

# Визуализация эффекта дождя в автомобильных тренажерах

С.М.Козлов, Н.А.Елыков, И.В.Белаго,

Лаборатория программных систем машинной графики ИАиЭ СО РАН. Новосибирск, Россия

{smk, nicolas, bel }@sl.iae.nsk.su

## Abstract

В статье обсуждаются существующие модели визуализации основных дождевых явлений. Авторами рассмотрены существующие методы применительно к автомобильным тренажерам, и указаны как оптимальные в этих условиях алгоритмы, так и оптимизации для практической реализации. Кроме того, для эффекта потока капель воды на поверхностях предложен комбинированный алгоритм отображения и анимации в текстурном пространстве, что позволяет применить эффект к произвольной геометрии.

**Keywords:** визуализация капель, визуализация дождя, погодные эффекты

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Работа посвящена исследованию условий и ограничений существующих моделей визуализации дождевых эффектов для систем визуализации реального времени, а также возможностям их более качественной реализации с учетом возможностей современных ускорителей. Обсуждаются наиболее визуально важные дождевые эффекты: сами падающие капли и их взаимодействие с геометрией – брызги и текущие по поверхности капли и потоки воды. Рассмотрены как условия применения существующих методов, так и их возможные эффективные модификации. К системе предъявляются требования, типичные для современного автомобильного тренажера, что определяет выбор алгоритмов и техник. Для методов, выбранных для реализации, приведены дополнительные детали алгоритмов.

## 2. ОТОБРАЖЕНИЕ КАПЕЛЬ

Следует отметить, что во многих существующих системах визуализации применены не точные реализации описываемых далее методов, а с некоторыми модификациями, настройками и комбинированием идей различных методов. В этом смысле перечисленные методы – скорее отправная точка для конкретного инженерного решения.

### 2.1 Использование систем частиц

Классический подход заключается в том, чтобы представить каждую каплю и размытый след от нее в виде частицы, множество таких движущихся частиц и создает эффект дождевых капель. Логика движения предельно проста – каждая частица двигается по прямой вниз, которая отклоняется в зависимости от скорости ветра и камеры. Для создания реалистичного эффекта достаточно заполнять такими частицами только небольшое пространство вокруг.

Сложности заключаются в том, что для эффекта плотного дождя требуется поддерживать достаточно большое количество частиц (тысячи в кадре) с большим потоком создающихся и уничтожающихся частиц (сотни в кадр).

Метод предоставляет большие настройки конкретного вида капель, предоставляет возможности для анимаций их движения, корректно учитывает отсечения капель по видимости основной сценой и вообще является достаточно общим.

Основным недостатком является серьезная нагрузка в случае необходимости отображения плотного дождя, и, как следствие, необходимости оптимизаций.

### 2.2 Использование видео

Работа [1] исследует выделение слоя изображения дождя из видеопотока и возможности его применения к другому для создания эффекта падающих капель. Исследование показывает, что человек не различает отдельных капель при интенсивном дожде, и поэтому можно смешивать заранее подготовленную видеопоследовательность с исходной, чтобы добиться ощущения дождя в сцене (рис.1)



Рис. 1. Маска дождя и результат ее применения

Кроме этого, в работе предлагается применять некоторые фильтры изменения яркости изображения, чтобы плавно управлять плотностью дождя.

Все это вполне может быть проделано в реальном времени на современных графических картах, самая дорогая операция – собственно, раскодирование видеопотока.

К сожалению, метод не может охватить некоторые важные особенности динамических систем. Например, невозможно изменить направление движения дождя, учесть скорость движения камеры, и вообще позволять камере далеко отклоняться от перпендикулярной направлению капель. Кроме того, геометрия не может собой заслонить некоторую их часть.

В целом метод обеспечивает очень хорошее качество, но с серьезными ограничениями свободой движения камеры и управления свойствами дождя.

