатики и системного программирования, Поволжский государственный технологический университет

424006, Россия, Республики Марий Эл область, г. Йошкар-Ола, ул. Пл. Ленина, дом 3

✉ [mikhail.n.morozov@gmail.com](mailto:mikhail.n.morozov@gmail.com)

Гиясов Улугбек Эшбулатович

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9419-5392>

старший преподаватель, кафедра Основы информатики, Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий

100084, Узбекистан, Samarkand область, г. Tashkent, ул. Amir Temur, 108, оф. Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий

✉ [bek99989@gmail.com](mailto:bek99989@gmail.com)

Ёркулов Жонибек

Разработчик Python, ICT Academy center

100084, Узбекистан, Республика Узбекистон, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108

✉ [pythondeveloper0727@gmail.com](mailto:pythondeveloper0727@gmail.com)[Статья из рубрики "Виртуальные миры и системы виртуальной реальности"](#)**DOI:**

10.7256/2454-0714.2023.3.36937

**EDN:**

ZDVQZC

**Дата направления статьи в редакцию:**

23-11-2021

**Дата публикации:**

05-10-2023

**Аннотация:** Данная статья посвящена тому, создание национальной виртуальной университетской платформы, геометрическое моделирование дизайна экsterьеров, интерьеров и персонажей в области информационных технологий на основе 3D технологий. Мы знаем, что визуализация использует геометрические сплайны и методы построения полигональных сеток. В системах виртуальной реальности каждый объект представлен трехмерной моделью. Настоящая задача сейчас - создать пользовательские модели, которые ими управляют. Трехмерная модель персонажа представлена картой глубины, точками, полигональной моделью, параметрической моделью, описывающей антропометрические, ансафные и профильные черты человеческого лица. Процесс исследования включает изучение правил визуализации виртуальных трехмерных объектов через внутренние и внешние модели, теорию геометрического моделирования, алгоритмы, методы и алгоритмы компьютерного моделирования, применение алгоритмов виртуальной реальности в образовании. Сегодня, когда в нашей стране стремительно развиваются инженерия и технологии, путешествия в виртуальный мир вызывают у многих большой интерес. В результате трехмерный контент и ландшафтный дизайн расширяют человеческое воображение и служат для того, чтобы запечатлеть наши знания о предмете и объекте в нашей памяти. Было бы эффективнее перенести практические занятия в компьютерных залах учебных заведений в виртуальный мир и организовать их в этой виртуальной среде с помощью виртуальных объектов. Кроме того, все аспекты предмета могут быть объяснены и преподаны, и студенты будут иметь возможность использовать его виртуально. Создание панели инструментов, включающей все виртуальные объекты, становится приоритетной задачей. Использовались технологии объектно-ориентированного программирования и методы тестирования. В данной статье предлагаются новые методы геометрического моделирования трехмерных объектов, упомянутых выше, то есть конструктивный логико-алгебраический метод R-функций (RFM). Этот метод позволяет изображать 3D-объекты высокой сложности.

**Ключевые слова:**

Виртуальная среда, виртуальные университеты, Полигональная модель, геометрические сплайн-функции, конструктивная твердотельная геометрия, функции Рисси, функции Рвачева, Трехмерная модель, полигонов, персонаж

**I. Введение**

В настоящее время в рамках платформы виртуальной среды необходимо разработать алгоритмы для воздействия на 3D-объекты без потери качества и для упрощения количества полигонов. В данной статье процесс обучения рассматривается как сложный

(психологический, физиологический и педагогический) объект с упором на построение виртуальных компьютерных моделей.

Основная цель - создание трехмерных моделей интерьера, экстерьера и персонажей для виртуальной трехмерной учебной среды университета. Кроме того, создание геометрических моделей, технологических схем оборудования, средств технологического оборудования, формовочного, обрабатывающего и измерительного инструмента на основе 3D-моделирования, в том числе параметрического моделирования для стандартных изделий, автоматизированный выпуск комплектов конструкторской и технологической документации для 3D-моделей. различные продукты на основе технологии баз данных в едином информационном пространстве [\[1-2\]](#).

