

Моделирование и визуализация трехмерной модели с применением технологии дополненной реальности

А. Я. Аноприенко, М. В. Крахмаль
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
meri.krakhmal@gmail.com

Аннотация

В статье рассматриваются современные системы и средства для разработки технологии дополненной реальности. Проанализированы библиотеки компьютерного зрения, которые наиболее подходят для создания AR-приложений в зависимости от их целей и задач. Приведена общая структура создания дополненной реальности на базе безмаркерных технологий, показана математическая модель детектора обнаружения особых точек. Реализована программа в среде разработки Android Studio, создана трехмерная модель в среде Blender. Произведено экспериментальное исследование приложения. Выполнен анализ полученных результатов по работоспособности программы. Поставлены задачи для дальнейшего исследования.

Введение

В настоящее время инновационные технологии внедряются во все сферы жизнедеятельности человека, поскольку происходит усовершенствование более ранних методов взаимодействия с информацией [1]. Современный этап развития компьютерных систем более детально исследует области компьютерной визуализации. Моделирование систем и отображение динамики процессов выполняется с использованием интерактивных программных средств [2]. Во время работы такого программного продукта выполняется наглядное отображение процесса развития ситуации и индикация всех внешних воздействий. Такая интерактивная система представляет собой модель интерфейса поддержки принятия решений.

На сегодняшний день одним из самых важных направлений развития современных компьютерных технологий является применение дополненной реальности (ДР или AR – *augmented reality*). Система, созданная на основе технологии ДР, представляет совершенно новый тип интерфейса, который частично погружает человека в трехмерный мир и позволяет воспринимать 3D-модели и манипулировать ими [3]. Такие системы с каждым днем получают широкое распространение среди научно-технических, обучающих и развлекательных приложений. Приложение с ДР при правильной реализации может передать максимально реалистичные объекты, за которыми человек будет наблюдать с экрана смартфона, планшета или специальных умных очков. Для этого необходимо выбрать правильное программное обеспечение, которое работает с различными алгоритмами отслеживания объектов, захвата и

распознавания изображений. Кроме этого, продукт должен быть оптимизирован под различные устройства и платформы.

Главным отличием VR-технологии от AR-технологии является использование менее дорогостоящего оборудования, специальных устройств. Технология дополненной реальности может быть реализована на одном из самых распространенных и востребованных устройств – на смартфоне.

Современные IT-технологии решают различные задачи, связанные с компьютерным зрением, которое позволяет восстанавливать сцену или изображение, распознавать любые образы или точки: локализация, детектирование или сегментация объектов. Исходя из этого AR-технология в ближайшем будущем имеет большие перспективы в дальнейшем развитии.

В данной работе будет разработана система с ДР на основе безмаркерной технологии. Приложение отображает дополненный объект на созданной виртуальной плоскости. Наложенный объект обладает функциями масштабируемости, переноса и обзора с разных углов.

Цель исследования и постановка задач

Целью данного исследования является определение способов реализации программного продукта с использованием технологии ДР. Тестирование функциональных возможностей разработанного приложения на различных устройствах.

В работе решаются следующие задачи:

– анализ и сравнение наиболее используемых средств разработки AR-приложений;

- построение алгоритма работы приложения с ДР и реализация программы в среде разработки Android Studio;
- представление AR-приложения с применением современных технологий ДР;
- определение задач для дальнейшего исследования.

Анализ средств для разработки приложений с дополненной реальностью

AR-технология позволяет пользователю взаимодействовать в реальной обстановке с наложенными виртуальными предметами (трехмерные модели, текстовые данные, аудио-или видео-файлы) [4]. В статье [5] были рассмотрены достоинства и недостатки данной технологии, показаны примеры использования в образовательных и промышленных целях. Также был проведен анализ базовых методов для создания дополненной реальности.

