

Метод оценки корректности освещения виртуальных объектов в системах смешанной реальности

В.С. Антонов¹, М.И. Сорокин¹, Д.Д. Жданов¹

¹ Университет ИТМО, Кронверкский проспект, дом. 49, литер А, Санкт-Петербург, 197101, Россия

Аннотация

Работа посвящена исследованию воздействия виртуальных объектов в системах виртуальной, дополненной и смешанной реальностей на качество зрительного восприятия человека. Описываются особенности работы систем виртуальной, дополненной и смешанной реальностей, принципы формирования изображения виртуального и реального миров и проблемы их совмещения. Для систем смешанной реальности описываются основные принципы построения систем, их специфика и принципы формирования изображения реального мира. Рассматриваются специфические причины формирования конфликта зрительного восприятия в системах смешанной реальности. Выделено три основные причины конфликта, которые можно побороть в современных системах смешанной реальности: положение и тип источника света; корректное формирование теней от виртуальных источников на изображении объектов реального мира; и интенсивность излучения, включая диаграмму излучения. Предложена методика оценки корректности формирования освещения виртуальных объектов в системе смешанной реальности и влияния ее на качество зрительного восприятия. Для оценки предложенной методики разработан ряд тестовых сцен с корректным и некорректным освещением виртуальных объектов. Оценка качества зрительного восприятия проводилась на тестовой группе из 24 человек, имеющих опыт работы в системах компьютерной графики. Качество оценивалось по шкале хорошо/плохо. По результатам экспертной оценки сформировано заключение, определяющее требование для построения системы освещения виртуальных объектов в системах смешанной реальности.

Ключевые слова

Виртуальная реальность, дополненная реальность, смешанная реальность, визуальное восприятие, зрительный дискомфорт, виртуальных объект, искусственное освещение.

A method for evaluating the correctness of the illumination of virtual objects in mixed reality systems

V.S. Antonov¹, M.I. Sorokin¹, D.D. Zhdanov¹

¹ ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg., St. Petersburg, 197101, Russia

Abstract

The work is devoted to the study of the impact of virtual objects in virtual, augmented and mixed reality systems on the quality of human visual perception. The features of the operation of virtual, augmented and mixed reality systems, the principles of image formation of the virtual and real worlds and the problems of their combination are described. For mixed reality systems, the basic principles of building systems, their specifics and the principles of forming an image of the real world are described. The specific reasons for the formation of the conflict of visual perception in mixed reality systems are considered. There are three main causes of

ГрафиКон 2021: 31-я Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению, 27-30 сентября 2021 г., Нижний Новгород, Россия

EMAIL: jzolkant@yandex.ru (В.С. Антонов); vergotten@gmail.com (М.И. Сорокин); ddzhdanov@mail.ru (Д.Д. Жданов)

ORCID: 0000-0002-5130-7366 (В.С. Антонов); 0000-0001-9093-1690 (М.И. Сорокин); 0000-0001-7346-8155 (Д.Д. Жданов)

conflict that can be overcome in modern mixed reality systems: the position and type of the light source; the correct formation of shadows from virtual sources on the image of real-world objects; and the intensity of radiation, including the radiation diagram. A method for evaluating the correctness of the formation of illumination of virtual objects in a mixed reality system and its influence on the quality of visual perception is proposed. To evaluate the proposed methodology, a number of test scenes with correct and incorrect lighting of virtual objects have been developed. The assessment of the quality of visual perception was carried out on a test group of 24 people with experience in computer graphics systems. The quality was evaluated on a good/bad scale. Based on the results of the expert assessment, a conclusion was formed that defines the requirement for building a lighting system for virtual objects in mixed reality systems.

Keywords

Virtual reality, augmented reality, mixed reality, visual perception, visual discomfort, virtual object, artificial lighting.

1. Введение

В настоящее время виртуальная (Virtual Reality / VR), дополненная (Augmented Reality / AR) и смешанная реальность (Mixed Reality / MR / MxR) представляют собой достаточно перспективную и развивающуюся индустрию. Активный рост начался лишь в 2012 году, когда были созданы очки виртуальной реальности Oculus Rift.

Поскольку сегодня не существует единого мнения трактования базовых понятий данных реальностей, то данная работа будет придерживаться определений, утвержденных организацией Consumer Technology Association (CTA) в американском национальном стандарте CTA-2069-A (ноябрь, 2020 г.) [2]. Согласно этому документу в индустрии VR/AR/MxR приняты такие термины, как:

- Виртуальная реальность — это среда, создающая мир полностью из искусственных компонентов для имитации воздействия ощущения в ином пространстве настоящими органами чувств. Например, через зрение или слух.
- Дополненная реальность — это среда, которая создается путём наложения виртуальных объектов на реальный мир в реальном времени.
- Смешанная реальность — это окружение, создаваемое сочетанием физического и цифрового миров. Иными словами, это одна из технологий, которая решает вопросы преподнесения виртуальных объектов в реальный мир и обеспечения возможности взаимодействия с ними. Тем самым, смешанная реальность занимается интеграцией вопросов виртуальной реальности в дополненную и наоборот.

