

## СОДЕРЖАНИЕ

1	ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ . . . . .	3
1.1	Объект и предмет исследования . . . . .	3
1.2	Цели и задачи исследования . . . . .	3
2	ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ . . . . .	4
2.1	Эволюция алгоритмов симуляции огня . . . . .	4
2.2	Обзор и классификация алгоритмов симуляции огня . . . . .	8
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ . . . . .	10

# 1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

## 1.1 Объект и предмет исследования

**Объект исследования** - огонь в трехмерной графике как один из элементов трехмерной сцены.

**Предметом исследования** является динамическая симуляция объемного огня в режиме реального времени, особенности использования воксельной графики для создания реалистичной симуляции.

## 1.2 Цели и задачи исследования

**Цель исследования** - разработка системы для динамической симуляции трехмерного огня с использованием средств воксельной графики для экспорта во внешние системы рендеринга.

**Задачи исследования:**

1. Обзор и анализ научных работ по теме исследования.
2. Теоретическая подготовка к исследованиям.
3. Анализ и составление требований к системе. Проектирование.
4. Реализация системы.
5. Тестирование и верификация работы системы.
6. Анализ проведенной работы.

## 2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Моделирование бесформенных объектов, таких как дым, огонь, туман, дыма является предметом постоянных исследований в области компьютерной графики, поскольку данные объекты не имеют четко очерченных границ и являются мобильными по своей природе. Высокая коммерческая ценность данных эффектов в кинематографе и видеоиграх является двигателем постоянных исследований в данной области. Наибольший вызов представляет моделирование данных объектов в реальном времени, где необходимо получить максимально реалистичную симуляцию за время обновления экранного кадра(60Hz+) [1].

### 2.1 Эволюция алгоритмов симуляции огня

#### 2.1.1 Истоки. Система частиц



Рисунок 2.1 – Первоначальный взрыв

Пионером компьютерной симуляции огня является Reewes W. T. В 1983 году в своей работе он ввел понятие система частиц в качестве примитива для моделирования, анимации и рендеринга [2]. В фильме "Звездный путь 2: Гнев Хана" он смоделировал так называемую "расширяющуюся стену огня", созданную с помощью двухуровневой системы частиц. Система частиц

верхнего уровня находилась в центре взрыва генезис-бомбы, она генерировала частицы, которые в свою очередь являлись системами частиц. Эти системы частиц использовались для моделирования взрывов, при которых каждая такая система частиц вела себя как небольшой вулкан, извергающийся в сторону распространения взрывной волны и затухающий под воздействием силы гравитации. Поскольку частицы имеют дискретную природу, для достижения хороших результатов потребовалось колоссальное количество частиц. Но, поскольку моделирование в реальном времени не требовалось, это не оказалось проблемой.