На сегодняшний день самой важной проблемой использования приложений с AR-технологией на устройствах является мощность смартфонов или планшетов. Низкая производительность приводит к более длительной обработке данных, полученных из камеры, в отличие от ноутбуков или стационарных компьютеров с веб-камерой. В результате этого перед созданием приложения необходимо выбрать подходящую среду разработки, которая будет соответствовать задачам и требованиям будущего продукта. В зависимости от функциональных задач приложения можно выбрать готовые SDK (*Software Development Kit*), которые оснащены определенным набором функций или создавать программу с помощью интегрированной среды

для работы с платформой Android – Android Studio [6]. При разработке мобильных приложений нужно придерживаться двух требований – качество виртуальных моделей и программный код, который должен подгружать все объекты на сцену и занимать не встроенную память телефона, а оперативную.

Для создания AR-приложения необходимо использовать многофункциональные инструменты, которые будут обрабатывать большой объем данных. Выбор программного продукта и его инструментов зависит от целей самого приложения. Правильный выбор библиотеки компьютерного зрения (поиск координат, масштаба, угла поворота моделей) упростит создание приложения с AR-технологией, так как не будут использоваться ненужные аппаратные средства. Основными функциями приложений с дополненной реальностью являются распознавание и отслеживание реальных объектов. Для этих целей были разработаны алгоритмы машинного зрения для камеры устройства.

Двумя основными компонентами для создания AR-технологии является визуализация моделей и трекинг (отслеживание в реальном времени). Существует множество различных методов для реализации технологии – библиотеки и движки компьютерного зрения. Был проведен аналитический обзор различных средств для создания ДР. В табл. 1 представлены наиболее популярные и востребованные инструменты для создания и работы с ДР-технологией. В табл. 2 приведена сравнительная характеристика существующих библиотек компьютерного зрения, которые являются наиболее используемыми при создании AR-приложения.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика средств разработки AR

Название SDK	Поддерживаемые платформы	Функциональные возможности	Поддержка языков программирования
Vuforia (Free, Commercial)	Android, iOS, Unity	Анализ, распознавание и отслеживание разных типов визуальных объектов (плоские изображения и трехмерные). Обнаружение текстовой информации, предметов в окружающей среде	C++, Java, Objective-C, .Net
Wikitude (Free)	Android, iOS, смарт-очки, плагин для Unity	Распознавание и отслеживание различных изображений, отслеживание на основе SLAM, GEO Data (географическая привязка объектов), облачное распознавание объектов	Java, Objective-C
EasyAR (Free)	Android, Unity, iOS, Windows	Работа со смарт-очками, распознавание трехмерных объектов, облачное распознавание	Java, Objective-C, .Net
Kudan (Free, Commercial)	Android, iOS	Анализ и распознавание плоских изображений	Java

Таблица 2 – Сравнительная характеристика библиотек компьютерного зрения для создания AR

Название библиотеки	Поддерживаемые платформы	Функциональные возможности	Поддержка языков программирования
OpenCV	Android, Windows, Linux, iOS	Анализ и сравнение ключевых точек, анализ движений, скорость выполнения продукта, открытый исходный код	C, C++, Python, Ruby, Lua, Matlab
ARToolkit	Android, Unity, iOS, смарт-очки	Поддержка шлемов и очков, открытый исходный код, высокая скорость приложений, отслеживания положения устройства, интерактивное взаимодействие виртуальных объектов	Java, Objective-C
Metaio SDK	Android, Unity, iOS, WEB	Безмаркерная технология для встраивания в приложения, встроенный 3D-движок	Java, Objective-C, .Net

Каждое из приведенных средств разработки приложений имеет не только базовые функции для использования дополненной реальности, но и усложненные функции, которые позволяют выводить AR-приложения на более высокий уровень [7].

Максимальная дистанция захвата изображения рассмотренных средств разработки AR-технологии значительно отличается: «Vuforia» – 1.2-3.7 м, «Wikitude» – 0.8-3 м, «EasyAR» – 0.9-2.7 м, «Kudan» – 0.8-3 м.

Wikitude SDK дополнительно реализовали функции для работы с алгоритмом SLAM (*Simultaneous localization and mapping*) и ARCore (инструмент для разработки программного обеспечения, включающий три основных функции: отслеживание движения, понимание окружающей среды, оценка освещенности). Алгоритм SLAM объединяет в себе функции навигации и создания карты, с которыми можно работать без обработки маркеров и специальных кодов, в результате чего строится трехмерная модель окружающего пространства в режиме реально времени (во время работы трекинга).