Такой характер пространственной свободы в смешанной реальности может приносить ряд преимуществ в различных областях: не только в развлекательных или социальных, но и в образовательных, в развитии медицины, в сфере культуры, но в первую очередь — в науке, исследованиях, моделировании и прототипировании.

Попытки трактования терминов VR/AR/MxR индустрии ведутся и на научном уровне. Например, исследования по данному вопросу можно найти в таких работах, как у В.П. Котенко [3], В.И. Гнатюк [4], В.Г. Горохова [5], Г.Н. Волкова [6], М. Круглова [7], А.Б. Григорьева [8] и др.

Дополненная и виртуальная реальности имеют одну общую черту: они обе обладают замечательной способностью изменять наше восприятие мира. Чем они различаются, так это восприятием нашего присутствия. Виртуальная реальность способна транспонировать пользователя. Другими словами, перенести в другое место. Через темные козырьки или защитные очки VR блокирует комнату и помещает нас в другое место. Oculus Rift, Samsung Gear VR, Google Cardboard, это те немногие имена, которые разрабатывают устройства и алгоритмы для погружения в VR.

Надев гарнитуру виртуальной реальности, люди слепы по отношению к настоящему миру, но при этом, визуально они находятся в совершенно другом месте, при желании даже могут оказаться на вершине горы Килиманджаро или на дне Марианской впадины. Погружение

происходит крайне реалистично: некоторые пользователи сообщают о тех же ощущениях в виртуальной реальности, которые они испытывают, поднимаясь по лестнице или катаясь на американских горках.

Что же касается дополненной реальности, то, за основу она берет нашу текущую реальность и добавляет что-то новое к ней. Она не перемещает в другое место, она лишь расширяет наше текущее восприятие.

Как видно ниже на рисунке 1, Samsung активно разрабатывают свои устройства и уже представили свои очки AR, которые подключаются к телефонам или ПК через WIFI и заменяют экран на этих устройствах. Apple также не остаются в стороне и активно инвестируют в системы дополненной реальности, возможно и от них в скором будущем появятся новые телефоны с новыми возможностями и функциями дополненной реальности.



Рисунок 1: Очки дополненной реальности от Samsung

Развитие технологий создания реальностей дало несколько форм смешанной реальности. Одним из видов MxR является возможность не только накладывать объекты на реальный образ мира, но и взаимодействовать с ними. Это своего рода продвинутый тип AR. Другая интересная форма MxR берет свое начало в полном погружении в виртуальную среду, где реальный мир заблокирован. Сначала можно подумать, что это обычная виртуальная реальность. Но в данном случае наблюдаемая виртуальная среда привязана к реальной среде и как бы перекрывает её.

Смешанная реальность «сплавляет» наложенные объекты дополненной реальности в реальном мире с погружением в цифровой виртуальный мир, позволяющий нам делать вещи, невозможные строго в AR или VR цифровой среде. Ультрасовременный сдвиг парадигмы в MR стал возможным благодаря Microsoft HoloLens — гарнитуре, которая, как следует из названия, позволяет ее пользователям накладывать изображения виртуальных миров поверх обычной привычной нам реальности (гарнитура выглядит как солнцезащитные очки Oakley space-age). По сути, это создает ощущение присутствия в виртуальной среде. На рисунке 2 показаны эти очки смешанной реальности.

Этот тип пересечения реального и виртуального дает совершенно новое пространство, внутри которого есть возможность взаимодействия. Происходит открытие для себя все более новых возможностей по мере развития технологий.



Рисунок 2: Очки смешанной реальности Microsoft HoloLens

2. Различие технологи и области применения

Основные характеристики, наглядно отражающие различия VR, AR, MR-технологий, представлены на рисунке 3.