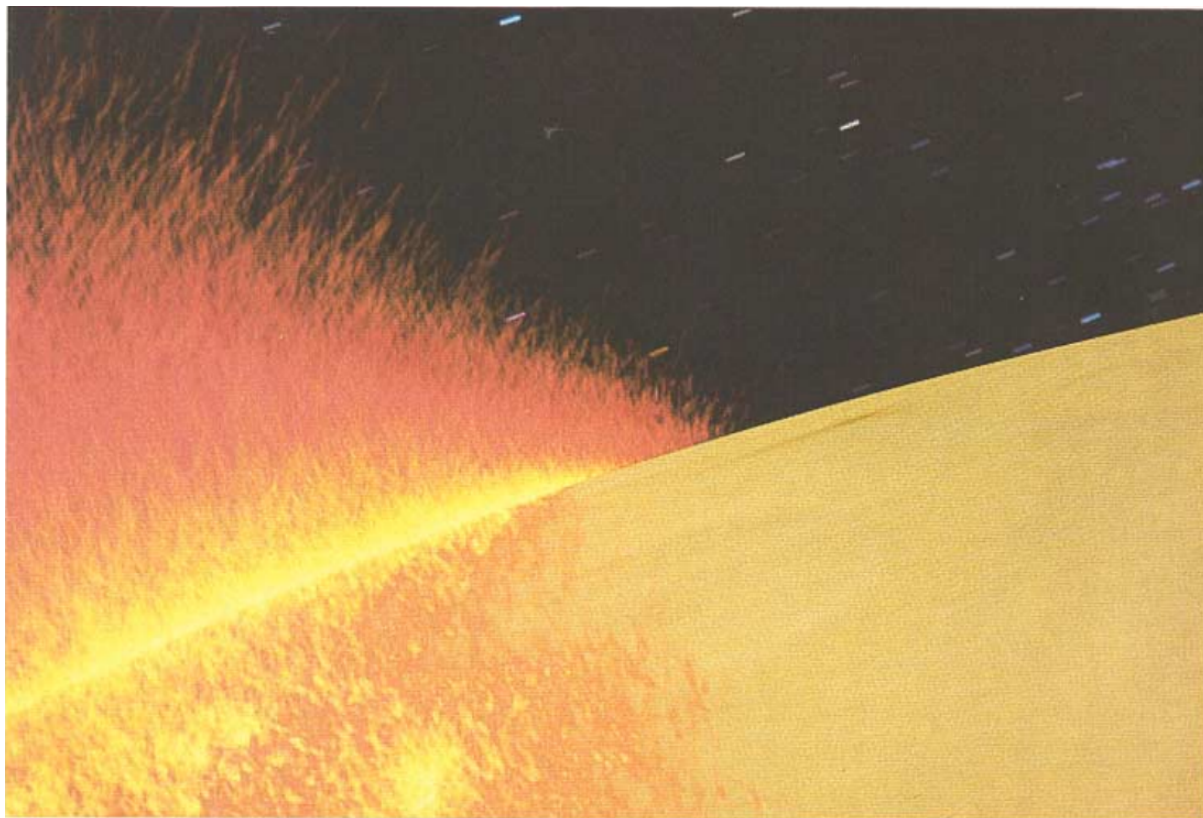


Рисунок 2.2 – Стена огня вот-вот поглотит камеру

### 2.1.2 Оффлайн симуляция

В данное время наибольшего успеха исследователи добились в нечувствительном к времени симуляции кинематографе. Несмотря на то, что данная работа нацелена на компьютерную графику реального времени, необходимо упомянуть несколько работ в области оффлайн симуляции, поскольку понимание основных идей, заложенных в них, позволил перенести некоторые из них в область графики реального времени.

В публикации 2002 года Nguen и его коллеги представили метод моделирования огня, полностью основанный на физико-математическом подходе [3]. В симуляции использовались несжатые уравнения Навье-Строкса для

горячих газов, это позволило также смоделировать эффект расширения, вызванный испарением, и эффект текучести поднимающихся дыма и сажи. Как видно на изображении, данная симуляция отличается реалистичным позиционированием и движением газообразных субстанций. Однако данный подход сложно реализовать в рендеринге реального времени, поскольку необходимо находить решение большого количества комплексных уравнений за время кадра.



Рисунок 2.3 – Два горящих полена находятся на земле и являются источником топлива. Бревно, лежащее поперек, еще не загорелось, поэтому пламя его обтекает

В 2008 году Norwath Н. и Geiger W. представили инновационную комбинацию симуляции с помощью крупной решетки частиц и тонко настроенных визуально-ориентированных улучшений симуляции, рассчитываемых на GPU [4]. Полученные изображения имеют поразительную детализацию и могут быть легко интегрированы в кинематографические фотоснимки.

Данная техника улучшения симуляции использует особенности и ограничения зрительного восприятия, а также особенности концентрации внимания зрителя. Множество независимых GPU используются для быстрого увеличения качества изображения, что позволяет достичь очень высокого разрешения.



Рисунок 2.4 – Три различных кадра симуляции огня. Быстро движущийся огненный шар с искрами. Извивающийся костер. Плотная стена дыма и огня.



(а) Огонь создан с помощью пререндеренного ядра битмапа, которое окружают светящиеся анимированные в реальном времени частицы



(в) Объемный факел, созданный из непрозрачных полигонов

Рисунок 2.5 – Скриншоты из Quake(1996) [5]

### 2.1.3 Онлайн симуляция

Трехмерный огонь, моделируемый в реальном времени, находит свое применение в интерактивных приложениях. Среди интерактивных приложений можно выделить компьютерные игры, в которых необходимость показывать взрывы появилась практически с самого момента их появления. Компьютерные игры являются основными потребителями графических компьютерных анимаций огня. Однако это стало возможным лишь пару десятилетий назад. С тех пор скорость аппаратного обеспечения для рендеринга время росла экспоненциально, открывая возможности для все более и более детализированных эффектов. К сожалению, поскольку игры зачастую являются проприетарными по своей природе, литературных источников по алгоритмам, используемых в играх крайне мало. Компания NVIDIA представила в 2014 году систему NVIDIA FlameWorks. Данная система позволяет добавлять реалистичный огонь, дым и эффекты взрывов в игры. Данная система совмещает передовую симуляцию жидкостей на основе решетки вместе с эффективной системой объемного рендеринга, все оптимизировано для работы в реальном





Рисунок 2.6 – Far Cry 2 (2008) [6]. На момент своего выхода в игре была наиболее реалистичная симуляция степных пожаров

времени. Все вычисления выполняются на GPU с помощью DirectX 11 [7].



