

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Д.А. Виноградов

vinogradoff@yandex.ru
SPIN-код: 6085-0920

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Технологии компьютерного моделирования широко используются для представления объектов реального мира. Для построения 3D-моделей физических объектов в настоящее время применяется множество программных и аппаратных средств, но не все из них являются общедоступными и обеспечивают возможности, необходимые для решения конкретной задачи. В данной работе рассмотрены наиболее популярные существующие компьютерные системы 3D-моделирования физических объектов. Выполнен сравнительный анализ особенностей каждой системы. Рассмотрены методы получения 3D-модели объекта с помощью изображений данного объекта, а также с использованием технологии 3D-сканирования. Сделаны выводы, что одним из наиболее простых и доступных программных средств является приложение Blender 3d, а наиболее эффективным и точным методом получения 3D-модели на основе существующего объекта служит метод 3D-сканирования.

Ключевые слова

3D-моделирование, 3D-редакторы, компьютерная графика, программное обеспечение, визуализация, анимация, разработка игр, Autodesk

Поступила в редакцию 09.02.2021

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021

Введение. На сегодняшний день существует множество систем 3D-моделирования, каждая из которых имеет свои отличительные особенности. К самым популярным системам относятся КОМПАС-3D, 3ds Max, Maya, Blender, Rhinoceros, Autodesk Mudbox. Выбор определенной системы во многом зависит от целей и задач моделирования.

Указанные выше системы (3ds Max, Maya, Blender) можно назвать основными в области 3D-моделирования. Они поддерживают библиотеки как семейства OpenGL, так и DirectX. Данные продукты обеспечивают возможность создания определенной физической модели поведения данных объектов. К некоторым недостаткам данных систем можно отнести:

- сложность освоения (все возможности системы доступны только профессионалам в области 3D-моделирования, в то время как обычному человеку потребуется время, чтобы изучить основные принципы работы с системой);
- сложность работы с крупными/мелкими объектами;
- дороговизна системы (большинство их систем являются коммерческими).

Одним из ответвлений систем 3D-моделирования являются игровые движки. Инструментарий, называемый игровыми движками, создан для упрощения и ускорения разработки игр. На сегодняшний день самые популярные из подобных систем — UnrealEngine 4, Unity (3D). К преимуществам 3D-моделирования на основе игровых движков можно отнести максимальную приближенность процесса исследования моделируемого объекта к реальности. В любой момент времени пользователь имеет возможность запустить смоделированный уровень и благодаря эффекту присутствия оценить проделанную работу.

КОМПАС-3D. КОМПАС-3D — система трехмерного моделирования, предназначенная для создания трехмерных ассоциативных моделей отдельных деталей и сборочных единиц, содержащих как оригинальные, так и стандартизованные конструктивные элементы [1]. Поскольку основной целью моделирования в КОМПАС-3D обычно служит комплект технической документации (чертежи, спецификации), при моделировании необходимо закладывать в модель дополнительную информацию (например, инженерные данные).

Maya. Maya — это пакет программного обеспечения для компьютерной 3D-анимации, моделирования и визуализации [2]. Разработка компании Alias. В 2005 г. компания Alias волилась в Autodesk и в настоящее время пакет распространяется как Autodesk Maya.

Autodesk Maya предоставляет полный набор средств для 3D-анимации, моделирования, отслеживания движения и рендеринга на базе легко расширяемой платформы. Maya содержит наборы инструментов, отвечающие технологическим требованиям при создании визуальных эффектов, разработке игр и 3D-анимации. В Maya также есть инструменты, позволяющие организовать параллельные процессы и работать над проектами повышенной сложности.

С помощью пакета можно создавать пространственные модели, накладывать текстуры, добавлять пространственные эффекты, создавать анимацию. Интерфейс Maya (рис. 1) представляет собой своеобразный конструктор, где предусмотрено все, вплоть до создания собственных кнопок. Интерактивный рендер избавляет от длительных ожиданий при отладке сцены.