Characteristics	Virtual Reality	Mixed Reality	Augmented Reality
Augments the real environment with useful information	✗	✓	✓
Combines virtual elements with the real environment	✗	✓	✗
Transports the user to a virtual environment	✓	✓	✗
Completely replaces the real world	✓	✗	✗
Visual example			

Рисунок 3: Базовые характеристики технологий виртуальной, дополненной и смешанной реальности

Виртуальная реальность у многих людей, в первую очередь, ассоциируется с играми. Скорее всего, это происходит потому, что игровая индустрия первой приняла данную технологию и многие из геймеров подключая, например, шлем PlayStation VR, могут получить полный объем впечатлений от виртуальной реальности. Но в современном мире это далеко не единственная сфера, где успешно применяется технология виртуальной реальности. Список ее достаточно обширен и включает:

- **Образование.** Благодаря VR-технологии учебный контент представлен в более увлекательном, и легком для восприятия виде. Он успешно используется не только для обучения школьников и студентов, но и в различных компаниях, для повышения квалификации своих сотрудников.
- **Торговля недвижимостью.** Использование виртуальной реальности дает возможность потенциальным покупателям лучше увидеть все подробности объекта, еще до личного посещения. Виртуальная реальность открыла новые возможности для проведения захватывающих маркетинговых кампаний и привлечения к своим продуктам максимального количества потенциальных пользователей.
- **Дизайн.** Интерьерные и ландшафтные решения обрели новое зрительное восприятие с появлением виртуальной реальности, давая возможность на новом уровне оценить замысел дизайнера.

- **Здравоохранение.** Являясь иммерсивной технологией, виртуальная реальность открывает новые возможности изучения анатомии человека и выбора наиболее эффективных методов лечения.
- **Туризм.** Виртуальные туры стали неотъемлемой частью индустрии туризма по привлечению клиентов, давая им новый уровень восприятия предстоящих путешествий.

Сфера применения AR также очень многообразна и охватывает широкий сегмент человеческой деятельности. Использование дополненной реальности — это реально работающая технология, предлагающая инновационные решения не только для отдельных людей, но и для различных предприятий.

Среди областей применения наиболее распространены:

- **Реклама.** Благодаря интерактивной и привлекательной AR-рекламе маркетологи получили эффективный инструмент воздействия на пользовательскую аудиторию.
- **Производство.** В сфере промышленной индустрии дополненная реальность позволяет повысить производительность, за счет снижения влияния человеческого фактора и дать конкурентное преимущество за счет повышения эффективности работы.
- **Розничная торговля.** Онлайн покупки совершают миллионы людей в нашем мире, что позволяет экономить время и деньги. Но не всегда выбор товара совпадает с желаемым результатом. AR-приложения дают возможность наглядно видеть приобретаемый через интернет продукт и избежать проблем с правильностью выбора.
- **Навигация.** Использование навигационных приложений успели оценить миллионы людей во всем мире. Они позволяют лучше ориентироваться в пространстве, указывая понятные направления к нужным объектам.
- **Сфера технического обслуживания и ремонта.** AR-приложения дают возможность людям, не имеющим профессиональных навыков, выполнить мелкий ремонт при отсутствии поблизости соответствующего сервиса услуг.

До сих пор многие сталкивались со смешанной реальностью только в фильмах или научно-фантастических романах, где герои использовали сложные устройства для «голографической» коммуникации. Теперь технология смешанной реальности приблизила человеческую цивилизацию к еще недавно казавшемуся невероятным будущему. Существует несколько отраслей, использование MR в которых имеет огромный потенциал:

- **Сфера коммуникаций.** Новый вид общения, который открывает MR технология, может помочь более эффективному сотрудничеству между людьми, когда, надев шлем, можно свободно общаться между собой, находясь в пределах реального мира.
- **Образовательные программы.** Смешанная реальность, наравне с VR и AR, может успешно использоваться в сфере образования, давая возможность студентам видеть захватывающие голограммы, интегрированные в реальный мир. Это дает новый опыт в обучении и позволяет лучше понять изучаемые темы. Это эффективно, как для школьного образования, так и для обучения студентов.
- **Производственная сфера.** Технология смешанной реальности способна упростить производственные процессы, предоставив работникам на определенном этапе эффективную помощь. Голографические инструкции позволят снизить риск человеческого фактора, и исключить ошибки, связанные с ним. Это существенно улучшает качество производства, особенно в сфере технического обслуживания или выполнения ремонтных работ в отраслях, требующих большой точности и опыта.

3. Основные проблемы систем смешанной реальности

Смешанная реальность позволяет визуализировать проект в реальной среде, например, показать 3D-модель будущей архитектурной постройки на том месте, где в будущем она будет сооружена. Существуют различные технологии отображения смешанной реальности. Они делятся на три типа:

- Прозрачный дисплей (optical see through display) — это электронный дисплей, который позволяет пользователю видеть то, что отображается на стеклянном экране, но при этом видеть через него;
- Видеодисплей (video see through display) — это электронный дисплей, который позволяет пользователю увидеть реальность через видеокамеру;
- Виртуальный ретинальный монитор (virtual retinal display) — технология устройств вывода, проецирующая изображение непосредственно на сетчатку глаза. В результате пользователь видит изображение, «висящее» в воздухе перед ним [9].