Рисунок 2.7 – Демонстрация работы NVIDIA FlameWorks

## 2.2 Обзор и классификация алгоритмов симуляции огня

Различные методы применяемые при симуляции огня можно условно разделить на следующие группы:

- текстурный маппинг;
- система частиц;
- физико-математические методы;
- клеточные автоматы;

- томографическая реконструкция и др.

В 2011 году ZhaoHui W., Zhong Z. и Wei W. представили статью [8], в которой проанализировали современные алгоритмы симуляции реалистичного огня. Ими был проведен анализ наиболее популярных методов по следующим критериям:

- применимость в реальном времени;
- степень реалистичности;
- пространственно-временная сложность;
- конфигурируемость;
- интерактивность.

Результаты данного исследования можно увидеть в таблице ниже.

	<b>Real-time</b>	<b>Realistic</b>	<b>Spatio-temporal complexity</b>	<b>Editability</b>	<b>Interactivity</b>
<b>Texture mapping</b>	High	Low	Low	Low	No
<b>Particle system</b>	Inversely with particles count	Medium	Proportional to particles count	Random large and difficult to control	Medium
<b>Mathematical physics-based</b>	Low	High(physical consistency)	High	Parameter control	High
<b>Cellular automation</b>	Inversely proportional to the complexity of combined requirements	Have certain realistic	Cell simple but the combined complex	Modium	Limited
<b>Tomographic reconstruction</b>	No	High(visual consistency)	Data acquisition and processing complex	No	No

Рисунок 2.8 – Сравнение производительности различных методов симуляции огня

Для использования в магистерской диссертации был выбран физико-математический подход, поскольку он позволяет получить качественную реалистичную симуляцию с реалистичным взаимодействием с окружающим миром. Недостатки данного метода в скорости симуляции возможно сгладить с помощью использования современных GPU, оптимизации алгоритмов симуляции, уменьшения объемов симуляции(моделирование небольших источников огня).



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] Gillies, Duncan Fyfe. Third Year and MSc Interactive Computer Graphics Course [Text] / Duncan Fyfe Gillies. — [S. l. : s. n.].
- [2] Particle systems — a technique for modeling a class of fuzzy objects [Text]. — Detroit, Michigan : [s. n.], 1983. — July. — Proceedings of the 10th annual conference on computer graphics and interactive techniques.
- [3] Physically Based Modeling and Animation of Fire [Text]. — San Antonio, Texas : [s. n.], 2002. — July. — Proceedings of the 29th annual conference on computer graphics and interactive techniques.
- [4] Stock, Mark. Smoke Water Fire [Text] / Mark Stock // ACM SIGGRAPH 2008 Art Gallery. — SIGGRAPH '08. — New York, NY, USA : ACM, 2008. — P. 102–102. — Access mode: <http://doi.acm.org/10.1145/1400385.1400457>.
- [5] de Kruijf, Marc. firestarter – A Real-Time Fire Simulator [Text] : Master's thesis / Marc de Kruijf ; Computer Science Capstone. — [S. l. : s. n.].
- [6] Стала ли Far Cry лучше? История серии - Блоги - блоги геймеров, игровые блоги, создать блог, вести блог про игры [Электронный ресурс]. — 2018. — Режим доступа: [https://www.playground.ru/blogs/far\\_cry\\_new\\_dawn/stala\\_li\\_far\\_cry\\_luchshe\\_istoriya\\_serii-339049/](https://www.playground.ru/blogs/far_cry_new_dawn/stala_li_far_cry_luchshe_istoriya_serii-339049/).
- [7] Green, Simon. NVIDIA FlameWorks: Real-time Fire Simulation [Text] / Simon Green // ACM SIGGRAPH 2014 Computer Animation Festival. — SIGGRAPH '14. — New York, NY, USA : ACM, 2014. — P. 1–1. — Access mode: <http://doi.acm.org/10.1145/2633956.2658828>.
- [8] Realistic Fire Simulation: A Survey [Text]. — [S. l. : s. n.], 2011. — 12th International Conference on Computer-Aided Design and Computer Graphics.