УДК 76.022

# ТРАССИРОВКА ЛУЧЕЙ КАК ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ФОТОРЕАЛИСТИЧНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКЕ

♦♦♦♦♦

# RAY TRACING AS A TECHNOLOGY FOR CREATING PHOTOREALISTIC IMAGES IN COMPUTER GRAPHICS

**Питкин Виктор Александрович**
старший преподаватель
кафедры физического воспитания и спорта
Кубанский государственный технологический университет
irvik25@mail.ru

**Рогалевич Андрей Александрович**
студент группы 24-М-СЖ2,
факультет инженерии машиностроения и транспорта,
Кубанский государственный технологический университет
rogalevegh@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассматривается трассировка лучей как одна из ключевых технологий создания фотореалистичных изображений в компьютерной графике. Описываются история возникновения метода, принципы его работы, преимущества и недостатки, а также современные подходы к реализации, включая аппаратное ускорение. Основное внимание уделяется сравнению трассировки лучей с традиционными методами рендеринга, механизмам глобального освещения и возможностям применения в реальном времени. В работе анализируются факторы развития технологии, её эволюция от оффлайн-рендеринга к интерактивным приложениям, а также перспективы дальнейшего использования. Особое внимание уделено роли трассировки лучей в достижении высокого уровня реализма и влиянию на современную индустрию компьютерной графики. Статья ориентирована на студентов технических и IT-специальностей, специалистов в области компьютерной графики, разработчиков игр и визуализации, а также на всех интересующихся современными технологиями рендеринга.

**Ключевые слова:** трассировка лучей, компьютерная графика, фотореализм, рендеринг, глобальное освещение, трассировка пути, аппаратное ускорение, реконструкция лучей.

**Pitkin Victor Alexandrovich**
Senior Lecturer of the Department
of Physical Education and Sports,
Kuban State Technological University
irvik25@mail.ru

**Rogalevich Andrey Alexandrovich**
Student of group 24-M-SJ2
Faculty of Mechanical Engineering
and Transport,
Kuban State Technological University
rogalevegh@gmail.com

**Annotation**. The article examines ray tracing as one of the key technologies for creating photorealistic images in computer graphics. It describes the history of the method's development, its fundamental principles, advantages and disadvantages, as well as modern implementation approaches including hardware acceleration. Particular attention is given to the comparison of ray tracing with traditional rendering methods, global illumination techniques and possibilities for real-time application. The paper analyzes the factors driving the development of the technology, its evolution from offline rendering to interactive applications, as well as prospects for further use. Special emphasis is placed on the role of ray tracing in achieving a high level of realism and its impact on the modern computer graphics industry. The article is intended for students of technical and IT specialties, specialists in computer graphics, game developers and visualization professionals, as well as for anyone interested in modern rendering technologies.

**Keywords:** ray tracing, computer graphics, photorealism, rendering, global illumination, path tracing, hardware acceleration, ray reconstruction.

**Трассировка лучей** – это метод рендеринга в компьютерной графике, при котором для каждого пикселя экрана из точки камеры генерируется луч. Луч отслеживает путь света в сцене, учитывая отражения, преломления, тени и рассеивание. Метод позволяет получать изображения высокого уровня фотореализма, близкие к реальным фотографиям [1].

В рассматриваемом контексте речь идёт о развитии трассировки лучей от классического алгоритма до современных реализаций с аппаратным ускорением. Первые идеи метода появились в 1968 году в работе Артура Аппела. Значительный прорыв произошёл в 1979 году, когда Тёрнер Уиттед добавил поддержку отражений и преломлений. В 1980–1990-е годы технология активно использовалась в киноиндустрии студиями Pixar и Disney. На сегодняшний день технология трассировки лучей получила широкое распространение не только в профессиональной среде, но и среди обычных пользователей, обладающих компьютерами среднего уровня. С 2018 года, после появ-

ления видеокарт NVIDIA RTX, трассировка лучей перешла в реальное время и стала применяться в компьютерных играх [2].

**Принцип работы**:

Основным этапом трассировки лучей является генерация первичного луча для каждого пикселя экрана. Луч проверяется на пересечение со всеми объектами сцены. Выбирается ближайшая точка пересечения. В этой точке рассчитывается освещённость путём запуска теневых лучей к источникам света. Для зеркальных и прозрачных поверхностей генерируются вторичные лучи – отражённые и преломлённые по закону Снелла. Процесс повторяется рекурсивно до заданной глубины.

Современные варианты включают трассировку пути (path tracing), которая использует метод Монте-Карло для точного расчёта глобального освещения. Реконструкция лучей (ray reconstruction) с помощью искусственного интеллекта позволяет значительно снижать шум при малом количестве семплов. Направление первичного луча можно записать формулой:

$$\mathrm{d} = \mathrm{normalize}\,(\frac{2x}{w} - 1, \frac{2y}{h} - 1, f),$$

где $h$, $w$ – ширина и высота изображения, f – фокусное расстояние

**Преимущества и недостатки**:

К достоинствам метода относится высокий фотореализм, правильное моделирование отражений, преломлений и мягких теней. Вычислительная сложность метода слабо зависит от количества полигонов в сцене. Метод трассировки лучей позволяет рендерить гладкие объекты без аппроксимации их полигональными поверхностями.