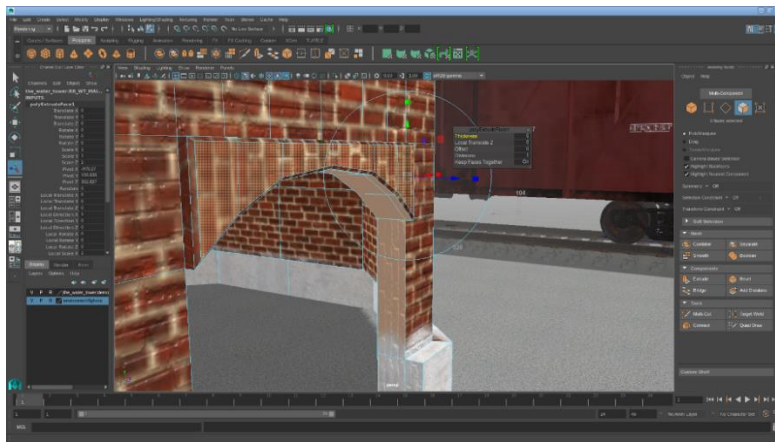


Рис. 1. Интерфейс программы Autodesk Maya

Пакет рассчитан в первую очередь на профессионалов, работающих в области создания анимации и спецэффектов в кинематографе. Самостоятельное изучение программы достаточно сложно. Поэтому необходимо, чтобы в роли преподавателя выступал человек, имеющий опыт не только в Maya, но и в индустрии, на которую нацелена программа.

Лидерство в этой области Maya держит не столько благодаря своему стандартному набору инструментов, сколько из-за наличия встроенного языка программирования MEL (Maya Embedded Language). С помощью этого языка можно практически полностью изменить программу, начиная с интерфейса и заканчивая алгоритмами визуализации.

3ds Max. 3ds Max представляет собой программное обеспечение для 3D-моделирования и визуализации, позволяющее работать с визуализацией проектов, играми и анимацией. Данный пакет произведен компанией Autodesk [3]. Уже много лет он с успехом используется практически во всех областях 3D-графики. Имеет мощные и гибкие инструменты для создания геометрических объектов и работы с ними, удобный редактор для создания материалов, обширные возможности для работы со светом, современную и качественную систему визуализации. Программа работает не только с сетками (полигонами), но и имеет инструменты для NURBS-моделирования (неоднородный рациональный B-сплайн, англ. Non-uniform rational B-spline — NURBS) [4].

Специальные средства визуализации 3ds Max дают пользователям возможность рассчитывать непрямое освещение, светотени, добиваться потрясающего качества при трассировке лучей. Специальные методы (метод фотонных карт) позволяют имитировать отражение от матовых, блестящих и глянцевых поверхностей, искажения, связанные с прохождением света сквозь прозрачные объекты. Все эти возможности могут быть использованы в сочетании с другими: размывание изображения, фокусное расстояние и др. Средства визуализации позволяют не только получать изображения высокого качества, но и осуществлять расчет изображений, распределяя задание среди нескольких процессоров или компьютеров.

Специальные модули, такие как Character Studio, помимо средств создания достаточно сложной анимации отдельных персонажей имеют возможность имитировать их поведение в составе больших групп. Модуль Reactor предназначен для создания физически корректной имитации динамики твердых и жидкостей.

Значительно расширяет возможности программы встроенный язык сценариев MAXScript. С его помощью можно писать программы — сценарии различной сложности, создавать новые элементы интерфейса. Язык во многом схож с классическими языками программирования Basic, Pascal, C++. На рис. 2 представлена модель, созданная в 3ds Max по эскизам.

Таким образом, Autodesk 3ds Max является мощным средством трехмерного моделирования и визуализации. Однако его существенным недостатком являет-

ся то, что он не является свободно распространяемым. Кроме того, данная система работает только на базе операционной системы Windows.

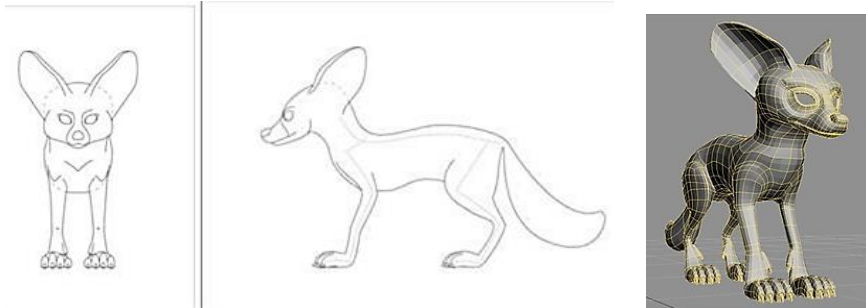


Рис. 2. Эскиз и результат моделирования в 3ds Max

Blender 3D. Blender — это кроссплатформенное приложение для создания трехмерной компьютерной графики [5]. Оно дает возможность моделирования, анимации, рендеринга и постобработки видео, а также создания интерактивных приложений.