### 2.3 Использование текстуры дождя

Подход, более применимый именно к системам виртуальной реальности, заключается в том, чтобы сохранить дождь все же как текстуру изображения множества капель, но трансформировать для имитации смены направления или скорости дождя. Например, в работе [2] применяется геометрия из двух конусов, на которые натянута соответствующая текстура. В зависимости от скорости движения камеры, направления и параметров дождя эти конусы растягиваются, поворачиваются и изменяют скорость

протяжки текстуры. Можно использовать несколько слоев дождя для учета различных скоростей протяжки ближних и дальних капель.



Рис. 2. Использование текстуры дождя

За счет некоторого уменьшения качества изображения по сравнению с заранее подготовленным видеопотоком, техника становится гораздо более гибкой и удобной в использовании. Кроме того, исчезает самая дорогая операция предыдущего метода – необходимость раскодирования видеопотока, и метод становится очень привлекательным и по производительности.

Недостатком является только то, что он по-прежнему оперирует в пространстве экрана и поэтому не может взаимодействовать с геометрией в сцене. Например, если мы смотрим на дождь изнутри здания, то будет заметно, что размер капель такой же, как если бы они капали прямо перед камерой. В случае когда затруднен анализ отсечения дождя в зависимости от геометрии в открытых пространствах, ситуация становится еще хуже – например, тяжело добиться отсутствия дождя под навесом или мостом (рис. 3).



Рис. 3. Отсечение дождя навесом

## 2.4 Анализ

Выбор из основных описанных методов целиком зависит от требований к системе визуализации. В автосимуляторах типичными условиями являются вид из кабины, вид извне автомобиля, допускаются возможности увидеть автомобиль в закрытых пространствах – гаражах, тоннелях и т.д., изменения относительной скорости капель в зависимости от скорости автомобиля, плавное появление дождя. В случае реалистичности выбранной погодной модели требуется еще и изменение направления ветра. Камера большую часть времени смотрит параллельно дороге.

Методу 2 напрямую противоречат многие из этих условий – по сути, большинство требующих динамики параметров дождя, и он вряд ли может быть использован в современных системах.

Метод 3 обеспечивает большинство необходимых эффектов, его использование – вопрос, на сколько является принципиальным корректное отображение дождя в случае нахождения в закрытом пространстве (рис. 3). В нашем случае оно оказалось принципиальным, и метод был отклонен. Тем не менее, существуют современные высококачественные системы визуализации, использующие этот метод [3].

Таким образом, остался только метод 1, как наиболее общий и обеспечивающий полноту эффектов. Его недостатком является требовательность к ресурсам и необходимость эффективной реализации, которая будет описана далее.

## 2.5 Реализация

Для визуализации дождевых капель используется система частиц, где каждая капля соответствует одной частице. Частица вытянута и текстура в ней эмулирует размытие от быстрого движения капли. Частицы создаются в первых нескольких метрах текущей пирамиды видимости и исчезают, вылетев за ее пределы. С учетом того, что частицы дождя имеют очень большую скорость, результирующий поток создания и удаления частиц доходит до сотни частиц в кадр. Для эффективного менеджмента частиц используется буфер фиксированного размера с поддержкой списка свободных элементов, т.е. в случае уничтожения частицы ячейка прописывается в список свободных без аллокаций памяти[4].

Важной оптимизацией является отсутствие необходимости сортировки частиц по глубине, обычно необходимой для полупрозрачных объектов. Практика показывает, что из-за очень быстрой динамики и малого размера отдельной частицы отсутствие сортировки не влияет на качество изображения.