Значительное отличие Wikitude SDK от Vuforia SDK заключается в том, что Vuforia позволяет использовать только технологию ARCore. Ранее была разработана и использовалась собственная реализация SLAM алгоритма. Также в этой среде разработки есть уникальный инструмент Vuforia Chalk, который используется для создания графических подсказок над наложенными объектами.

ARCore позволяет определять размер и местоположение всех типов поверхностей: горизонтальных, вертикальных и наклонных поверхностей. Во время перемещения ARCore обнаруживает визуально различимые объекты (особые точки) и строит пространственную карту, которая в дальнейшем позволяет определить положение и ориентацию устройства. ARCore предоставляет оценку текущих условий освещенности и допускает применить эти данные для вывода виртуальной модели. Можно

реализовать логику виртуального объекта при изменении освещенности [8].

Аналитическая компания Tractica ежегодно составляет отчеты по развитию IT-технологий. Согласно новому отчету ведущего аналитика Марка Бекью по использованию мобильных AR-технологий, в 2022 году количество уникальных активных мобильных пользователей (*MAU – Monthly Active Users*) возрастет до 1,9 миллиарда, когда в 2020-м году насчитывалось около 1,5 миллиардов. В то время как количество приложений с ДР увеличится до 4,65 миллиардов с 3,2 миллиардов за 2020-й год [9]. Проанализировав график (рис.1) развития, можно сделать вывод, что технология дополненной реальности становится более востребованной для внедрения в мобильные приложения с помощью различных SDK.

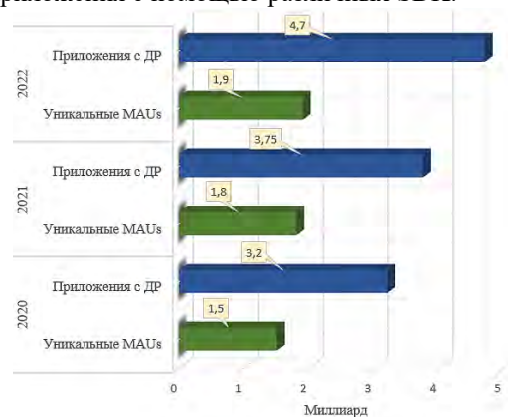


Рисунок 1 – Прогноз увеличения количества пользователей и приложений ДР к 2022 году

Дополненная реальность совмещает одновременно реальное и наложенное на одном экране. Информация отображается в режиме реального времени и изменяется при каждом перемещении камеры в пространстве. AR-технология на смартфонах или планшетах станет одним из самых популярных инструментов, который улучшит взаимодействие пользователей с устройствами [10]. На рис.2 показано три основных преимущества использования приложений с ДР.



Рисунок 2 – Преимущества использования приложений с технологией дополненной реальности

Разработка мобильного приложения под ОС Android

Основной особенностью всех алгоритмов создания технологии дополненной реальности является наличие в них последовательности выполнения стандартных действий.

Существует базовый алгоритм для пространственных и безмаркерных технологий [11]. Так как такие алгоритмы более сложные, при сканировании оптическим сканером на изображение (фотографии, учебники, вывески, реальная картинка) или местность происходит наложение специальной сетки, которая позволяет определять «опорные» точки, необходимые для дальнейшего анализа и визуализации дополненной реальности. Стандартный алгоритм для таких технологий имеет следующую структуру (рис.3):

- распознавание представленного объекта, считывание «опорных» точек;
- инициализация полученных точек для дальнейшего сравнения;
- обращение к базе данных существующих моделей для соответствия и подтверждения правильного считывания;
- визуализация моделей дополненной реальности на места «опорных» точек.

Распознавание и трекинг изображений в реальном времени является ключевыми функциями для создания AR-технологии в любом SDK. Это позволяет пользователю захватывать большое пространство камерой устройства для дальнейшего дополнения наложенными объектами.

Для получения надежной оценки позиции наложенные объекты должны быть равномерно распределены по текущему изображению. Длина проецируемой линии зависит от перспективы камеры и расстояния до объекта.