В основном используются первые два вида систем смешанной реальности, т.е. оптически-прозрачные системы смешанной реальности, аналогичные Microsoft HoloLens и видео-прозрачной системы смешанной реальности, использующие оптическую систему устройства виртуальной реальности и две дополнительные камеры для получения изображения реального мира.

Любая технология имеет свои недостатки. Случай VR/AR/MxR — не исключение. Так, например, зафиксировано, что длительные сеансы виртуальной реальности могут вызывать головокружения, тошноту или головные боли. Причиной тому может служить трансляция изображения с некоторой задержкой. Пока мозг и зрительный аппарат пытаются синхронизироваться между реальными и виртуальными мирами, они перенапрягаются. Иными словами, происходит укачивание, равносильное морской болезни.

Важнейшим, до сих пор, пороком входа в среду VR/AR/MxR служит цена всех устройств, поскольку только мощное оборудование способно решать проблемы задержек при воспроизведении.

В работе [10] проводились исследования конфликтов визуального восприятия, проведенного с использованием рендеринга методом обратных фотонных карт, где были выделены и проиллюстрированы основные источники дискомфорта, которые могут возникнуть при использовании оптически-прозрачной и видео-прозрачной систем смешанной реальности.

В первую очередь рождается необходимость создания естественного освещения виртуальных объектов источниками света реального мира.

Во-вторых, затенение и отражение объектов виртуального и реального мира.

В-третьих, выравнивание уровней яркости виртуального и реального окружения.

Данные проблемы дискомфорта актуальны для обоих типов устройств смешанной реальности. С помощью программных средств реалистичной визуализации есть возможность производить исследования на виртуальном прототипе. Иными словами, можно строить все каналы зрительного восприятия от всех изображений с учетом оптики. Это позволяет не использовать дорогостоящее оборудование, а оценивать предлагаемые решения на виртуальных прототипах.

Для решения поставленных проблем дискомфорта и формирования естественных условий освещения для виртуальных объектов, требуется восстановление условий освещения реального мира, что включает в себя восстановление положений источников света, их интенсивности, направленности и диаграммы излучения.

4. Обзор методов решения проблем смешанной реальности

Восстановление оптических источников освещения — это нетривиальная задача. Существует ряд работ, направленных на построение корректного освещения и восстановлением оптических параметров сцены. Среди таких работ встречается те, которые обрабатывают все изображение попиксельно, а также анализируя соседние пиксели и основываясь на их яркости и интенсивности принимают решения и делают выводы о принадлежности данного участка к какому-либо конкретному классу.

Работа [11] представляет собой анализ освещения на открытом воздухе с использованием полносверточной сети. А вот работа [12] проводит анализ панорамных изображений окружающей среды, а затем под такие условия среды проводит встраивание изображения.

Ввиду того, что фотореалистичные изображения визуализируются через стохастическую трассировку лучей формируется значительный шум. Современные алгоритмы фильтрации шума

не всегда решают проблему полностью. Лучше всего подошёл способ модификации самого процесса стохастической трассировки лучей [13].

Случаев адаптации конкретных алгоритмов под определённые задачи освещения достаточно много. Это можно видеть, например, в работах по восстановлению различного освещения для систем дополненной реальности [14], [15].

Работа [16] демонстрирует формирование теней у объектов дополненной реальности. Для создания условий освещения и формирования теней система моделирует купол с различными параметрами источников света. Каждый параметр выявляется из окружающей среды за источником света. Как результат, можно формировать непосредственное влияние изменений условий освещения на формируемые тени от виртуальных объектов.

Статья [17] показывает метод отбора усеченного вида, позволяющих избежать ситуации отрисовки ненужных теней. След за ней можно видеть применение языка затенения nVIDIA Cg [18].

Ключевым требованием добавления объектов в сцену служит корректность их освещения для естественности при восприятии. Поэтому добавляемые виртуальные объекты должны либо соответствовать условиям реального мира, либо следовать чётким правилам виртуального.

Недостатком выше указанных работ является тот факт, что они работают при одном источнике света без восстановления координат существующих.

Так, например, существуют различные работы по восстановлению положения источников света через обучение нейронных сетей [19], [20]. В

этом случае происходит сегментация всей сцены с целью работы с координатами относительно заданной измерительной системы.

Имеются исследования по восстановлению условий освещения реальных объектов. Работа [21] демонстрирует метод оценки освещенности. В ней происходит обучение сетей через сформированные изображения, анализ реальных изображений, а затем (для точности) объединение результатов оценки освещенности от разных результатов нейронной сети. В итоге наблюдаются достаточно точные оценки от анализа изображений реального мира.