Полигональное моделирование и сплайн-моделирование - два наиболее часто используемых подхода при создании 3D-объектов. Оба варианта позволяют создавать трехмерные модели высокого качества. Все геометрические характеристики предлагаемых тригонометрических кривых В-сплайнов аналогичны классическим В-сплайнам, но возможность регулировки формы является дополнительным качеством, которое не характерно для классических кривых В-сплайнов. Свойства этих баз описаны ранее и аналогичны классическому базису В-сплайнов. Кроме того, также представлен равномерный и неоднородный рациональный базис В-сплайнов. Получены непрерывности  $C^3$  и  $C^5$  для тригонометрического базиса В-сплайнов и непрерывности  $C^3$  для рационального базиса. Чтобы узаконить предложенную нами схему как для базисных, так и для периодических кривых построены 2D и 3D модели также строятся с использованием предложенных кривых [\[2\]](#).

Многоугольное моделирование, скорее всего, является наиболее часто используемой формой трехмерного моделирования, которое нередко встречается в индустрии анимации, кино и игр. В настоящее время использование полигональных моделей эффективно при построении моделей гладких поверхностей. При построении внутренних и внешних объектов эффективными считаются сплайн-функции. Использование каждого метода предполагает соблюдение принципа топологии. Обычно важную роль играют два вида топологии в разных вариациях. В целом, при проектировании несложных деталей простых форм также целесообразно использовать треугольную топологию. На основании вышеизложенного, ученые пришли к выводу, что применение математического аппарата R-функций позволяет существенно упростить процесс описания топологических моделей геометрических областей практически любой сложности. [\[3,4,5\]](#)

Метод R-функции популярен в качестве CSG (Constructive Solid Geometry). Все примитивы (куб, сфера, цилиндр и т. д.) определяются формулами. Можно построить любые объекты как композицию из нескольких примитивов, комбинируя (логическую функцию набора: и, или, нет) соответствующие формулы, как представлено ниже. Имеется бесплатное программное обеспечение для создания 3D-объектов САПР с помощью CSG. В 3D CG эффективны полигональные модели (иногда называемые поверхностными моделями). Чтобы создавать полигональные модели, дизайнеры должны использовать специальное программное обеспечение для 3D, такое как Blender. Существует несколько форматов файлов для полигональных моделей: Wavefront \* .obj, Stanford \* .ply и т.д. Для создания учебных материалов по XR (VR / AR / MR), успешно используется Three.js. Three.js - это библиотека JavaScript для 3D-графики для веб-3D-содержимого. Представленная нами лаборатория использует Three.js для создания учебных материалов по 3D-CG и VR.

Предлагаемый подход к использованию R-функции для геометрического моделирования плоских участков, в отличие от других существующих методов и алгоритмов, позволяет достаточно просто и эффективно описывать геометрическую модель плоских участков произвольной формы с последующей их триангуляцией. Разработан подход к получению дискретных моделей, соответствующих неявным аналитическим моделям, основанный на теории R-функций. Предлагается подход к построению неоднородных дискретных моделей на основе разработанного универсального шаблона [\[6,7,8\]](#).

3D-модели создаются с помощью языка моделирования виртуальной реальности (VRML) в веб-интерфейсе. Узел геометрической формы на основе общих функций веб-интерфейса был определен для VRML. Интеграцию между моделями, определяемыми функциями, и VRML предлагается реализовать с помощью подключаемого модуля браузера VRML, где настраиваемый узел может называться обычным узлом VRML вместе с другими традиционными узлами VRML. В настоящее время браузер Blaxxun Contact3D VRML был расширен для поддержки этой интеграции. Ожидается расширение других браузеров VRML [\[9-13\]](#).

