

## РЕФЕРАТ

Объем РПЗ составляет 21 страницу, содержит 0 иллюстрации, 0 таблиц, 1 приложение и 12 использованных источников.

*Ключевые слова:* дополненная реальность, компьютерное зрение, компьютерная графика, наложение теней, изображение высокого динамического диапазона, RGBD-изображение, восстановление параметров освещения, глубина точек кадра, карта глубины кадра.

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>РЕФЕРАТ</b>	<b>5</b>
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ</b>	<b>7</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>8</b>
<b>1 Аналитический раздел</b>	<b>10</b>
1.1 Анализ предметной области . . . . .	10
1.2 Методы наложения теней на основе информации о глубине точек кадра . . . . .	14
1.3 Обзор существующих методов . . . . .	14
1.4 Формализация постановки задачи . . . . .	14
<b>2 Конструкторский раздел</b>	<b>15</b>
<b>3 Технологический раздел</b>	<b>16</b>
<b>4 Исследовательский раздел</b>	<b>17</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	<b>18</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b>	<b>20</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А</b>	<b>21</b>

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

1. ДР – дополненная реальность.
2. ИС – источник света.
3. HDR (high dynamic range или высокий динамический диапазон) – тип изображения, в котором каждый пиксель представлен числом с плавающей точкой.
4. RGBD (red, green, blue, depth или красный, зеленый, голубой, глубина) – тип изображения, в котором каждый пиксель хранит информацию о цвете и глубине.

## ВВЕДЕНИЕ

ДР является средством воздействия информационных технологий на окружающую среду [1]. Она позволяет совместить искусственно сгенерированное изображение с изображением реального мира с помощью различных датчиков, получающих информацию об окружающем мире, и специального ПО. Технология ДР предоставляет возможность накладывать элементы виртуальной информации поверх изображений объектов физического мира в реальном времени. Она используется во множестве сфер деятельности человека: медицина, построение анатомических моделей, образование, туризм и других [2].

Важными условиями реалистичного восприятия виртуальных объектов, вписанных в изображение реального мира, является моделирование свойств текстур и оптических свойств поверхности (отражение, пропускание, преломление света) и способности виртуальных объектов отбрасывать тени в соответствии с условиями освещения. Виртуальные объекты должны визуализироваться таким образом, чтобы поведение виртуальных теней, отбрасываемых виртуальными объектами, соответствовало поведению теней от реальных объектов и не вызывало у пользователя дискомфорта при наблюдении смешанного изображения [3].

Для моделирования свойств текстур и оптических свойств поверхности используются изображения высокого разрешения (текстуры), карты нормалей, карты рельефа, карты отражения и т. п. Однако даже при их использовании, если виртуальный объект не отбрасывает тень, это не решает проблему реалистичного восприятия виртуальных объектов, т. к. виртуальный объект будет выделяться на фоне окружения за счет отсутствия взаимодействия с окружающим светом, тем самым вызывать дискомфорт у пользователя. Таким образом, согласование систем освещения реального и виртуального миров является основополагающей [1].

В наложении теней участвуют 3 сущности: ИС, объект, отбрасывающий тень, и объект, на который отбрасывается тень. Соответственно, возможны комбинации:

- ИС может быть виртуальным или реальным;
- объект, отбрасывающий тень, может быть виртуальным или реальным;

- объект, на который отбрасывается тень, может быть виртуальным или реальным;

В данной работе рассматривается случай, при котором ИС является реальным, объект, отбрасывающий тень, является виртуальным и объект, на который отбрасывается тень, является реальным.

**Цель работы** – исследование методов наложения теней в ДР на основе информации о глубине точек кадра и разработка собственного метода наложения теней.

Для достижения поставленной цели нужно решить следующие задачи:

- провести анализ предметной области наложения теней;
- провести обзор существующих методов наложения теней в ДР на основе информации о глубине точек кадра и привести результаты сравнительного анализа;
- разработать и описать собственный метод наложения теней в ДР на основе информации о глубине точек кадра;
- разработать программное обеспечение, реализующее описанный метод, и выполнить его тестирование;
- провести исследование результатов разработанного метода при проецировании теней от виртуального объекта на различные поверхности;
- выполнить сравнение результатов работы реализованного метода с результатами, полученными с помощью существующих аналогов.

# 1 Аналитический раздел

## 1.1 Анализ предметной области

### Дополненная реальность и компьютерное зрение

*Дополненная реальность* – технология интеграции цифровой информации в виде изображений компьютерной графики, текста, видео, и другой информации и изображений объектов действительного (физического) мира в режиме реального времени [2].

*Компьютерное зрение* – теория и технология создания машин, которые могут производить обнаружение, слежение и классификацию объектов [4].