Blender был разработан как рабочий инструмент голландской анимационной студией NeoGeo. 13 октября 2002 г. компания Blender Foundation представила лицензированный под GNU GPL продукт. В настоящее время Blender является проектом с открытым исходным кодом и развивается при активной поддержке Blender Foundation.

Характерная особенность пакета Blender — его небольшой размер. Установленный пакет занимает около 50 МБ. В базовую поставку не входят развернутая документация и большое количество демонстрационных сцен. Пользовательский интерфейс Blender (рис. 3) одинаков для всех платформ. Интерфейс можно настроить в соответствии с конкретными задачами (используя экран макетов), которые затем могут быть названы и сохранены для последующего использования.

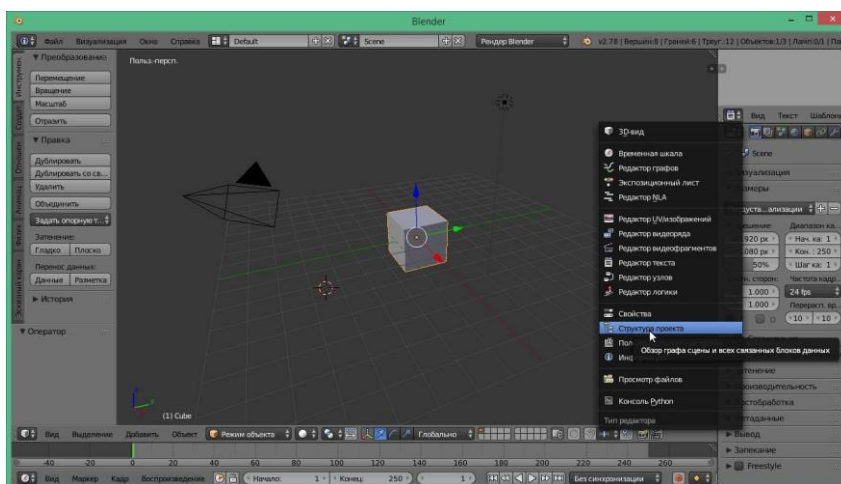


Рис. 3. Пользовательский интерфейс Blender

Данный пакет поддерживает следующие функции:

1) поддержка разнообразных геометрических примитивов, включая полигональные модели, систему быстрого моделирования в режиме subdivision surface (SubSurf), кривые Безье, поверхности NURBS, metaballs (метасферы), скульптурное моделирование и векторные шрифты;

2) инструменты анимации, среди которых инверсная кинематика, скелетная анимация и сеточная деформация, анимация по ключевым кадрам, нелинейная анимация, редактирование весовых коэффициентов вершин, ограничители, динамика мягких тел, динамика твердых тел на основе физического движка Bullet;

3) скрипты, написанные на языке программирования Python (используются как средство создания инструментов и прототипов), системы логики в играх (как средство импорта/экспорта файлов, автоматизации задач).

Наиболее общими сферами применения пакета Blender можно назвать архитектурный рендеринг, создание графики для компьютерных игр. Его используют при записи музыкальных видеороликов, телевизионной рекламы, короткометражных фильмов и, несколько реже, полнометражной анимации. Ему отводится также роль дополнительного средства для устранения слабых сторон уже имеющихся у художников инструментов — анимационных программ Silo, Modo и ZBrush — и средства построения UV-развертки, которое можно применять совместно с большинством известных пакетов трехмерной графики.

Среди достоинств Blender можно отметить бесплатное распространение, малый размер, возможность сочетания с большим числом операционных систем (Windows, Linux, Irix, Sun Solaris, FreeBSD и Mac OS X), прогрессивное развитие, большое количество бесплатных плагинов и готовых моделей, доступных в Интернете, постоянная поддержка и обновление программы разработчиками, возможность подстройки интерфейса «под себя».

К недостаткам Blender относятся:

– непривычный на первый взгляд интерфейс по сравнению с 3ds Max и Maya;

– возможные проблемы при конвертировании;

– небольшой объем документации на русском языке.