В настоящее время действуют самые популярные в мире виртуальные среды, специализирующиеся в различных областях. Например: vAcademia, Second Life, Virbela, IMVU, Classvr.com, Sansar.com.

Особенно актуальными на сегодняшний день являются трехмерные распределенные многопользовательские системы виртуальной реальности. Они позволяют организовывать собрания, семинары, конференции, симпозиумы (см. рис. 1–2) и используются международными корпорациями.



Рисунок 1. Трехмерная модель II  
Ташкентская Международная  
книжная выставка-ярмарка  
в системе виртуальной реальности  
«vAcademia»



Рисунок 2. Трехмерная модель  
виртуальная ярмарка волос  
системе виртуальной реальности  
«Second Life»

## II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.

Включает в себя создание дизайнерских и геометрических моделей трехмерных объектов для национальных виртуальных университетских сред, в частности экстерьеров, интерьеров, персонажей (аватаров), а также разработку их компьютерных алгоритмов. На виртуальной карте представлена проектная схема 3D-моделей каждого учебного заведения, что позволяет перемещаться в другое учебное заведение из одного места в другое во времени и пространстве с помощью объекта телепортации.

## III. МЕТОД И ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО МАТЕРИАЛА В БАЗО ТЕОРИИ R-ФУНКЦИЯ

Компьютерное геометрическое моделирование для определения и утверждения использования элементарной функции трех переменных произвольного конструктивного твердого тела как  $f(x,y,z)$  и его поверхности как нулевого множества  $f(x,y,z)=0$  (так называемая неявная поверхность) было независимо выражено Рвачев [\[8, 9, 10\]](#) и Рисси [\[11\]](#). Оба автора ввели аналитические выражения для представления теоретико-множественных операций. Риччи предложил использовать  $C^1$  прерывистые операции  $\min$  /  $\max$  для точных описаний, а также приблизительные описания для получения плавных свойств смешивания полученных поверхностей. Работа Рвачева предложила гораздо более общий подход, названный теорией R-функций и  $C^k$  ввел непрерывные функции для точного описания теоретико-множественных операций. Подробности мы приводим в соответствующем разделе. Можно сказать, что трехмерное поле является одним из методов, позволяющих записывать аналитические уравнения геометрии В.Л. Метод RFM Рвачева. Вот основные концепции метода RFM. R-функция представляет собой числовую функцию с действительной переменной, знак которой интервал между осями чисел до тех пор, пока они не будут завершены  $(-\infty, 0)$  и  $[0, \infty)$  определяется метками аргументов в соответствующих разделах. [\[12\]](#)

Его аргументы таковы, что за ним следует  $\Phi$  логическая функция  $\text{sign}(z)=\Phi(\text{sign}(x), \text{sign}(y))$ , числовая функция  $z=z(x, y)$  называется R-функцией. Каждая R-функция соответствует одной функции ведомой логики. Множество R-функций замкнуто в том смысле, что R-функции перекрываются. Если множество всех перекрывающихся элементов  $H$  имеет непустое пересечение с каждой ветвью множества R-функций, то система R-функций  $H$  называется достаточно полной. [\[11\]](#).

Наиболее часто используемая полная система с R-функцией  $(-1 < \alpha \leq 1)$   $R_\alpha$

$$x \wedge_\alpha y \equiv \frac{1}{1+\alpha} \left( x + y - \sqrt{x^2 + y^2 - 2\alpha xy} \right);$$

$$x \vee_\alpha y \equiv \frac{1}{1+\alpha} \left( x + y + \sqrt{x^2 + y^2 - 2\alpha xy} \right);$$

$\bar{x} \equiv -x$ .  $\alpha = 0$   $R_0$  в есть системы:

$$x \vee_0 y = x + y - x_2 + y_2$$

$$x \vee_0 y \equiv \left( x + y + \sqrt{x^2 + y^2} \right); \quad \bar{x} \equiv -x, \alpha = 1$$

в  $R_1$  есть системы:

$$x \wedge_1 y \equiv \frac{1}{2} (x + y - |x - y|);$$

$$x \vee_1 y \equiv \frac{1}{2} (x + y + |x - y|); \quad \bar{x} \equiv -x.$$

В конечном состоянии R-функций конъюнкции и дизъюнкции соответствуют:  $x \wedge y \equiv \min(x, y)$ ,  $x \vee y \equiv \max(x, y)$ .