Рисунок 3 – Общий алгоритм для создания AR-приложения на базе пространственных или безмаркерных технологий

Количество точек выборки должно зависеть от длины проецируемой площади, а не от длины трехмерной модели. Точки на проецируемой плоскости рекурсивно пронумерованы (рис.4).

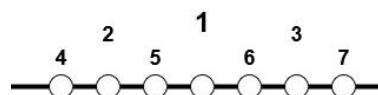


Рисунок 4 – Рекурсивная нумерация точек

Первые n точек используются для вычисления трехмерных соответствий (1):

$$n = \frac{\text{длина проецируемой линии}}{\text{плотность точки выборки}}. \quad (1)$$

Вся структура проецируемой карты показана на рис.5.

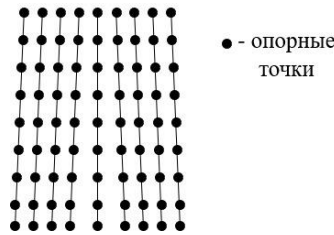


Рисунок 5 – Структура проецируемой карты

В [12] был выполнен анализ методов обнаружения «опорных» точек для создания AR-технологии. В результате были выделены 3 наиболее точных детектора. Детектор SURF (*Speed up Robust Feature*) с точки зрения реализации и прогнозируемого времени обработки текущих кадров является наиболее перспективным, но для эффективной работы данного детектора необходимым требованием является повышение быстродействия.

Детектор SURF [13] выполняет работу в два шага: извлечение и описание функций. Интегральное представление изображения (2) используется для эффективного вычисления суммы значений пикселей в считываемом изображении.

$$I(x,y) = \sum_{i=0,j=0}^{x,y} I(i,j), \quad (2)$$

где $I(x,y)$ – яркость пиксела с координатами (x,y) интегрального изображения; $I(i,j)$ – яркость пикселя с координатами (i,j) исходного изображения.

Обнаружение особых точек в детекторе SURF основано на вычислении детерминанта матрицы Гессе. Матрица Гессе и ее детерминант определяется следующим образом (3):

$$\det(h) = D_{xx}D_{yy} - (0.9 * D_{xy})^2, \quad (3)$$

где D_{xx} , D_{yy} , D_{xy} – свертки по фильтрам (рис.6); коэффициент 0,9 корректирует приближенный характер вычислений.

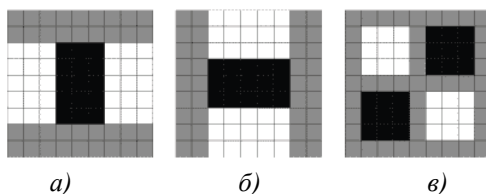


Рисунок 6 – Фильтры, используемые в алгоритме: а) D_{xx} , б) D_{yy} , в) D_{xy}

Рисунок 6 отображает фильтры, в которых белые области соответствуют значению «+1»,

черные – «-2» (на третьем фильтре «-1»), серые – «0». Пространственный масштаб каждого фильтра – 9x9 пикселей. Для идентификации «опорных» точек детектор SURF выполняет поиск по всем пикселям изображения для нахождения максимума гессиана.

В данной работе реализация осуществляется с использованием инструмента для разработки программного обеспечения ARCore. При перемещении устройства выполняется взаимодействие с камерой для распознавания ключевых особенностей на каждом кадре (обнаруженное изображение). В данном случае выполняется поиск правильной поверхности для определения особых («опорных») точек для точного определения положения устройства в реальном пространстве. По найденным ключевым точкам можно получить площадь для визуализации объектов.

Ключевым моментом в работе приложения является сопоставление виртуального положения камеры с действительным положением используемого устройства. При правильном считывании наложение объектов происходит на плоскость, а отображение осуществляется с правильной точки зрения, что позволяет рассмотреть 3D-модель с любого угла.

Для визуализации моделей дополненной реальности каждый из объектов должен прикрепляться к определенной «опорной» точке, которая имеет фиксированное положение и ориентацию в реальном пространстве.

После нажатия пользователем по экрану устройства на определенную «опорную» точку ARCore проверяет нажатие и выполняется сравнение координат этой точки (x,y) . После успешной проверки на проецируемую плоскость помещается трехмерная модель из базы данных (облачное хранилище или внутренняя память устройства).