Другая сторона вопроса нашла отражение после достижений в области технологий зондирования: снизились затраты и усилия на сканирование трёхмерных объектов, однако появились запросы на фотометрическое конструирование, в частности определения материала и параметров освещения. В одной из работ проблема визуализации решается с помощью итеративной оптимизации наименьших квадратов, восстанавливающих как падающее освещение, так и материалы с диффузными и зеркальными свойствами.

Другими словами, здесь также сначала сегментируется восстановленная геометрия сцены на поверхности с однородными свойствами материала, а затем вычисляется передача излучения на этих сегментах в форме сферических гармоник [22].

От смешения виртуальных и реальных миров, помимо восстановления освещения по всей сцене, до сих пор остаётся проблема добавления виртуальных объектов, которые не имеют достаточной информации о сцене.

Большинство информации, воспринимаемое человеком (порядка 80%), поступает через зрение. Из этого следует, что важной задачей остаётся синтез естественного и корректного изображения виртуальных объектов на сетчатке глаза человека.

Неправильное освещение объектов может вызывать дискомфорт в восприятии. В результате этого значительно снижается время нахождения человека (оператора) в смешанной реальности, что, в свою очередь, ведёт к дальнейшему ограничению практического использования систем смешанной реальности. В данной работе определяются и формулируются основные критерии и факторы, которые позволят снизить утомляемость оператора при добавлении виртуальных объектов в системах смешанной реальности.

5. Метод оценки корректности освещения на тестовых сценах

Первостепенной задачей в построении метода оценки корректности освещения виртуальных объектов в системах смешанной реальности является формирование некоторого набора сцен с

разными заданными параметрами освещения. Это позволит провести синтез (визуализацию) изображений с естественным и некорректным освещением ряда виртуальных объектов.

Для формирования тестовых сцен использовался Lumiscept — гибридное программное обеспечение, позволяющее выполнять численное моделирование распространения света в установленных сценах. Функциональные возможности предназначены как для оптического моделирования, так и для компьютерных изображений, что позволяет пользователям не только анализировать распространение света, но и генерировать фотореалистичные изображения [23].

В качестве тестовых сцен были выбраны интерьерные сцены. В этой ситуации как нельзя кстати приходится обилие повседневных объектов с различными (различаемыми) формами и свойствами поверхностей.

В каждой сцене изначальным типом источником света был выбран точечный, поскольку он является достаточно простым в расчётах и в виртуальной модели будут использоваться, как правило, простые точечные источники с равноинтенсивной или равнояркой диаграммой излучения.

Для создания методики оценки корректности освещения виртуальных объектов было выбрано проведение тестирования на группе из 24 человек, имеющих опыт работы в системах компьютерной графики. Сформированные результаты экспертной оценки позволили построить шкалу для анализа хорошо/плохо с точки зрения естественности восприятия, а также сформулировать основные факторы, влияющие на зрительное восприятие при добавлении виртуальных объектов в системах смешанной реальности.

Проведённый опрос состоял из трёх рубрик, каждая из трёх вопросов и была посвящена отдельным темам:

1. Положение источника света
2. Тени
3. Тип источника света и испускаемая мощность

Каждый вопрос предоставлял 2 различных изображения с четырьмя вариантами ответов, результаты опроса представлены в виде цветовых диаграмм:

- 1) 1 вариант (синий цвет – ●)
- 2) 2 вариант (красный цвет – ●)
- 3) Оба варианта комфортны (желтый цвет – ●)
- 4) Оба варианта некомфортны (зеленый цвет – ●)

Требовалось ответить, вызывают ли какие-то из изображений проблемы с восприятием виртуального объекта в сцене, кажутся ли они достаточно естественными. Никакой более информации не предоставлялось.

Опрашиваемые не знали, на каких изображениях проводилось физически корректное освещение, а на каких добавлялись инородные объекты или иные от сцены параметры освещения. Ниже приведены примеры сцен и результаты оценок.

Левое изображение на рисунке 4 содержало инородный объект, при котором источник света испускался из камеры. Правое же изображение на рисунке 4 имело полностью корректное освещение.

