

Добрый день, уважаемые члены экзаменационной комиссии. Хочу представить вашему вниманию свою диссертацию на тему «Динамическая симуляция огня».

История симуляции огня берет свое начало с первой работы по симуляции частиц, представленной Стивом Ривзом в 1982 году в фильме «Звездный путь 2: Ярость Хана». Симуляция огня в кинематографе стремительно развивалась и текущее состояние проблемы мы можем наблюдать в фильме «Хоббит: Битва пяти армий». Особенностями симуляции в фильмах является то, что они происходят в оффлайн — кадр может отрисовываться от нескольких минут до нескольких часов. В кинематографе основной упор делается на управляемости и реалистичности сцены, поэтому в симуляции огня для кино часто используются сложные физико-математические модели, основанные на физике жидкостей.

В видеоиграх, напротив, более важна скорость симуляции и объемы вычислительной нагрузки. Рендеринг всей игровой сцены должен выполняться с частотой от 60 кадров в секунду. Особенно важна оптимизация в онлайн играх, где существенное падение частоты кадров может лишить игрока тактического преимущества. Главные требования, предъявляемые к симуляции огня в играх: скорость симуляции, максимальная визуальная привлекательность, адаптивность под задачи художников и потом уже реалистичность. С распространением мобильных платформ и виртуальной реальности проблема симуляции огня в видеоиграх становится все более актуальной.

Целью данного исследования является разработка системы динамической симуляции трехмерного огня. В ходе исследования были поставлены следующие задачи:

- Обзор и анализ научных работ по трехмерному рендерингу.
- Анализ теории динамической симуляции огня
- Реализация системы динамической симуляции

В ходе исследования по теме диссертации было проанализировано множество литературных источников как по оффлайн так и по онлайн симуляции. Краткий обзор данных методов приведен на таблице 1. Для исследования в рамках диссертации была использована комбинация системы частиц с методом текстурного маппинга. Это позволило получить хорошую производительность в реальном времени и достаточно убедительную визуализацию огня.

Рассмотрим структуру симуляции огня. Далее симуляция будет рассматриваться как комбинация совокупности задач моделирования, анимации и визуализации огня.

В процессе анализа работ по анимации огня были выделены следующие моменты:

- Визуальная эффектность и скорость симуляции важнее реалистичности
- Физико-математические методы на основе физики жидкостей позволяют достичь высокой реалистичности анимации, однако требуют высоких вычислительных затрат, что затрудняет их использование в приложениях реального времени.
- Использование различных аналогий, возможно даже из других областей, может позволить существенно уменьшить количество вычислительных затрат и при этом может быть практически незаметно для пользователей. Примером такой аналогии является метод текстурного сплэттинга, который использует смешивание текстур для создания сложной формы пламени с нечеткими границами и плавной формой.

Для моделирования огня были использованы системы частиц, данный метод позволяет достичь оптимальный баланс между производительностью и реалистичностью. Структура симуляции представлена на рисунке 3 и представляет собой 3-уровневую иерархию, в которой минимальной единицей являются частицы. Эмиттер представляет собой язык пламени — источник частиц, обладающих близкими характеристиками. Эмиттеры определяют зону, направление и начальную скорость частиц. Менеджер эмиттеров управляет созданием новых эмиттеров и удалением иссякших эмиттеров из системы.

Схема обновления частиц, использованная в практической части основана на схеме, представленной на рисунке 4. Цикл обновления частиц состоит из создания частиц, их отрисовки, обновления атрибутов, и удаления «мертвых частиц».

Реализацию описанной выше схемы можно наблюдать на рисунке 5. Работу системы в действии можно наблюдать на следующем ролике.

ВИДЕО

Как можно заметить, система выглядит не очень реалистично. Это вызвано «наивной» анимацией частиц и нереалистичным рендерингом. Пламя выглядит черезчур дискретным.

Для устранения недостатков анимации был использован следующий алгоритм, основанный на идеях предложенных в работе «Using Particle Systems to Simulate Real-Time Fire». Данный алгоритм основан на процессах, протекающих в реальном огне. Пламя стремится в точки с более низким давлением, вызывая таким образом постоянное изменение формы и направления движения языка пламени.

В реализации данного метода частицы с низким давлением представлены как случайные точки, создающиеся согласно заданному распределению. Каждая частица стремится к ближайшей вышестоящей точке низкого давления либо просто продолжает движение, если такой точки нет. Реализация данного алгоритма представлена на рисунке 7.

ВИДЕО

Как можно заметить, анимация стала заметно лучше, однако она все еще выглядит прерывистой и требует слишком много частиц.

Для решения данной проблемы было решено использовать текстурные сплэты — текстуры с альфа-каналом, которые накладываются друг на друга. Использование текстур позволило существенно увеличить детализацию пламени и оптимизировать количество необходимых частиц. Использование текстурных сплэтов в действии можно наблюдать на следующем ролике.

ВИДЕО

Для оценки производительности системы был проведен эксперимент по вычислению зависимости частоты кадров от числа частиц. Результаты эксперимента представлены на таблице 2. Резкое падение количества частиц на уровне в 25000 частиц было изучено подробнее. Данные мониторинга показали 100% загрузку ядра процессора (симуляция выполнялась на 1 ядре) и всего лишь 26% загрузку видеокарты. Таким образом, дальнейшие улучшения производительности можно достичь за счет оптимизации кода для ЦП.

Для более объективной оценки стоит сравнить систему с аналогами. В 2018 году Юзефом Хладки и Романом Журиковичем была представлена работа «Fire Simulation in 3D Computer Animation with Turbulence Dynamic including Fire Separation and Profile Modeling». Данная работа была ориентирована на создание реалистичной симуляции, параметры которой могли быть легко настроены 3D художниками. Результаты тестирования системы представлены на следующем слайде. Симуляция выполнялась на сходном аппаратном обеспечении, однако автором удалось достичь лишь 1500 частиц при 30+ кадрах в секунду против 25000 в разработанной мной системе. Различия обусловлены разной сложностью моделей и отличающимися целями исследования. В работе Хладки и Журиковича фокус был на создании удобного инструмента для художников, т. е. простоте настройки, возможности экспорта результатов в такие пакеты, как Maya 3D, 3ds Max. В моя же работа ориентирована на предоставление максимально эффектных результатов в приложениях реального времени.

Заключение.

- Была разработана система симуляции огня, которая имеет достаточную производительность для применения в приложениях реального времени.
- Использование систем частиц совместно с методом текстурного сплэттинга позволило компенсировать визуальные недостатки обоих методов и создать эффектную визуализацию.
- Использованный в работе метод анимации частиц позволил получить реалистичную анимацию частиц при низких вычислительных затратах.
- Реализованная система имеет хорошую производительность и предоставляет эффектную симуляцию, что позволяет использовать данную систему при разработке видеоигр.