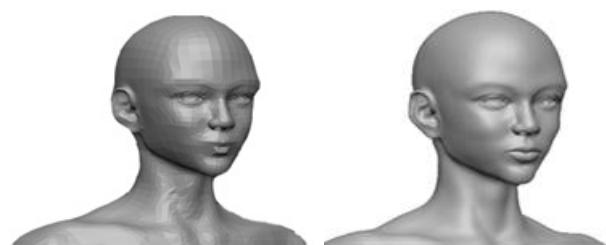
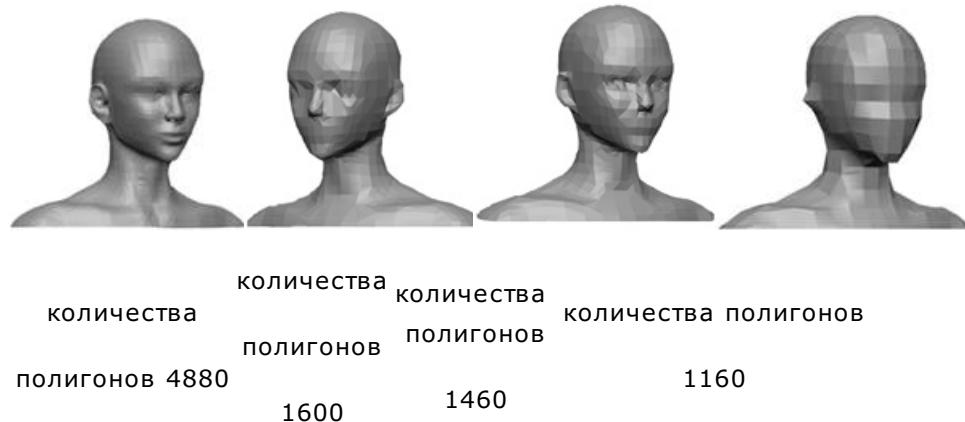
Используя R-функцию, можно построить неявную форму граничных уравнений областей, построенных по некоторым уравнениям простых областей. [\[6\]](#)

R-функции можно рассматривать как бесконечно ценный логический инструмент. R-функции используются при решении широкого круга задач в математике, физике, многомерной цифровой обработке сигналов и изображений, компьютерной графики и других областях.

#### IV. РЕЗУЛЬТАТ РАСЧЕТНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Методы построения уравнений геометрии поля (т.е. нормированных уравнений) обеспечивают хорошую технологическую основу для автоматизации процесса организации этих уравнений. Фактически должен быть автоматизирован только процесс построения предикатных уравнений, переход от этих уравнений к простым элементарным уравнениям геометрии поля осуществляется заменой символов логической функции на соответствующие символы R-функции, символы поля не равны соответствующие им другие частям.

Алгоритмы уменьшения многоугольника - не единственный способ создать модель с меньшим количеством граней. Художники всегда смогут лучше представить модель, используя меньшее количество полигонов, чем любой алгоритм редукции. Методы многоугольного упрощения предлагают одно решение для разработчиков, работающих со сложными моделями. Эти методы упрощают многоугольную геометрию небольших, удаленных или иным образом незначимых частей модели, стремясь снизить стоимость визуализации без значительной потери визуального содержимого сцены. Это одновременно очень современная и очень старая идея в компьютерной графике. Еще в 1976 году Джеймс Кларк описал преимущества представления объектов в сцене с несколькими разрешениями, в частности, в авиасимуляторах долгое время использовались созданные вручную модели самолетов с разным разрешением, чтобы гарантировать постоянную частоту кадров. В последнее время было проведено множество исследований, направленных на автоматическое создание таких моделей. При планировании использования полигонального упрощения для ускорения своего 3D-приложения, данная статья позволит сделать выбор среди множества опубликованных алгоритмов [8].