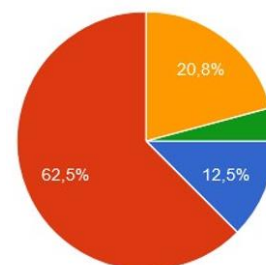
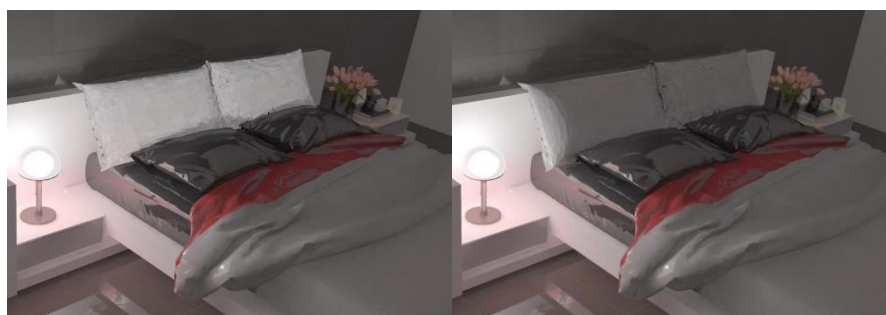


Рисунок 4: Материал вопроса 1 и результаты опроса

Во втором вопросе оба объекта были инородны. На левом изображении источником света служила камера. На правом изображении — источник над объектом. Изображения представлены на рисунке 5.

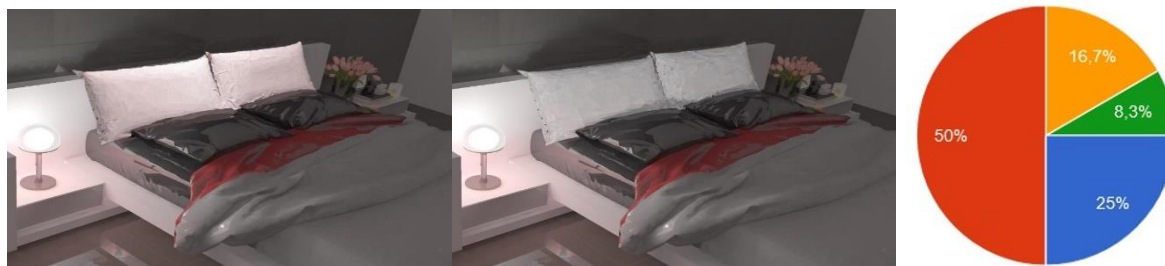


Рисунок 5: Материал вопроса 2 и результаты опроса

Третий вопрос: инородный объект с освещением находился над объектом (практически был виден только контур) на левом изображении и на правом изображении освещение отсутствовало — объект был покрыт стандартной текстурой. Изображения представлены на рисунке 6.



Рисунок 6: Материал вопроса 3 и результаты опроса

В четвёртом вопросе оба изображения были инородными, не имели теней и находились над поверхностью. На левом изображении рисунка 7 объект задевал три поверхности: пол, ближайшую стену и задний объект. На правом изображении рисунка 7 объект задевал только стену.

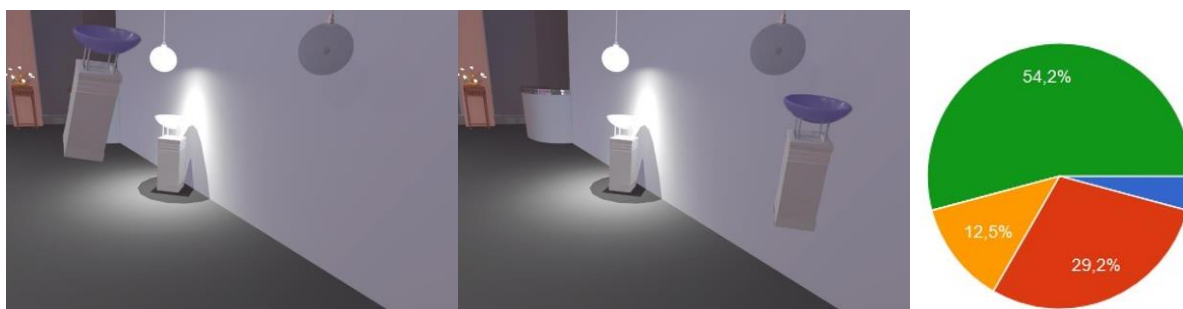


Рисунок 7: Материал вопроса 4 и результаты опроса

В пятом случае оба инородных объекта содержали равномерное корректное освещение по поверхности, но оба друг у друга имели чужие тени. Левое изображение на рисунке 8 с малой тенью, правое на рисунке 8 с большой.



Рисунок 8: Материал вопроса 5 и результаты опроса

В сцене шестого вопроса источник света был сверху у стены, объект визуально над источником, но фактически немного ближе к камере. На левом изображении рисунка 9 демонстрировалась некорректная тень от объекта под источником света. На правом изображении рисунка 9 — физически корректная, но небольшая в углу вдали.

