

УДК 519.6

doi 10.54708/22259309\_2025\_334131

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В VFX-ИНДУСТРИИ

Е. Р. ШАЙМАРДАНОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>shaymardanova.ekaterina.04@gmail.com

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНиТ)

**Аннотация.** В статье рассматриваются математические операции на примере профессионального ПО для композитинга и создания визуальных эффектов. Анализируются методы разделения фона через векторные метрики, слежение за объектами с использованием корреляции и регрессии, анимация масок на основе кривых и интеграция CGI. Описываются методы, созданные с помощью матричных преобразований, нормализаций векторов и цветокоррекции. Показана реализация программы в виде нодового графа.

**Ключевые слова:** визуальные эффекты; композитинг; кривые Безье; линейная алгебра; нормализация векторов; афинные преобразования; CGI-интеграция.

### ВВЕДЕНИЕ

Визуальные эффекты (VFX) являются синтезом креативного подхода и сложных математических моделей, которые включают линейную алгебру, численные методы, оптимизацию и алгоритмы обработки изображений. На примере одной из основных систем, разработанных для композитинга и визуальных эффектов, NukeX, можно рассмотреть, какие математические операции позволяют создавать высококачественные работы. Для выполнения нужных задач используют определенные алгоритмы, которые приведены ниже.

### КЕЙИНГ (KEYING)

Метод, который позволяет отделить нужный материал от однородного фона – хромакея, работает благодаря векторной алгебре и цветовому пространству. Цвет каждого пикселя является вектором в пространстве RGB или HSV. Дополнительно могут использоваться матрицы преобразования цвета, где матрица перехода задается линейными уравнениями. Ноды (например, Keylight) вычисляют расстояние между вектором пикселя C и эталонным цветом фона F:

$$\alpha = 1 - \frac{\|C-F\|}{\max\_distance},$$

где  $\alpha$  – альфа-канал (четвертый канал, помимо RGB), определяющий прозрачность пикселя.

Это является операцией Евклидовой метрики в 3D-пространстве. Для четкого выполнения применяются нормализация, которая приводит значение яркости к определенному диапазону, и гамма-коррекция – нелинейное преобразование яркости изображения, которое корректно отображает светлые и темные участки изображения по причине особенности человеческого зрения. Нормализация и гамма-коррекция – численные функции, влияющие на канал.

### ТРЕКИНГ (TRACKING)

Данный метод определяет положение объекта или же камеры на основе движения ключевых точек между кадрами. В трекинге играют важную роль корреляция и регрессия – с

помощью них измеряется связь между двумя величинами и предсказывается траектория объекта, а также аппроксимация данных трекинга – ключевых точек.

2D-трекинг – считывание координат на основе суммарной разности квадратов интенсивностей или нормализованной кросс-корреляции.

3D-трекинг, когда идет отслеживание данных в трехмерном пространстве, включает в себя калибровку камеры, которая определяет внутренние и внешние параметры для правильного преобразования в координаты двухмерного пространства. Благодаря калибровки программа учитывает дисторсию – искажение объектива и определение фокусного расстояния.

Возможна и обратная проекция 2D-точек в 3D-пространство.

### РОТОСКОПИНГ (ROTOSCOPING)

Задача ротоскопинга – создание и анимация масок. Метод использует решение уравнений в каждом кадре и численную интеграцию.

Контуры масок задаются через Bézier-кривые:

$$B(t) = \sum P_i B_i^n(t)$$

Анимация является линейной интерполяцией ключевых положений маски во времени от точки  $P_0$  до  $P_1$ :

$$P = P_0 + t * (P_1 - P_0)$$

Для нужного результата иногда приходится изменять маски – вращать, изменять в масштабе, сдвигать. Эти афинные преобразования реализуются в однородных координатах через матрицы.

$$\text{Перенос: } \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ m & n & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Поворот: } \begin{bmatrix} \cos a & \sin a & 0 \\ -\sin a & \cos a & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Масштаб: } \begin{bmatrix} a & 0 & 0 \\ 0 & d & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & s \end{bmatrix}$$

### КОМПОЗИТИНГ И ИНТЕГРАЦИЯ CGI

Задачей композитинга является создание комбинированного изображения, которая будет смотреться естественно и реально. Каждое изображение представляет собой сложную смесь света и тени, отфильтрованную через какое-то устройство захвата и затем интерпретированную человеческим глазом.