количества количества  
полигонов 6600 полигонов 961000

Рисунок 3. Управление сложностью модели путем изменения уровня детализации, используемого для визуализации небольших или удаленных объектов. Полигональное упрощение позволяет создать несколько уровней детализации, подобных этим.

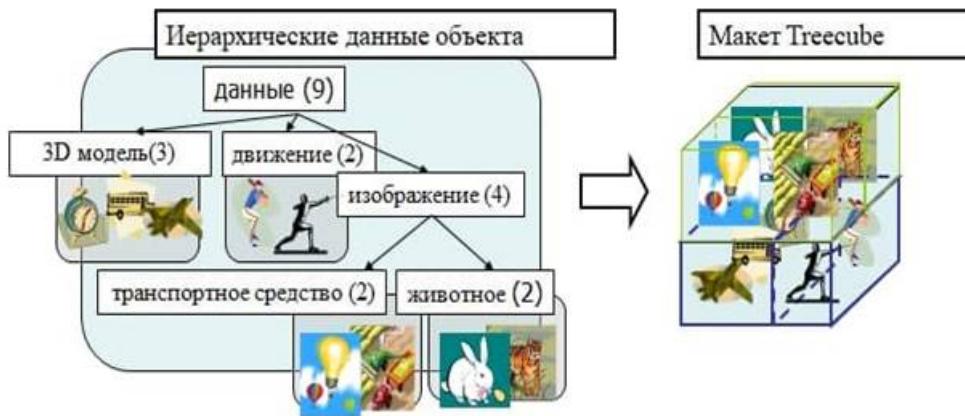


Рисунок 4. Разметка 3D-объектов методом treecube.

Алгоритм заполнения для сопоставления каждого узла с ячейкой подходящего размера в соответствии с его значением веса. как 3D-расширение файловой системы из древовидной карты.

Алгоритм Slice and Dice

уровень узла:  $3i$  - по оси  $z$

уровень узла:  $3i + 1$  - по оси абсцисс

уровень узла:  $3i + 2$  - по оси  $y$

строго соблюдая порядок в среднем соотношении сторон макета: имеют тенденцию быть большими.

Упорядоченный алгоритм treecube

1. Выбор конкретного узла под названием «точка поворота» из списка.
2. Распределение оставшихся узлов:  $L_1$ ,  $L_{2-1}$ ,  $L_{2-2}$  и  $L_3$  (помещены в « $V_1$ », « $V_{2-1}$ », « $V_{2-2}$ » и « $V_3$ » соответственно)
3. Рекурсивная раскладка :  $L_1 \rightarrow V_1$ ,  $L_{2-1} \rightarrow V_{2-1}$ ,  $L_{2-2} \rightarrow V_{2-2}$ ,  $L_3 \rightarrow V_3$

с сохранением порядка примерно среднего соотношения сторон: стремятся к единице. [8]

При проведении данной работы, т.е. создании национальной виртуальной университетской платформы, предусмотрено геометрическое моделирование дизайна экстерьеров, интерьеров и персонажей в области информационных технологий на основе 3D технологий. Мы знаем, что визуализация использует геометрические сплайны и методы построения полигональных сеток. В проекте предлагаются новые методы геометрического моделирования 3D-объектов: функция F-Rep для представления многомерных геометрических фигур, метод конструктивной логико-алгебраической R-

функции (RFM). Этот метод позволяет изображать 3D-объекты высокой сложности.

