

# Динамическая симуляция объемного огня

Стаховский А.В.

*Научный руководитель:* Кукин Д.П., к.т.н., доцент

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

7 июня 2020 г.

# Требования и ограничения

Требования и ограничения, предъявляемые к решению:

- средняя частота кадров сцены — 60 кадров /сек.;
- максимальная визуальная привлекательность;
- адаптивность под задачи художников.



Рисунок 1 – Кадр из игры Doom Eternal

# Классификация методов симуляции огня

Таблица 1 – Сравнение производительности различных методов симуляции огня

|                                   | <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                   |

# Структура симуляции

Компоненты симуляции:

- моделирование;
- анимация;
- визуализация.

Альтернативная  
схема была предложена  
Филиппом Боденом (рис. 2).

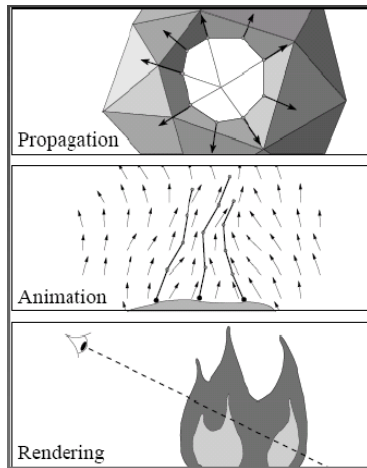


Рисунок 2 – Структура симуляции

# Структура симуляции

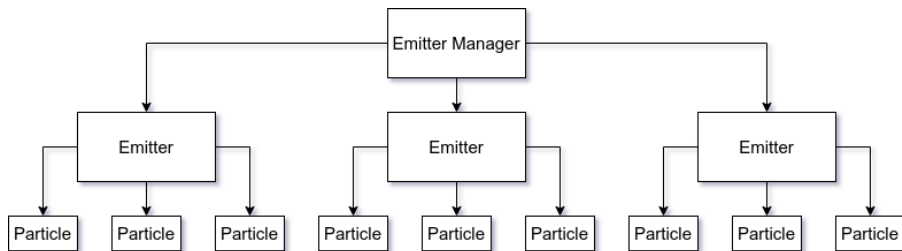


Рисунок 3 – Иерархия объектов, использованная в разработанном симуляторе

# Использованные инструменты

- Язык программирования: C++;
- Графический интерфейс: OpenGL v4.5;
- Язык написания шейдеров: GLSL.



Рисунок 4 – Логотип OpenGL

# Схема обновления частиц



Рисунок 5 – Схема обновления частиц в кадре

# Промежуточные результаты

Уравнения движения:

$$\vec{p}(t + \Delta t) = \vec{p}(t) + \vec{v}(t) \cdot \Delta t \quad (1)$$

$$\vec{v}(t + \Delta t) = \vec{v}(t) + \vec{a} \quad (2)$$

$$\vec{a} = 0,02 \cdot \vec{v}_0 \quad (3)$$

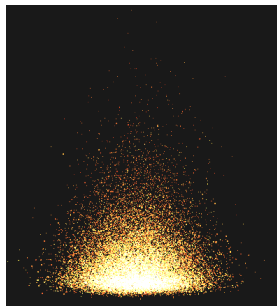


Рисунок 6 – "Наивная" анимация

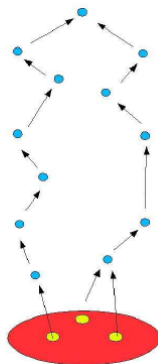


# Анимация частиц

● — Random Pressure Points

● — Particles

→ — Flow of Particles



● — Random Pressure Points

● — Particles

→ — Flow of Particles

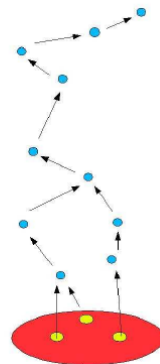


Рисунок 7 – Алгоритм анимации частиц

# Реализация анимации

Сложность алгоритма:

$$O(n \log n) + O(m) \cdot O(\log_2 n) \quad (4)$$

где  $n$  — количество точек низкого давления;

$m$  — количество частиц.