Технология ДР полагается на теорию компьютерного зрения, а точнее на анализ и обработку изображений. В области ДР алгоритмы компьютерного зрения используются для поиска в видеопотоке специальных маркеров или точек интереса. Алгоритмы компьютерного зрения позволяют выделять ключевые особенности на изображении (границы области, углы), производить поиск объектов в реальном времени и многое другое. После нахождения маркеров или точек интереса в видеопотоке и вычислении их местоположения, появляется возможность построения матрицы проекции и позиционирования виртуальных моделей. С помощью матриц проекции и позиционирования можно наложить виртуальный объект на видеопоток таким образом, что будет достигнут эффект присутствия [2].

### Данные об окружении

При наложении теней в качестве исходных данных используются HDR-изображения или RGBD-изображения [5; 6].

*HDR* – общее название технологий работы с изображениями, диапазон яркости которых превышает возможности стандартных технологий. *Динамический диапазон* – отношение между максимальным и минимальным значением физической величины: для фотографии это отношение между самой яркой и самой темной частями изображения. Фотографической широты современных камер и пленок не всегда достаточно для того, чтобы передать естественное освещение окружающего мира. Эта проблема решается путем увеличения динамического диапазона самих камер или комбинирования изображений,

снятых с разной экспозицией, в результате чего возникает единое изображение, содержащее все детали из всех исходных изображений, как самых тусклых, так и самых ярких. *HDR-изображение* – изображение с расширенным динамическим диапазоном. Информация о цвете каждого пикселя HDR-изображения хранится в виде числа с плавающей точкой, в отличие от цветовой модели RGB, где используется 3 байта для трех основных цветов: красный, зеленый, синий [7].

*RGBD-изображение* – изображение, в котором каждый его пиксель помимо информации о цвете хранит информацию и о глубине [8]. Существует несколько способов получения информации о глубине точек кадра:

- структурированный свет;
- стереокамера;
- время полета (также Time-of-Flight);
- лидар (также LIDAR или LiDAR);

## Структурированный свет

Данный способ полагается на проектор света, который проецирует шаблоны на реальные объекты. В качестве шаблонов могут быть точка, линия, полоса определенной толщины и регулярная сетка. Однако первые три шаблона требуют поворота проектора хотя бы по одной оси для сканирования всей области, поэтому обычно используют регулярную сетку, для которой этого не требуется [9].

Для проектора используется инфракрасный свет для минимизации помех. На основе искажения шаблона можно восстановить информацию о глубине с помощью паралакса, зная положение проектора в системе координат камеры. Большинство датчиков структурированного света не работают под прямыми лучами солнца, поскольку они полагаются на проекцию света в сцене. Поэтому они обычно подходят для использования в помещениях [9].

## Стереокамера

Данный способ схож со структурированным светом, но отличается использованием еще одной камеры вместо проектора. Зная положения проекций

одной и той же точки на изображения камер, и расстояние между камерами, можно вычислить глубину этой точки на основе паралакса. Стереокамеры работают как в помещении, так и на открытом воздухе. Проблемы же у данного способа возникают при анализе глубины точек гладкой окрашенной стены, так как изображения на обеих камерах эквивалентны. [8].

## **Время полета**

Данный способ основан на оценке расстояния от датчика до наблюдаемого объекта путем измерения времени, необходимого для приема датчиком излучаемого света, отраженного от объекта. Поэтому датчики используют модуляцию излучаемого светового сигнала и сравнивают изменение фазы выпущенного сигнала и отраженного. Концепция практически не отличается от ультразвуковых и радарных датчиков, но здесь в качестве излучаемого сигнала используется свет. При сильном солнечном свете датчик может давать сбои, поэтому данный способ также чаще всего используют в помещениях [8].

## **Лидар**

Данный способ использует идею измерения времени движения света, в течение которого излучаемый свет принимается датчиком, но они полагаются на один или несколько лазерных лучей (концентрированный свет) для измерения глубины точек в сцене. Лидарный датчик полагается на сфокусированные лазерные лучи, которые позволяют проводить измерения расстояния до нескольких километров. Точность измерений обычно не зависит от расстояния, хотя может зависеть от погодных условий: при неблагоприятных условиях, например, густой туман и бурный снегопад, она может падать. Лидарные датчики излучают свет, поэтому они работают в сложных условиях освещения, например, при недостатке освещения. Они подходят для использования в помещениях и на открытом воздухе [8].

## **Наложение теней**

Тень состоит из двух частей: полутени и полной тени. Полная тень – центральная, темная, резко отчерченная часть, а полутень (или мягкая тень) – окружающая ее более светлая часть. Полная тень образуется при полном отсутствии света, а полутень освещается частью рассеянного света ИС [10].



Существует несколько методов построения теней:

- использование теневой карты;
- построение теневого объема;
- обратная трассировка лучей.