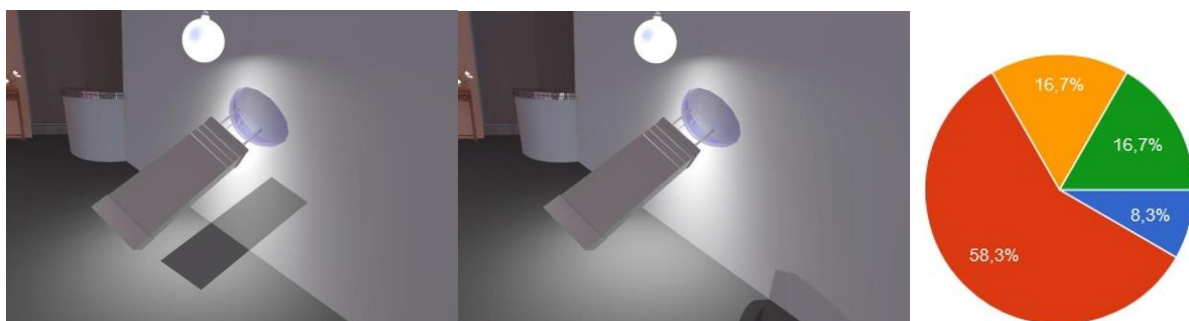


Рисунок 9: Материал вопроса 6 и результаты опроса

Оба варианта седьмого вопроса содержали физически корректное освещение. На левом изображении рисунка 10 использовался протяженный источник света, на правом изображении рисунка 10 — точечный.



Рисунок 10: Материал вопроса 7 и результаты опроса

Восьмой вопрос: общий пересвет сцены со слабым освещением кресла представлен на левом изображении рисунка 11 и пересвет кресла со слабой освещенностью сцены – на правом изображении рисунка 11.

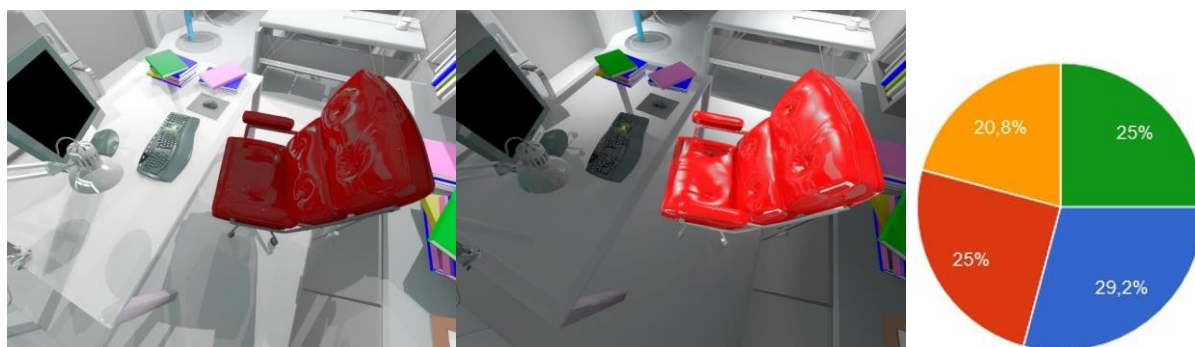


Рисунок 11: Материал вопроса 8 и результаты опроса

Результаты первой группы тестов явно показывают, что направление источника света для освещения объекта смешанной реальности играет значительную роль.

В общем случае опрошенные хорошо отличали физически корректное освещение от некорректного. Однако не было отмечено особого дискомфорта от восприятия инородных объектов, если их освещение было равномерным, находился ли источник света над объектом или был в центре камеры.

Вторая группа тестов определила, что опрошенные испытывают серьёзный дискомфорт от восприятия объекта, который не имеет тени и нарушает условия перспективы. Люди достаточно хорошо видят разницу между корректными и некорректными тенями.

Наличие любой тени от объекта значительно упрощает восприятие, однако теням желательно быть мягкими и небольшими, чтобы не забирали на себя большее внимание, чем на сам объект.

Третья же рубрика вывела иную сторону причин дискомфорта: разительный контраст от типов источника света в сцене и при освещении виртуального объекта. Особенность наблюдается в том, что даже если сама сцена содержит недостаточную или избыточную освещённость, самим объектам желательно учитывать это и иметь схожий тон, чтобы сильно не выделяться на общем фоне изображения.

6. Заключение

В результате работы на базе программного комплекса Lumisert были сформированы и настроены тестовые интерьерные сцены. Были визуализированы различные изображения как с естественным освещением, так и некорректным для ряда объектов в сцене. Были выявлены проблемы и особенности построения таких сцен.