Для понимания, как камера «видит» сцену, используется матрица проекций, которая преобразует 3D-точки в 2D-координаты:

$$P = K[R | t],$$

где  $K$  – внутренняя матрица (фокус, сдвиг центра);

$R, t$  – вращение и трансляция в 3D.

Одна из самых фундаментальных основ мастерства композитинга – способность понимать, как взаимодействуют источники света в сцене и как будут с ними взаимодействовать новые элементы, которые интегрировали в сцену. Вычисление света и теней программа реализует через скалярное произведение (dot) для косинуса угла между векторами по формуле:

$$\text{dot}(a, b) = a \cdot b = \|a\| \cdot \|b\| \cdot \cos \theta$$

Так же с помощью нормализации векторов, то есть приведение к единице:

$$\hat{v} = \frac{v}{\|v\|}$$

### ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ В NUKEX

Все реализуется в виде графа нодов, где каждый нод обрабатывает определенные данные, это можно представить через функцию:

$$f: R^n \rightarrow R^m$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Визуальные эффекты – это та технология, которая в наше время тесно связана с прикладной математикой, вычислительной графикой и программированием. Такое ПО, как NukeX, связывает креативную работу с математическими и программными моделями. Благодаря такому слиянию математики и программирования VFX выходят на новый уровень реализма.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Райт С. Цифровой композитинг в кино и видео // Сер. Секреты профессионалов. ([Изд. 2-е, доп. и перераб.]) М., 2009.
2. Кириллова С. Н., Николаева Е. А. Области применения композитинга // Сборник статей международной научно-практической конференции. М., 2016. С. 103–105.
3. Романюго В. А., Рожков М. А. Роль компьютерной геометрии в разработке визуальных эффектов для виртуальной реальности // Сборник научных статей Всероссийской конференции. Курск, 2024. С. 19–21.
4. Шестерин Н. О. Визуальные предпосылки формирования эффекта «Зловещей долины» в цифровых медиа // Челябинский гуманитарий. 2024. № 3 (68). С. 51–57.
5. Саэтгараев А. А. Использование теории хаоса в компьютерной графике и визуальных эффектов // XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых): Мат-лы Международной молодёжной научной конференции: Сборник докладов. Казань, 2023. С. 1376–1379.
6. Трусович Е. С. Использование 3D-технологий в неигровом кино: влияние визуального эффекта на зрительское восприятие // Культура и искусство. 2017. № 1. С. 83–91.
7. Филатов В. П. Плагин корректного маскирования объектов в The Foundry Nuke // Материалы 59-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. Минск, 2023. С. 878–879.
8. Sharma H., Kochhar Kh. Artificial intelligence: a new trend in visual effects (VFX) // ShodhKosh: Journal of Visual and Performing Arts. 2024. Т. 5. № ICETDA24.
9. Кемниц Я. Ю. Природа визуальных эффектов (формирование экранного образа) // Институт повышения квалификации работников телевидения и радиовещания. М., 2011.

## ОБ АВТОРАХ

**ШАЙМАРДАНОВА Екатерина Ринатовна**, студент МО ИИМРТ УУНИТ.

## METADATA

**Title:** Mathematical and programmatic foundations of visual effects.

**Authors:** E.R. Shaymardanova<sup>1</sup>

**Affiliation:**

<sup>1</sup> Ufa University of Science and Technology (UUST), Russia.

**Email:** <sup>1</sup> shaymardanova.ekaterina.04@gmail.com

**Language:** Russian.

**Source:** Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), no. 3 (34), pp. 131-133, 2025. ISSN 2225-9309 (Print).

**Abstract:** The article discusses mathematical operations using the example of professional software for compositing and creating visual effects. Background separation methods through vector metrics, object tracking using correlation and regression, mask animation based on curves, and CGI integration are analyzed. The methods created using matrix transformations, vector normalizations, and color correction are described. The implementation of the program in the form of a node graph is shown.

**Key words:** visual effects, compositing, Bezier curves, linear algebra, vector normalization, Athenian transformations, CGI integration.

**About authors:**

**SHAYMARDANOVA, Ekaterina Rinatovna**, student MS IIMRT UUST.