Структура работы инструмента ARCore для реализации дополненной реальности показана на рис.7. Камера устройства считывает изображение в действительном пространстве и передает его в обработку. Затем выполняется поиск «опорных» точек на изображении. При нахождении программа идентифицирует каждую из таких характерных точек и устанавливает для них текущие координаты. После того, как на экране устройства отобразится предполагаемое поле для встраивания объектов ДР, пользователь может нажать на любую из таких точек, после чего программа определяет координаты выбранной точки и загружает из предварительно скомпилированной БД нужную 3D-модель. Далее выполняется наложение виртуальной модели на экране устройства.

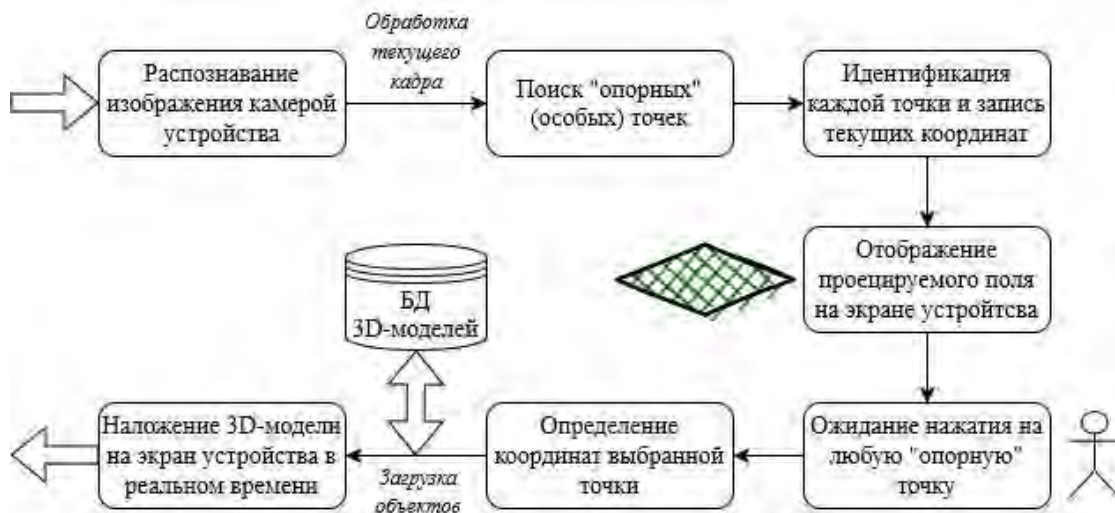


Рисунок 7 – Структура создания AR-технологии с помощью ARCore

Тестирование разработанного ПО в среде Android Studio

Для создания трехмерной модели использовалось программное обеспечение Blender, созданное для проектирования трехмерной компьютерной графики. ПО имеет большой набор функций: средства моделирования, анимация, симуляция процессов, постобработка видео со звуком. Созданная модель в виде 3D-текста показана на рис.7 и рис.8.



Рисунок 7 – Полигональная сетка

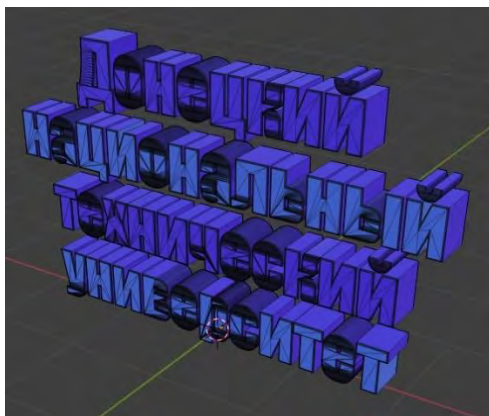


Рисунок 8 – Текстурирование модели

Ниже приведен листинг функции для визуализации 3D-модели на экране устройства.

```
private void addModelToScene (Anchor
anchor, ModelRenderable
modelRenderable) {
    AnchorNode node = new
    AnchorNode (anchor);
    TransformableNode transformableNode
    = new
    TransformableNode (arFragment.getTransfo
    rmationSystem());
    transformableNode.setParent (node);
    transformableNode.setRenderable (modelRe
    nderable);
    arFragment.getArSceneView().getScene().
    addChild (node);
    transformableNode.select();
}
```