## Теневая карта

Теневая карта – объект, хранящий информацию о затененных пикселях буфера кадра. Основная идея использования теневой карты – построение карты глубины с точки зрения ИС и сравнение с картой глубины виртуальной камеры: те пиксели, которые видны с точки зрения камеры, но не видны с точки зрения ИС, являются затененными. Этот процесс называется *теневым тестом*. Такой подход не требователен к вычислительным ресурсам, но требователен к памяти, поскольку теневая карта обладает тем же разрешением, что и конечное изображение, и таких карт может быть несколько в зависимости от количества ИС [11].

## Теневой объем

*Теневой объем* – это область пространства, доступ света в которую закрывает объект. Боковые границы теневого объема образуются четырехугольниками, расположенными от границ объекта, направленных на ИС, до некоторой пересекающейся с тeneвым объемом плоскостью. Границы ближнего к источнику основания четырехугольника образуются так называемыми границами силуэта. Эти границы образуются сторонами треугольников, находящимися на границе затененной и освещенной областей объекта или рядом с ней. В общем случае граница силуэта пролегает по границе между треугольниками, один из которых обращен к источнику света, а другой – в обратную сторону. Чтобы получить теневой объем, нужно найти все границы силуэта и нарисовать четырехугольники для каждой из них. Границы же дальнего основания образуются границами пересечения теневого объема с ближайшей к ИС плоскостью [12].

Освещенность точки определяется следующим образом: от точки местоположения камеры до нее проводится луч, который связан со счетчиком

прохождения граней теневого объема. При входе в грань теневого объема счетчик увеличивается, при выходе – уменьшается. В итоге, если счетчик больше нуля, то точка считается затененной, иначе – она освещена.

Такой подход может давать ложные результаты, если камера находится внутри теневого объема. Эта проблема устраняется решением обратной задачи – трассировкой лучей из бесконечности к точке местоположения камеры [12].

## **Обратная трассировка лучей**

Обратная трассировка лучей – это метод оценки освещенности, при котором для каждого пикселя в буфере кадра луч, выпущенный из пикселя, сталкивается с объектами сцены, чтобы определить отраженный цвет объекта. Луч может быть прослежен дальше, после первого столкновения с некоторым объектом, для создания эффектов, подобных зеркалу или стеклу. Тени с трассировкой лучей оцениваются аналогично оценке отражённого объектом света, но вместо оценки столкновения лучей из буфера кадра со сценой проверка столкновения выполняется для лучей от сцены к источнику света. Если луч от текущего пикселя столкнется с каким-либо объектом до того, как достигнет источника света, текущий пиксель окажется в тени, и, таким образом, его цвет будет темнее по сравнению с основным цветом его материала [11].

### **1.2 Методы наложения теней на основе информации о глубине точек кадра**

#### **1.3 Обзор существующих методов**

#### **1.4 Формализация постановки задачи**

## 2 Конструкторский раздел

### 3 Технологический раздел

## 4 Исследовательский раздел

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Osti F., Santi G. M., Caligiana G.* Real time shadow mapping for augmented reality photorealistic rendering // Applied Sciences. — 2019. — Т. 9, № 11. — С. 2225.
2. Технологии дополненной реальности [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-dopolnennoy-realnosti/viewer> (Дата обращения 30.09.2022).
3. Эффективный метод восстановления освещения в системах смешанной реальности с использованием HDR-изображения трехмерной сцены. Т. 29 / Н. Богданов [и др.]. — 2019. — С. 26—31.
4. Компьютерное зрение [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompyuternoe-zrenie> (Дата обращения 5.10.2022).
5. *Debevec P.* Rendering synthetic objects into real scenes: Bridging traditional and image-based graphics with global illumination and high dynamic range photography. — 2008. — С. 1—10.
6. М. И. Сорокин, Д. Д. Жданов, И. В. Валиев, "Восстановление положения источников освещения сцены в системах смешанной реальности с использованием сверточных нейронных сетей и трассировки теневых лучей" // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша – 2021 – С. 18.
7. Использование HDR-технологии для фотографической фиксации процессуальных действий [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-hdr-tehnologii-dlya-fotograficheskoy-fiksatsii-protsessualnyh-deystviy/viewer> (Дата обращения 8.10.2022).
8. *Lopes A., Souza R., Pedrini H.* A Survey on RGB-D Datasets // arXiv preprint arXiv:2201.05761. — 2022.
9. A comparative survey on invisible structured light [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://fofi.pagesperso-orange.fr/Downloads/Fofi\\_EI2004.pdf](https://fofi.pagesperso-orange.fr/Downloads/Fofi_EI2004.pdf) (Дата обращения 10.10.2022).
10. *Роджерс Д.* Алгоритмические основы машинной графики. — Рипол Классик, 1989.

11. Programming vertex, geometry, and pixel shaders / W. F. Engel [и др.]. — Cengage Delmar Learning, 2008.
12. Вольф Д. OpenGL 4. Язык шейдеров. Книга рецептов / пер. с англ. А. Н. Киселева // М.: ДМК Пресс – 2015 – С. 368.



## ПРИЛОЖЕНИЕ А