Unreal Development Kit. Unreal Development Kit или Unreal Engine — это современный игровой движок на базе языка C++, разработкой и поддержкой которого занимается компания Epic Games [6]. Возможности данной системы позволяют создавать и редактировать элементы 3D-анимации, спецэффекты в кинофильмах и играх, а также разрабатывать различные обучающие программы. Код приложения на этом движке работает на большинстве современных платформ и операционных систем (Android, iOS, Linux, Mac OS, Microsoft Windows, PlayStation 4, PSP, Xbox One, PS Vita) [7].

Последней версией движка на сегодняшний день является его четвертое поколение — Unreal Engine 4. Он является бесплатным для некоммерческого использования (если доход не превышает 3000 долл. США за квартал) [6].

Другой немаловажной особенностью движка Unreal служит встроенный редактор BluePrint: это интуитивная система для создания логики 3D-окружения. Примеры работы скриптов BluePrint (чертежи) в игровом приложении: назначение игроков с отличительными чертами, установка правил и поведения игры, назначение кнопок для управления персонажем. При всем этом с помощью «чертежей» пользователь может создать логику уровня или игры, не написав ни единой строчки кода, что, безусловно, облегчит процесс написания логики тем людям, кто не силен в программировании.

К достоинствам данного продукта можно отнести:

- наличие бесплатной версии;
- относительную простоту использования и освоения (по сравнению с другими подобными системами);
- хорошую графику;
- кроссплатформенность;
- интеграцию с C++;
- возможность импорта объектов из других систем 3D-моделирования.

Среди его недостатков:

- нехватка документации по функциям системы C++;
- возможная сложность при работе с BluePrint;
- высокие требования к аппаратному обеспечению.

Таким образом, с учетом всех достоинств данная система является хорошим средством при 3D-моделировании. И у данной системы есть бесплатная версия в отличие от 3ds Max и Maya.

Unity (3D). Unity (3D) — это игровой движок профессионального качества, используемый для создания видеоигр на различных платформах [8]. Он предоставляет множество функций, которые полезны при создании различных игр, поэтому проект, реализованный с помощью этого движка, объединяет в себе все эти функции вместе с пользовательскими арт-ресурсами и игровым кодом, специфичным для определенной игры. Unity включает моделирование физики, карты нормалей, SSAO (Screen Space Ambient Occlusion — англ. преграждение окружающего света в экранном пространстве), динамические тени и т. д. Unity имеет два основных преимущества перед другими аналогичными передовыми инструментами разработки игр: чрезвычайно продуктивный визуальный рабочий процесс и высокую степень кроссплатформенной поддержки.

Редактор Unity имеет простой интерфейс Drag & Drop, состоящий из различных окон, которые легко можно настроить под себя, благодаря чему можно выполнять отладку игры прямо в редакторе (рис. 4). Движок поддерживает два скриптовых языка: C#, JavaScript (модификация). Физические расчеты выполняет физический движок PhysX от NVIDIA.

Редактор используется для компоновки сцен в игре, а также для объединения художественных ресурсов и кода в интерактивные объекты. Красота этого редактора заключается в том, что он позволяет быстро и эффективно создавать

Сравнительный анализ современных систем 3D-моделирования физических объектов

игры профессионального качества, предоставляя разработчикам инструменты, которые будут невероятно продуктивными, все еще используя обширный список новейших технологий в видеоиграх.



Рис. 4. Интерфейс программной среды Unity

Помимо значительных преимуществ редактора в производительности, другой основной силой набора инструментов Unity является высокая степень кроссплатформенной поддержки. Unity не только является мультиплатформенным с точки зрения целей развертывания (его можно развертывать на ПК, в Интернете, на мобильных устройствах или консолях), но и мультиплатформенен с точки зрения средств разработки (можно вести разработку на Windows или Mac OS).

Unity имеет много преимуществ, которые делают его отличным выбором для разработки игр, но также у него присутствуют слабые стороны. В частности, сочетание визуального редактора и сложного кодирования, хотя и очень эффективно с системой компонентов Unity 3D, является необычным и может создать трудности. В сложных сценах можно потерять представление о том, к каким объектам в сцене прикреплены определенные компоненты. Unity 3D предоставляет возможность поиска вложенных скриптов, но этот поиск не доведен до совершенства; иногда можно столкнуться с ситуацией, когда нужно вручную проверить все в сцене, чтобы найти связи сценариев.