Главным недостатком является очень высокая вычислительная нагрузка. Один кадр в высоком разрешении может требовать миллионов операций на каждый пиксель. При малом количестве семплов появляется шум. Для решения этих проблем применяют аппаратное ускорение на специализированных ядрах RT, гибридный подход и алгоритмы оптимизации. Программное ускорение позволяет добиться улучшения производительности с небольшой потерей качества восприятия [3].

Современные возможности Современные реализации трассировки лучей включают гибридный рендеринг. Растеризация используется для базовой геометрии, а трассировка лучей - только для сложных эффектов освещения. Трассировка пути позволяет моделировать непрямое освещение, цветовые отражения и каустику. Реконструкция лучей на базе ИИ значительно повышает качество изображения в реальном времени. Эти технологии широко применяются в играх и киноиндустрии [4].

Одними из самых ярких представителей демонстрации трассировки лучей является игра Cyberpunk 2077, в ней технология представлена как революция в графике игр, где важную роль играют неоновые огни, отражения в лужах, блики солнечных лучей и ярких фонарей. Так же технология использовалась в таких произведениях кино как История игрушек 1998 года, где на отражения и освещение в сценах было потрачено более половина бюджета мультфильма.

Трассировка лучей активно используется в создании анимационных фильмов, современных компьютерных играх, архитектурной и автомобильной визуализации. Метод позволяет достигать высокого уровня реализма при моделировании сложных оптических эффектов, таких как отражения в воде, стекле и металлах. В научных расчётах трассировка лучей применяется для моделирования распространения света в оптических системах.

Длительная работа за компьютером при разработке графики может способствовать проблемам с позвоночником. Лечебная физкультура является одним из наиболее эффективных реабилитационных мероприятий при остеохондрозе поясничного отдела позвоночника. Регулярные занятия под контролем специалиста помогают укрепить мышечный корсет и предотвратить осложнения [6].

Трассировка лучей является одной из самых мощных технологий создания фотореалистичных изображений в компьютерной графике. С развитием аппаратного ускорения и алгоритмов оптимизации метод продолжает активно развиваться. Ком-

плексный подход, включающий трассировку пути и реконструкцию лучей, позволяет значительно повысить качество визуализации и сделать её доступной в реальном времени. Важно сочетать работу с регулярными занятиями физической культурой для сохранения здоровья.

### Литература

1. Ульянов А.Ю. Метод трассировки лучей как основная технология фотореалистичного рендеринга / А.Ю. Ульянов, Л.А. Котюжанский, Н.Г. Рыжкова // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 11-6. – С. 1124–1128.
2. Гугучкин А.В. Перспективы программного ускорения методик трассировки лучей в сфере визуализации 3D-графики / А.В. Гугучкин, А.Д. Харин // Форум молодых ученых. – 2023. – № 82.
3. Ершов Т.А. Обзор технологии аппаратной трассировки лучей. eLibrary.ru. – 2021.
4. Рутковская В.М. Основные алгоритмы рендеринга: метод трассировки лучей на примере 3D-игр / В.М. Рутковская, А.В. Острейко; Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – 2025.
5. Современное состояние методов расчёта глобальной освещённости в задачах реалистичной компьютерной графики / В.А. Фролов [и др.] // Труды ИСП РАН. – 2021. – Т. 33. – Вып. 2. – С. 7–48.
6. Питкин В.А. Оздоровительная физическая культура при остеохондрозе поясничного отдела позвоночника / В.А. Питкин, А.Р. Шульга // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. – № 2. – С. 403–406.

### References

1. Ulyanov A.Yu. Ray tracing as the main technology of photorealistic rendering / A.Yu. Ulyanov, L.A. Kotyuzhansky, N.G. Ryzhkova // Fundamental Research. – 2015. – № 11-6. – P. 1124–1128.
2. Guguchkin A.V. Prospects for software acceleration of ray tracing techniques in 3D graphics visualization / A.V. Guguchkin, A.D. Kharin // Forum of Young Scientists. – 2023. – № 82.
3. Ershov T.A. Review of hardware ray tracing technology. eLibrary.ru. – 2021.
4. Rutkovskaya V.M. Main rendering algorithms: ray tracing method in 3D games / V.M. Rutkovskaya, A.V. Ostreiko; Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. – 2025.
5. Current state of global illumination calculation methods in realistic computer graphics / V.A. Frolov [et al.] // Proceedings of ISP RAS. – 2021. – Vol. 33. – Iss. 2. – P. 7–48.
6. Pitkin V.A. Health-improving physical culture in case of lumbar spine osteochondrosis / V.A. Pitkin, A.R. Shulga // Science. Technique. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2023. – № 2. – P. 403–406.