Общий балл предпочтения (S) варианта i представляет собой сумму средних баллов всех настольных приложений для создания 3D-моделей по каждому критерию.

$$S_i = W_1 S_{i1} + W_2 S_{i2} + \dots + W_n S_{in} = \sum W_j S_{ij}$$

$W_j$  = ценность для критерия j

$S_{ij}$  = балл за вариант i по критерию j

n = количество учитываемых критериев

$$S_{i3D\ Max} = (100 * 0,2) + (25 * 0,4) + (100 * 0,3) + (100 * 0,1) = \mathbf{70.1}$$

$$S_{iBlender} = (50 * 0,2) + (75 * 0,4) + (75 * 0,3) + (50 * 0,1) = \mathbf{67.5}$$

$$S_{iMaya} = (0 * 0,2) + (100 * 0,4) + (0 * 0,3) + (0 * 0,1) = \mathbf{40}$$

{Таблица1} Рассчитайте общие баллы предпочтений

Средства настольного приложения 3D-моделей		3D Max	Blender	Maya				
Критерии:	Unit						ценный%	
Расходы	USD (\$)	1000	100	1500	50	2000	0	20
Функция	--/++	-	25	+	75	++	100	40
Знания	--/++	++	100	+	75	--	0	30
Популярность	1-5	5	100	3	50	1	0	10
		25,12	37,57	50,2				

Основываясь на методике, материалах и отзывах экспериментальных групп, уроки традиционного образования теперь проводят профессора, и к концу урока 20 из 30 студентов овладевают предметом. Было обнаружено, что 27 из 30 студентов освоили бы, если бы их преподавали профессора через виртуальную трехмерную среду обучения. В результате это повысит уровень мастерства на 40% .

Теперь мы рассмотрим последовательность процесса проектирования заданного исторического объекта на территории Узбекистана, используя метод R-функции.

$$f_1 \equiv a^2 - x^2 \geq 0, f_2 \equiv b^2 - y^2 \geq 0, f_3 \equiv c^2 - z^2 \geq 0$$

$$f_{123} \equiv f_1 \wedge f_2 \wedge f_3 \quad (1) \quad \text{здесь в этой}$$

последовательность куб приводится в системе координат x,y,z. При этом начало точки координат будет (0,0,0). Для того, чтобы обеспечить освещение внутренней структуры объекта внутри куба рисуется еще один куб. Этот процесс можно представить с помощью формулы (2).

$$f_4 \equiv (a - n)^2 - x^2 \geq 0, f_5 \equiv (b - n)^2 - y^2 \geq 0, f_6 \equiv (c - n)^2 - z^2 \geq 0$$

$$f_{456} \equiv f_4 \wedge f_5 \wedge f_6 \quad (2) \quad \text{в формуле берем разность}$$

второго куба, находящегося внутри первого, с точностью n и вычитаем значения каждой стороны a, b, c. При этом вносим обозначение, равное a=b=c. n – толщина стены.

$$f_4 \equiv (a - n)^2 - x^2 \geq 0, f_5 \equiv (b - n)^2 - y^2 \geq 0, f_6 \equiv (c - n)^2 - z^2 \geq 0$$

$$f_{456} \equiv f_4 \wedge f_5 \wedge f_6$$

(3) В данной формуле (1) также

представлено открытие двери внутри куба. Здесь вносим выражение  $t=a-n$ .