Другим недостатком является то, что Unity не поддерживает связывание с внешними библиотеками кода. Многие доступные библиотеки должны быть вручную скопированы в проект, где они будут использоваться, в отличие от ссылки на одно центральное общее расположение. Отсутствие централизованного расположения библиотек может затруднить совместное использование функциональных возможностей несколькими проектами. Этот недостаток можно обойти с помощью умного использования систем управления версиями, но Unity 3D не поддерживает эту функциональность напрямую.

Таким образом, Unity 3D — мощный кроссплатформенный 3D-движок и удобная среда разработки, в том числе для 3D-моделирования, достаточно легкий в понимании для новичка и достаточно мощный по возможностям для эксперта, позволяющий легко создавать 3D-игры и приложения для различных платформ.

Сравнительные результаты. В ходе анализа основных характеристик существующих систем была построена таблица, в которой приведены характеристики данных систем по следующей шкале: 3 — высокий, 2 — средний, 1 — низкий.

По таблице видно, что системы Maya и 3ds Max сложны для освоения, а также имеют высокую стоимость хотя и предоставляют хорошие возможности моделирования. Система Blender 3D бесплатна, однако она немного уступает по своим возможностям множеству других систем. Системы UDK и Unity (3D), хотя и не являются полностью бесплатными (при коммерческом использовании — платные), но все же имеют хорошие возможности, как и у профессиональных систем Maya и 3ds Max. Но по сравнению с ними они еще проще в освоении и при работе.

Сравнительные характеристики систем моделирования

Характеристика	Maya	3ds Max	Blender 3D	Unreal Development Kit	Unity (3D)
Сложность работы	2	2	1	1	1
Сложность освоения	3	3	2	2	2
Стоимость продукта	3	3	1	2	2
Возможности визуализации	3	3	2	3	3
Кроссплатформенность	3	1	3	3	3

В настоящее время существует множество средств для моделирования и визуализации 3D-объектов. Однако наиболее мощными и относительно доступными программными средствами при работе с 3D-моделями являются игровые движки Unreal Development Kit и Unity (3D). Также для большинства применений можно использовать бесплатную легковесную систему Blender 3D.

Альтернативные методы получения 3D-модели объекта. Помимо использования различных 3D-редакторов, основной принцип работы которых основан на создании модели объекта вручную, стоит выделить альтернативные методы 3D-моделирования. На базе этих методов реализовано соответствующее программное обеспечение, которое позволяет создать 3D-модель объекта более точно, не полагаясь на образ и внутреннее восприятие объекта проектировщиком.

3D-реконструкция по набору изображений объекта. В данном методе используется последовательный ряд снимков объекта (рис. 5). В данном методе есть определенные требования при выполнении съемки объекта. Процент наложения двух смежных кадров должен превышать 50 %, а количество перекрывающихся кадров должно быть равно трем. При правильном выполнении этих требований можно получить довольно точный образ с возможностью дальнейшего масштабирования объекта [9].



Рис. 5. Создание серии снимков объекта

Алгоритм работы данного метода предусматривает следующие этапы [10]:

- 1) создание серии снимком исходного объекта и их импорт;
- 2) поиск множества особых точек и решение системы уравнений, полученной на основании данного множества;
- 3) определение параметров камеры;
- 4) поиск «одинаковых» точек на различных наборах смежных изображений объекта;
- 5) вычисление координат точек относительно исходного «базового» изображения объекта;
- 6) приведение точек к системе координат, наиболее удобной для анализа объекта и наложения структуры.

Среди недостатков данного метода выделяют стационарное положение объекта и относительно длительный процесс съемки. Но при увеличении числа снимков итоговый результат становится более точным.

3D-сканер. 3D-сканер — это устройство, которое анализирует объект и на основе полученных данных создает его трехмерную модель (рис. 6). В зависимости от метода сканирования различают два вида сканеров: контактный и бесконтактный. В первом необходимо использование специального щупа, который исследует точки, выбранные оператором. Точность итоговой модели зависит от точности датчиков, расположенных на щупе. Сканеры данного типа используются при работе с объектами относительно малого размера и простой формы. Бесконтактные 3D-сканеры имеют более сложную структуру и оперируют ультразвуком, различными лазерными датчиками и фотокамерами. В результате происходит комбинирование данных, полученных от изображений, и результатов, которые получены при использовании других датчиков.