Была создана система тестов, позволяющая построить методику оценки корректности освещения виртуальных объектов в системе смешанной реальности. Сформированные результаты экспертной оценки позволили создать метрики для анализа хорошо/плохо с точки зрения естественности восприятия.

Итоговый результат заключается в формулировании основных факторов, влияющих на зрительное восприятие при добавлении виртуальных объектов в системах смешанной реальности.

Установлено, что в дальнейшем очень важно продолжить улучшать качество восстановления и сегментации геометрии в сцене, а также поиск источников света. В первую очередь это касается определения координат источника света в пространстве, а затем методики формирования корректных теней.

7. Литература

- [1] T. Trout, Collaborative mixed reality (MxR) and networked decision making, Next-Generation Analyst VI. Vol. 10653. International Society for Optics and Photonics, 2018.
- [2] СТА-2069 Definitions and Characteristics of Augmented and Virtual Reality Technologies, Consumer Technology Association Standard, May 2018.

- [3] В.П.Котенко, Техническая реальность: методология анализа II Техническая реальность в XXI веке, Ценологические исследования - Центр системных исследований, вып. 8, 1999.
- [4] В.И. Гнатюк, Теория и методология рангового анализа техноценозов, Калининград: БНЦ РАЕН-КВИ ФПС РФ, 2000.
- [5] В.Г. Горохов, В.М. Розин, Введение в философию техники, М.: ИНФРА-М, 1998.
- [6] Г.Н. Волков, Истоки и горизонты прогресса. Социологические проблемы развития науки и техники, Политиздат, 1976.
- [7] М. Круглов, Основные принципы систем Виртуальной Реальности, Компьютерная газета, Минск: 1999. – № 23 (213) от 15 июня.
- [8] А.Б. Григорьев, Методы и алгоритмы компьютерной графики для моделирования природных явлений и объектов в системах виртуальной реальности, Автореф. дисс. канд. техн. наук. – СПб: 2000.
- [9] M. Livingston, A. Zhuming, and J.W. Decker, Human Factors for Military Applications of Head-Worn Augmented Reality Displays, International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics. Springer, Cham, 2018.
- [10] J. Kronander, F. Banterle, A. Gardner, E. Miandji, J. Unger, Photorealistic rendering of mixed reality scenes, Computer Graphics Forum, Volume 34, Number 2, page 643--665. May 2015.
- [11] Y. Hold-Geoffroy, K. Sunkavalli, S. Hadap, E. Gambaretto, and J.F. Lalonde, Deep outdoor illumination estimation, In Proceedings of the International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2017.
- [12] J.F. Lalonde, A.A. Efros, and S.G. Narasimhan, Estimating the natural illumination conditions from a single outdoor image, International Journal of Computer Vision, 2012.
- [13] С.В. Ершов, Д.Д. Жданов, А.Г. Волобой, Модификация стохастической трассировки лучей для снижения шума на диффузных поверхностях, Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша, 2018.
- [14] J.M. Frahm, K. Koeser, D. Grest, R. Koch, Markerless Augmented Reality with Light Source Estimation for Direct Illumination, European Conference on Visual Media Production, 2005.
- [15] S. Heymann, A. Smolic, K. Muller, B. Froehlich, Illumination reconstruction from real-time video for interactive augmented reality, International Workshop on Image Analysis for Multimedia Interactive Services, 2005.
- [16] P. Supan, I. Stuppacher, and M. Haller, Image Based Shadowing in Real-Time Augmented Reality, 2006.
- [17] C. Everitt, and M.J. Kilgard, Practical and Robust Stenciled Shadow Volumes Hardware-Accelerated Rendering, arXiv preprint, 2003.
- [18] D. Kirk, [CG Toolkit, User's Manual], Nvidia Corporation, Santa Clara, CA, 2002.
- [19] M.I. Sorokin, D.D. Zhdanov, A.D. Zhdanov, Restoration of Lighting Parameters in Mixed Reality Systems Using Convolutional Neural Network Technology Based on RGBD Images, Programming and Computer Software, vol. 46, 2020.
- [20] F. Visin, M. Ciccone, A. Romero, K. Kastner, K. Cho, Y. Bengio, M. Matteucci, A. Courville; ReSeg: A Recurrent Neural Network-Based Model for Semantic Segmentation, The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) Workshops, 2016.
- [21] D. Mandl, K.M. Yi, P. Mohr, P.N. Roth, P. Fua, V. Lepetit, D. Schmalstieg, and D. Kalkofen, Learning lightprobes for mixed reality illumination, International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2017.
- [22] T. Richter-Trummer, Instant mixed reality lighting from casual scanning, 2016 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2016.
- [23] Lumicept online documentation, 2021. URL: <https://integra.jp/en/products/lumicept>.