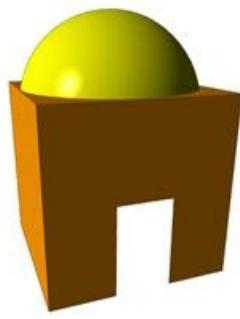
$$f_4 \equiv f_{1,2,3} \wedge (\overline{f_{4,5,6}}) \wedge (\overline{f_{7,8,9}})$$

(4) Записываем следующее логическое выражение и формируем общий вид куба.

$$f_5 = R^2 - x^2 - y^2 - z^2$$

(5) внутри куба рисуем шар.  $f_6 = R^2 - (x+a)^2 - y^2 - z^2$  (6) из созданного шара образуем по координате x, подняв на единицу a.  $f_7 = f_4 \vee f_6$  (7) согласно данной формуле создается общий вид на основе совмещения шара и общего купола. [9]

В качестве заключения стоит отметить, что создание 3D-объектов с помощью современных программ проектирования на основе R-функции занимает меньше времени и оперативной памяти.



a b c

Рис. 5. Вид исторического объекта, созданного при помощи R-функции, а – вид 3D-модели слева с текстурой, б – цветное изображение в режиме RGB, с – вид в анфас 3D-модели с учетом обеспечения текстуры

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В средах виртуальной реальности каждый объект представлен трехмерной моделью. Основная задача заключается в создании пользовательских моделей, которые ими управляют. Трехмерная модель персонажа представлена картой глубины, точками, полигональной моделью, параметрической моделью, описывающей антропометрические, анфасные и профильные черты человеческого лица. При проектировании окружения в виртуальном мире интересы аватара стоят на первом месте. При тестировании и внедрении предложенной виртуальной 3D-среды в деятельность были созданы геометрические модели и 3D-объекты для виртуальной среды, в частности, дизайн экстерьера, интерьера и персонажей, а также разработаны их компьютерные алгоритмы на примере создания исторического объекта с помощью R-функции, а также разработаны алгоритмы сокращения объема многоугольников и упрощения количества полигонов, функционирующих без потери качества 3D-объектов в виртуальной программной среде.

Национальные исторические объекты используются для проверки представленной концепции в реальных условиях. В этой статье обосновано использование трехмерных объектов для среды виртуальной реальности путем их моделирования и импорта созданных моделей в виртуальную среду. Анализ алгоритмов и методов создания 3D-моделей с применением R-функции показал эффективность разработки моделей, созданных в современных программах.

## Библиография

1. Никитенко М. С., Карповский Д. А. Реализация и оптимизация метода воксельного глобального освещения трехмерных сцен. ВС/NW 2018 № 1 (32):10.6
2. Abdul Majeed,Muhammad Abbas,Faiza Qayyum,Kenjiro T. Miura,Md Yushalify Misro,Tahir Nazir. Geometric Modeling Using New Cubic Trigonometric B-Spline Functions with Shape Parameter, Modern Geometric Modeling: Theory and Applications, Mathematics 2020, 8(12), 2102; <https://doi.org/10.3390/math8122102>
3. Л.А. Чемпинский. Основы геометрического моделирования в машиностроении: конспект лекций /. Самара: Изд-во Самарского университета, 2017.-160 с.: ил
4. Лисняк А.А., Чопоров С.В., Гоменюк С.И., Методика визуализации геометрических объектов, описанных с помощью г-функций, Вісник Запорізького національного університету, №1, 88-96, 2010
5. Zaitsev S. A., Subbotin S. A. The diagnosis model building on the basis of negative selection paradigm using the principle of detector masking, mathematical computer modeled, ISSN 1607-3274 Radioelectron. Information. Regulation № 2, 2011
6. С.В.Чопоров, А.А.Лисняк, С.И.Гоменюк. Использование функций В.Л.Рвачева для геометрического моделирования областей сложной формы. Прикладная информатика, № 2(26), 2010
7. Lai Feng Min, Alexei Sourin, Konstantin Levinski, Function-based 3D Web Visualization, Proceedings of the First International Symposium on Cyber Worlds (CW02) 0-7695-1862-1/02 \$17.00 ' 2002 IEEE
8. Yoshihiro Okada, Web Version of IntelligentBox (WebIB) and its Extension for Web-Based VR Applications-WebIBVR, Proc. of the 14th International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA-2019), Springer, LNNS 97, pp. 303-314, Oct. 2019.
9. Nuraliev F.M., Giyosov U.E., Yoshihiro Okada . Enhancing teaching approach with 3D primitives in virtual and augmented reality // 11th Scientific The world Conference Intelligent systems for industrial automation-"WCIS-2020" 26-28 November 2019, Tashkent Uzbekistan
10. Nuraliev F..M., Narzullayev O., Ibodullayev S.N, Study of national heritage sites on the basis of gamification technology, International Conference on Information Science and Communications Technologies ICISCT 2021 Applications, Trends and Opportunities 3-5th of November 2021, Tashkent, Uzbekistan
11. Мироненко М.С., Чертополохов В.А., Белоусова М.Д. —Технологии виртуальной реальности и решение задачи разработки универсального интерфейса для исторических 3D-реконструкций // Историческая информатика.-2020.-№ 4.-С.192-205. DOI: 10.7256/2585-7797.2020.4.34671 URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=34671](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=34671)
12. Рыженков М.Е. Редактирование трехмерного образовательного контента // Программные системы и вычислительные методы. — 2012.-№ 12.-С.0-0. DOI: 10.7256/2454-0714.2012.12.6929
13. Вяткин С.И. — Рейкастинг трехмерных текстур и функционально заданных поверхностей с применением графических ускорителей // Программные системы и вычислительные методы. — 2019. — № 2. — С. 23-32. DOI: 10.7256/2454-0714.2019.2.28666

## Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

В представленной на рецензирование статье рассматривается обучения как сложный психологический, физиологический и педагогический процесс с упором на построение виртуальных компьютерных моделей.

Методология исследования базируется на обобщении публикаций по теме статьи.

Актуальность исследования авторы связывают с созданием виртуальных университетов, развитием дистанционного обучения в условиях преодоления пандемии новой коронавирусной инфекции и необходимостью разработки алгоритмов для воздействия на 3D-объекты.

Научная новизна представленного исследования, по мнению рецензента, в явном виде четко не сформулирована.

Структурно в статье выделены следующие разделы: Введение, Постановка задачи, Метод и функциональное производство материала в базовой теории R-функция, Результат расчетного эксперимента, Заключение, Библиография.

Во введении приведено обоснование актуальности исследования, отражена его цель – «создание национальной виртуальной 3D университетской системы - уникальной цифровой национальной системы для всех университетов страны, государственное образование, информационные и коммуникационные технологии, производство, гуманитарные науки и другие области, удаленная связь преподавателей и студентов, презентация образовательный контент в виртуальном электронном формате, обмен опытом и знаниями обеспечивает платформа. Повышает познавательную активность учащихся. Делает процесс обучения ярче и интереснее».

В следующем разделе, названном «Постановка задачи», говорится о создании дизайнерских и геометрических моделей трехмерных объектов для национальных виртуальных университетских сред, представлении на виртуальной карте проектной схемы 3D-моделей каждого учебного заведения.

Далее приведены аналитические выражения для теоретико-множественных операций, предложенные Рвачевым В. Л. и Ricci A., отмечено, что R-функции используются при решении широкого круга задач математики, физики, многомерной цифровой обработки сигналов и изображений, компьютерной графики и других областях.

В следующем разделе статьи авторы приходят к выводу о том, что использование виртуальной трехмерной среды обучения «повысит уровень мастерства на 40%».

В Заключении повторены несколько предложений из текста статьи.

Библиография статьи отличается своей обширностью, включает 24 источника на русском и на английском языках. На приведенные в списке литературы источники в тексте имеются адресные ссылки, свидетельствующие о наличии в публикации апелляции к оппонентам.

Однако, положительно оценивая проделанную авторами статьи работу, следует отметить, что присутствуют некоторые спорные моменты.

Рассматриваемая статья связана с тематикой журнала «Программные системы и вычислительные методы».