Преимуществом данного метода является то, что он позволяет получить очень точную 3D-модель за короткий промежуток времени. Однако данное

оборудование не только дорогостоящее. Оно является стационарным, и это не позволяет получать модели любых объектов.



Рис. 6. Внешний вид бесконтактного 3D-сканера

Стереопара. В данном методе используется набор из двух снимков, полученных с помощью стереокамеры. В данном случае аналогично методу реконструкции по набору изображений производится выбор точек соответствия, их сопоставление и геометрические преобразования [10, 11].

Для получения 3D-модели объекта необходимо реализовать следующий алгоритм:

- 1) определение фундаментальной матрицы;
- 2) определение матрицы камер;
- 3) нахождение соответствующих точек;
- 4) построение облака точек;
- 5) текстурирование.

Недостатком данного метода является то, что полученная модель не является «полным» 3D-образом, поскольку строится лишь некоторый поверхностный образ объекта. Из достоинств метода стоит отметить его быстроту и доступность.

Заключение. В настоящее время существует множество методов получения 3D-модели физического объекта, для каждого из которых реализовано соответствующее программное обеспечение. Наиболее часто применяют методы, основанные на ручном моделировании физического объекта с помощью различных 3D-редакторов. Одним из наиболее простых и доступных программных средств является Blender 3d. Но если необходимо создать 3D-модель на основе существующего объекта, более эффективным и точным методом будет использование 3D-сканирования или 3D-реконструкции по набору изображений.

Литература

- [1] Система трехмерного моделирования КОМПАС-3D. *ascon.ru: веб-сайт*. URL: <https://ascon.ru/products/7/review/> (дата обращения: 14.11.2020).
- [2] Система трехмерного моделирования Autodesk Maya. *autodesk.ru: веб-сайт*. URL: <https://www.autodesk.ru/products/maya/overview> (дата обращения: 14.11.2020).

- [3] Программное обеспечение для 3D-моделирования и визуализации Autodesk 3ds Max. *autodesk.ru: веб-сайт*. URL: <https://www.autodesk.ru/products/3ds-max/overview> (дата обращения: 14.11.2020).
- [4] Виды 3D-моделирования: полигональное, сплайновое и NURBS моделирование. *koloro.ua: веб-сайт*. URL: <https://koloro.ua/blog/3d-tekhnologii/vidy-3d-modelirovaniya-poligonalnoe-splajnovoe-i-nurbs-modelirovanie.html> (дата обращения: 14.11.2020).
- [5] Меженин А.В. Методы и средства распознавания образов и визуализации. СПб., ИТМО, 2012.
- [6] Game engine technology by Unreal. URL: <http://www.unrealengine.com> (дата обращения: 14.11.2020).
- [7] Крупин А.С., Жилин И.А. Обзор и анализ возможностей современного игрового движка Unreal Engine. URL: <https://docplayer.ru/45342959-Obzor-i-analiz-vozmozhnostey-sovremennogo-igrovogo-dvizhka-unreal-engine.html> (дата обращения: 14.11.2020).
- [8] Платформа Unity. URL: <https://unity.com/ru> (дата обращения: 14.11.2020).
- [9] Seitz S.M., Dyer C.R. Photorealistic scene reconstruction by voxel coloring. *Proc. Computer Vision and Pattern Recognition Conf.*, 1997, pp. 1067–1073.
- [10] Jin H., Soatto S., Yezzi A. Multi-view stereo reconstruction of dense shape and complex appearance. *Intl. J. Comput. Vision*, 2005, vol. 63, no. 3, pp. 175–189. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11263-005-6876-7>
- [11] Вахитов А.Т., Гуревич Л.С., Павленко Д.В. Обзор алгоритмов стереозрения. *Стохастическая оптимизация в информатике*, 2008, № 4, с. 151–169.