Главный экран программы не содержит кнопок навигации, после запуска ПО на экране отображается жест, который пользователь должен выполнить, после чего продолжается работа. Наложение модели осуществляется после нажатия на соответствующую область (точку) на экране. Приложение с технологией дополненной реальности работает (как в вертикальном, так и горизонтальном положениях) без значительных затрат оперативной памяти и потребления энергии аккумулятора.

Работоспособность ПО тестировалась на пяти различных устройствах (смартфоны с разной версией Android, объемом оперативной памяти, процессором): Android 11 / 10 / 8.1 / 7.0.

Из представленных моделей программа успешно установилась и работала на версиях Android 11, 10, 8.1. Однако, значительное влияние на запуск ПО несет версия операционной системы, которая поддерживает настройки дополненной реальности. Даже при создании кроссплатформенного мобильного приложения (для более ранних версий Android),

AR-технологии не будут отображаться, поскольку в ОС нет данных настроек.

Быстродействие на трех устройствах показало одинаковые результаты. Проецируемая сетка из «опорных» точек отображается на экране устройства в течении 1-2 секунд (в зависимости от считываемого изображения). Трехмерная модель визуализируется и подвергается функциям масштабирования, перемещения, вращения на 360° вокруг своей оси и приближения камеры к объекту ДР без задержек. После запуска приложения на экране устройства отображается анимированная иконка, представленная на рис.9. Выполнение данного действия необходимо для предварительного сканирования пространства, а затем наложения проецируемой сетки.

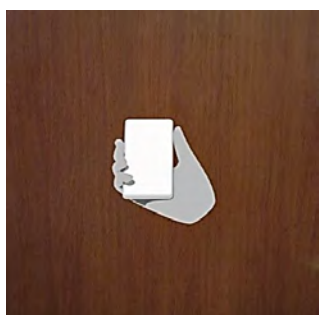


Рисунок 9 – Запуск приложения

После передачи камерой текущего кадра в обработку на экране отображаются «опорные» точки (рис.10), которые визуализируются относительно текущего положения камеры в реальном мире.



Рисунок 10 – Отображение «опорных» точек

При любом перемещении устройства (например, на сантиметры или метры) сетка из особых точек будет перемещаться и отображаться в зависимости от считываемой поверхности. Если навести камеру устройства в угол комнаты, то сетка будет визуализироваться не полностью, а только некоторые «опорные точки», на которые в данный момент времени можно наложить модель ДР.

На каждом устройстве выполнялись одинаковые действия по отношению к

наложенному объекту (загружается из базы приложения). Первой тестируемой функцией было масштабирование 3D-модели (рис.11 а, б). После проверки выполнялось вращение данного объекта вокруг своей оси, как в приближенном варианте, так и в отдаленном.

Затем осуществлялось перемещение 3D-объекта дополненной реальности (рис.12 а, б) через экран устройства с помощью специального жеста (текущее положение устройства осталось без изменений).