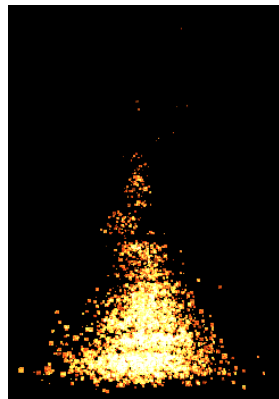


Рисунок 8 – Реализация анимации частиц

# Текстурные сплэты

Преимущества метода:

- оптимизация количества частиц;
- увеличение детализации за счет текстур;
- более плавная форма пламени.

Недостатки метода:

- необходимо ориентировать полигоны на зрителя;
- нереалистичные результаты при наблюдении сверху.

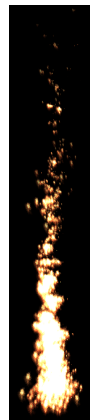


Рисунок 9 – Использование текстурных сплэтов для рендеринга частиц

# Производительность системы

Тестовая среда:

- **ЦП:** Intel Core i5–5200U 2.7ГГц;
- **ГП:** Intel HD Graphics 5500;
- **ОЗУ:** 8 ГБ;
- **ОС:** Debian 10 Buster.

Таблица 2 – Зависимость частоты кадров от количества частиц в системе

| Количество частиц | Средняя частота кадров |
|-------------------|------------------------|
| 5000              | 60,00                  |
| 10000             | 58,46                  |
| 15000             | 50,62                  |
| 25000             | 31,94                  |
| 50000             | 15,85                  |

# Сравнение с аналогами I

"Fire Simulation in 3D Computer Animation with Turbulence Dynamics including Fire Separation and Profile Modeling" (2018 год).

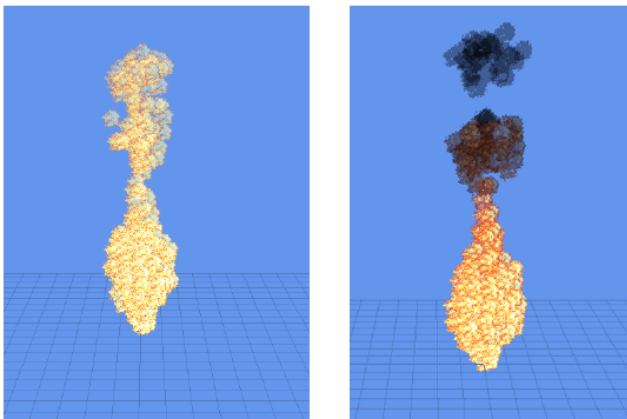


Рисунок 10 – Результаты работы системы

# Сравнение с аналогами II

Тестовая среда:

- **ЦП:** Intel Core i3 350m 2.26ГГц;
- **ГП:** ATI Radeon 5145;
- **ОЗУ:** 4 ГБ.

Эксперимент:

- 1 слайн
- 15 сегментов в слайне
- 30+ кадров в секунду.

# Заклучение

- разработана система симуляции огня для приложений реального времени;
- использованная комбинация системы частиц и метода текстурного сплэттинга позволила улучшить качество визуализации и оптимизировать количество частиц;
- реализованный метод анимации позволил добиться эффектной анимации частиц при низких вычислительных затратах;
- разработанная система может быть использована в видеоиграх.

# Список публикаций соискателя I

1. *Стаховский, А. В.* — Анализ современных алгоритмов симуляции огня. /. — А. В. Стаховский // Молодой ученый. — 2019. — Нояб. — № 47. — С. 100—105.
2. *Стаховский, А. В.* — Современные алгоритмы моделирования аморфных объектов. /. — А. В. Стаховский // Компьютерные системы и сети: 55-я юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22-26 апреля 2019 г. — Минск : Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2019. — С. 63.



## Список публикаций соискателя II

3. *Стаховский, А. В.* — Динамическая симуляция объемного огня. /. — А. В. Стаховский // Компьютерные системы и сети: 56-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 21-22 апреля 2020 г. — Минск : Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2020. — С. 54.
4. *Стаховский, А. В.* — Особенности динамической симуляции огня. /. — А. В. Стаховский // Компьютерные системы и сети: 56-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 21-22 апреля 2020 г. — Минск : Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2020. — С. 48.