Виноградов Дмитрий Алексеевич — студент кафедры «Информационные системы и телекоммуникации», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Локтев Даниил Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы и телекоммуникации», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Виноградов Д.А. Сравнительный анализ современных систем 3D-моделирования физических объектов. *Политехнический молодежный журнал*, 2021, № 03(56). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-03-685>

COMPARATIVE ANALYSIS OF MODERN SYSTEMS FOR 3D MODELING OF PHYSICAL OBJECTS

D.A. Vinogradov

vinogradoff@yandex.ru
SPIN-code: 6085-0920

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

Computer modeling technologies are widely used to represent objects in the real world. Many software and hardware tools are currently used to build 3D models of physical objects, but not all of them are publicly available and provide the capabilities necessary for solving a specific problem. This paper considers the most popular existing computer systems for 3D modeling of physical objects. A comparative analysis of the features of each system is carried out. Methods are considered for obtaining a 3D model of an object using images of this object, as well as using 3D scanning technology. It is concluded that one of the simplest and most accessible software tools is the Blender 3d application, and the most effective and accurate method for obtaining a 3D model based on an existing object is the 3D scanning method.

Keywords

3D modeling, 3D editors, computer graphics, software, visualization, animation, game development, Autodesk

Received 09.02.2021

© Bauman Moscow State Technical
University, 2021**References**

- [1] Sistema trekhmernogo modelirovaniya KOMPAS-3D [KOMPAS-3D 3D modelling system]. *ascon.ru: website* (in Russ.). URL: <https://ascon.ru/products/7/review/> (accessed: 14.11.2020).
- [2] Sistema trekhmernogo modelirovaniya Autodesk Maya [Autodesk Maya 3D modelling system]. *autodesk.ru: website* (in Russ.). URL: <https://www.autodesk.ru/products/maya/overview> (accessed: 14.11.2020).
- [3] Programmnoe obespechenie dlya 3D-modelirovaniya i vizualizatsii Autodesk 3ds Max [Autodesk 3ds Max software for 3D modelling and visualization]. *autodesk.ru: website* (in Russ.). URL: <https://www.autodesk.ru/products/3ds-max/overview> (accessed: 14.11.2020).
- [4] Vidy 3D-modelirovaniya: poligonal'noe, splaynovoe i NURBS modelirovanie [Types of 3D modelling: polygonal, spline and NURBS]. *koloro.ua: website* (in Russ.). URL: <https://koloro.ua/blog/3d-tehnologii/vidy-3d-modelirovaniya-poligonalnoe-splajnovoe-i-nurbs-modelirovanie.html> (accessed: 14.11.2020).
- [5] Mezhenin A.V. Metody i sredstva raspoznavaniya obrazov i vizualizatsii [Methods and techniques pattern recognition and visualization]. Sankt-Petersburg, ITMO Publ., 2012 (in Russ.).
- [6] Game engine technology by Unreal. URL: <http://www.unrealengine.com> (accessed: 14.11.2020).
- [7] Krupin A.S., Zhilin I.A. Obzor i analiz vozmozhnostey sovremennogo igrovogo dvizhka Unreal Engine [Review and analysis of Unreal Engine modern game engine options] (in Russ.). URL: <https://docplayer.ru/45342959-Obzor-i-analiz-vozmozhnostey-sovremennogo-igrovogo-dvizhka-unreal-engine.html> (accessed: 14.11.2020).

- [8] Platforma Unity [Unity platform]. URL: <https://unity.com/ru> (дата обращения: 14.11.2020).
- [9] Seitz S.M., Dyer C.R. Photorealistic scene reconstruction by voxel coloring. *Proc. Computer Vision and Pattern Recognition Conf.*, 1997, pp. 1067–1073.
- [10] Jin H., Soatto S., Yezzi A. Multi-view stereo reconstruction of dense shape and complex appearance. *Intl. J. Comput. Vision*, 2005, vol. 63, no. 3, pp. 175–189. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11263-005-6876-7>
- [11] Vakhitov A.T., Gurevich L.S., Pavlenko D.V. Stereovision algorithms: a survey. *Stokhasticheskaya optimizatsiya v informatike*, 2008, no. 4, pp. 151–169 (in Russ.).

Vinogradov D.A. — Student, Department of Information Systems and Telecommunications, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Loktev D.A., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Information Systems and Telecommunications, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Vinogradov D.A. Comparative analysis of modern systems for 3D modeling of physical objects. *Politekhnicheskij molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2021, no. 03(56). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-03-685.html> (in Russ.).