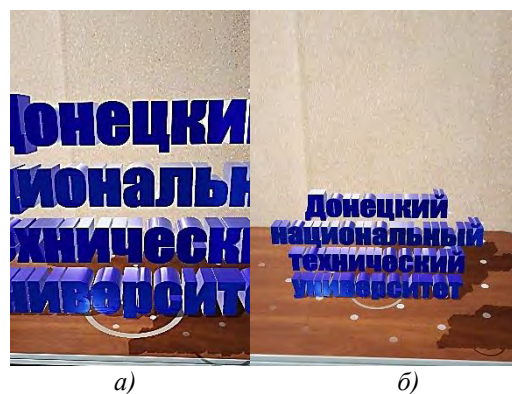


Рисунок 11 – Процесс масштабирования 3D-модели: а) уменьшение, б) увеличение

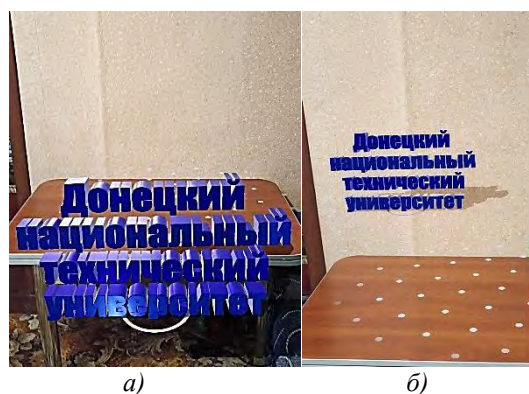


Рисунок 12 – Перемещение моделируемого объекта: а) приближение, б) отдаление

Следующая проверка заключалась в перемещении и вращении самого устройства: приближение к 3D-объекту, обзор модели с различных углов и ракурсов (рис.13 а-г). При максимальном приближении к трехмерной модели на экране устройства отображается качественная текстурированная модель с затенением. Смоделированная объемная модель в среде Blender реалистично отображает каждую деталь. Кроме этих функций можно размещать множество трехмерных моделей дополненной реальности по всей площади, которая будет сканироваться камерой устройства (рис.14 а, б). Одна 3D-модель может частично перекрываться иной, если проецируемая сетка «опорных» точек была размещена рядом с предыдущей.



Рисунок 13 – Процесс вращения и перемещения устройства: а) приближение камеры к объекту, б) отдаление камеры от объекта, в) обзор модели с правого края, г) обзор модели с обратной стороны

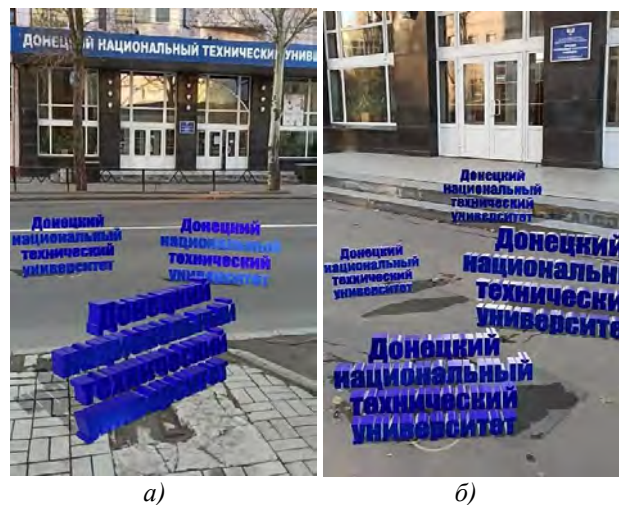


Рисунок 14 – Размещение множества 3D-моделей на экране: а) три модели поблизости, б) перекрытие модели

Проведенное тестирование показало, что разработанное ПО корректно выполняет все заявленные функции. Приложение без задержек и сбоев определяет сканируемую поверхность. Технология дополненной реальности исправно работает и визуализирует созданную модель на устройстве.

Выводы

Технология дополненной реальности, благодаря своим уникальным свойствам и возможностям, является отдельным направлением в сфере информационных технологий. Результаты данного исследования показывают высокую степень актуальности и востребованности данной технологии в самых разных сферах жизни.

Внедрение дополненной реальности в сферу образования значительно упростит преподнесение материала (как теоретическая информация, так и практические занятия) и увеличит скорость понимания материала

обучающимися. Разработанная и протестированная система является основой для дальнейших исследований, направленные на разработку программы в среде Android Studio, которая будет использовать пространственные методы для наложения виртуальных объектов. ПО будет осуществлять работу через пользовательский интерфейс и выполнять обмен данными с облачной базой данных.

Литература

1. Ткаченко, О. Н. Компьютерная визуализация как сфера реализации специалиста по информационным технологиям / О. Н. Ткаченко // Россия молодая: передовые технологии - в промышленность. – Омск, 2015. – № 3. – С. 108–111.
2. Ваганова, О. И Интерактивные средства обучения как эффективный инструмент образовательной деятельности / О. И. Ваганова, Д. А. Лошкарева // Балтийский гуманитарный журнал, 2020. – № 3(32). – Т. 2. – С. 135–139.

3. Галкин, Д. В. Эволюция пользовательских интерфейсов: от терминала к дополненной реальности / Д. В. Галкин, В. А. Сербин // Информатика. – Томск, 2013. – Вып.7. – С. 35–49.
4. Roitman, L. A Comparative Analysis of Augmented Reality Technologies and their Marketability in the Consumer Electronics Segment / L. Roitman, J. Shrager, T. Winograd // Journal of Biosensors & Bioelectronics, 2017. – Vol. 8. – 19 p.
5. Крахмаль, М. В. Анализ технологий для создания дополненной реальности / М. В. Крахмаль // Информатика и кибернетика: науч. журн. – Донецк : ДонНТУ, 2020. – №4 (22). – С.12–20.
6. Demidova, L. Augmented Reality and ARToolkit for Android: the First Steps / L. Demidova // SHS Web of Conferences, 2016. – Vol.29. – 4 p.
7. Обзор AR-библиотек для создания приложений с дополненной реальностью // Azoft. – URL: <https://www.azoft.ru/blog/biblioteki-dopolnenoj-realnosti-dlya-ar-prilozhenij/> (дата обращения: 21.10.2021).
8. Milsap, G. Advanced Rendering for Augmented Reality on Mobile Devices / G. Milsap, E. Bourland // 2011. – 6 p.
9. 2022 Trends to Watch: AR and VR // Omdia. – URL: <https://omdia.tech.informa.com/OM021776/2022-Trends-to-Watch-AR-and-VR> (дата обращения: 27.10.2021).
10. Кравцов, А. А. Совершенствование пользовательского интерфейса визуализации трехмерных объектов при помощи технологии дополненной реальности / А. А. Кравцов, В. И. Лойко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №100(06). – 13 с.
11. Bimber, O. Spatial Augmented Reality Merging Real and Virtual Worlds / O. Bimber, R. Raskar // A K Peters: CRC Press, 2005. – 392 p.
12. Крахмаль, М. В. Research of edge detection methods for objects in images / М. В. Крахмаль, Л. В. Соснина // Young scientists' researches and Achievements in science: материалы науч.-практ. конф. для молодых ученых, 15 апр. 2021, г. Донецк. – Донецк : ДонНТУ, 2021. – С. 106–113.
13. Bay, H. Speeded-Up Robust Features (SURF) / H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars, L. V. Gool // Computer Vision and Understanding, 2020. – Vol.110, Issue 3. – P. 346–359.

Аноприенко А. Я., Крахмаль М. В. Моделирование и визуализация трехмерной модели с применением технологии дополненной реальности. В статье рассматриваются современные системы и средства для разработки технологии дополненной реальности. Проанализированы библиотеки компьютерного зрения, которые наиболее подходят для создания AR-приложений в зависимости от их целей и задач. Приведена общая структура создания дополненной реальности на базе безмаркерных технологий, показана математическая модель детектора обнаружения особых точек. Реализована программа в среде разработки Android Studio, создана трехмерная модель в среде Blender. Произведено экспериментальное исследование приложения. Выполнен анализ полученных результатов по работоспособности программы. Поставлены задачи для дальнейшего исследования.

Ключевые слова: дополненная реальность, библиотеки компьютерного зрения, трехмерное моделирование, визуализация, Android Studio, Blender.

Anoprienko A., Krakhmal M. Modeling and visualization of a three-dimensional model using augmented reality technology. Modern systems and tools for the development of augmented reality technology are discusses in the article. The libraries of computer vision, which are most suitable for creating AR-applications, depending on their goals and objectives are analyzed. The general structure of creation of augmented reality based on markerless technologies is presented, a mathematical model of the detector for detecting special points is shown. The program in the Android Studio development environment is implemented, a three-dimensional model in the Blender environment is created. An experimental study of the application has been performed. The analysis of the results received has been completed. Tasks for further research are set.

Keywords: augmented reality, computer vision libraries, three-dimensional modeling, visualization, Android Studio, Blender.

Статья поступила в редакцию 19.11.2021
Рекомендована к публикации профессором Мальчевой Р. В.