Так как присутствуют закрытые пространства и области, заслоняющие капли (мосты, навесы бензоколонок и т.д.), то необходимо вводить дополнительные условия на уничтожение частиц. Наивный подход - проверять каждую частицу на попадание в искомый объем каждый кадр, работает только при небольшом количестве частиц. Фактически, проверка нахождения внутри объема – это проверка количества пересечений луча из точки на бесконечность и тестируемого объема [5], что достаточно дорого для тысяч объектов каждый кадр. В обсуждаемой реализации делается только одна проверка во время создания частицы, а точка пересечения с объемом определяет время жизни частицы. Таким образом, нужно выполнять эту операцию только для создающихся частиц, что увеличивает быстродействие на порядок. Кроме того, используется плоское представление объектов отсечения, очень упрощенное по сравнению с отображаемой геометрией. Эта упрощенная геометрия рисуется выпуклой, что позволяет еще сильнее ускорить алгоритм проверки [5].

После перечисленных оптимизаций время на построение и анимацию патиклов не превышает 0.5 миллисекунд. Рисунок 4 демонстрирует результат работы алгоритмов.



Рис. 4. Визуализация падающих капель

### 3. ЭФФЕКТЫ НА СТЕКЛЕ АВТОМОБИЛЯ

Визуализация потоков капель и брызгов на стекле автомобиля имеет принципиальное значение в автосимуляторах – вид изнутри кабины является одним из основных, и наличие эффектов дождя на стеклах значительно улучшает качество визуализации. В нашем случае приоритет был на отображении широкого спектра интенсивности дождя – от небольшого количества быстро сохнущих капель до ливня, заливающего все стекло водой целиком.

#### 3.1 Краткое описание существующих методов

Общая идея всех методов заключается в том, чтобы расположить на стекле некоторые картинку капель, которыми модифицировать изображение мира за стеклом. Собственно различие между методами заключается в способе анимации движения капель и методе модификации исходного изображения.

Наиболее распространенными методами модификации являются:

- Смешивание текстур капель с изображением с использованием полупрозрачности
- Искажение исходного изображения в зависимости от наличия капель
- Применение фильтров яркости и размытия
- Добавление компоненты отражения мира в капле

Разумеется, эти методы можно комбинировать в зависимости от доступных ресурсов и требуемых эффектов.

Основные варианты анимации дождевых эффектов:

- 1) Создание набора капель на процессоре. Движение в зависимости от некоторых параметров (направление ветра, форма стекла, скорость автомобиля), сложная форма капли как визуализация следа ее движения.
- 2) Использование акселератора для итераций движения воды по стеклу [3]. Создается некоторая текстура распределения, в каждой точке указываются основные параметры – количество воды, масса, скорость и т.д. После этого используются возможности акселератора для итеративного процесса изменения этих параметров на основе приближения физических моделей.

Кроме этого, важным в выборе модели является возможность введения дополнительных возможностей – например, в автосимуляторах требуется визуализация стеклоочистителей.

#### 3.2 Анализ и реализация

Выбор необходимых компонент визуального отображения дождя на стекле целиком диктуется бюджетом ресурсов и требованиями дизайнеров к итоговой картинке. В нашем случае, для создания необходимого визуального эффекта достаточным оказалось преломление картины через картину дождя и фильтра интенсивности.

Выбор между вариантами анимации капель был более сложным – предложенные методы анимации на процессоре и акселераторе существенно отличаются. На процессоре можно анимировать капли как отдельные объекты со своей геометрией, не нарушая целостности картины внутри капли или всплеска, в то время как во втором случае не существует объекта такого – капля это всего лишь набор независимых пикселей с разным количеством воды в них. Соответственно, анимация не сохраняет каплю как единое целое, а скорее симулирует единое поле движения воды по стеклу.

В этом смысле геометрический подход сохраняет больше контроля над картиной и характеристикой движения отдельных капель, но затрудняет создание массового движения воды по стеклу, так как требует генерации большого количества геометрии.

Для реализации был выбран комбинированный подход – капли и всплески геометрически создаются на процессоре, но рисуются в отдельную текстуру на акселераторе. Процессор обчисляет анимации высокого уровня – движение капель в зависимости от направления дождя, скорости автомобиля и формы стекла. Параллельно с ним акселератор оперирует с этой текстурой как с сеткой распределения воды на стекле, и выполняет с ней локальные упрощенные итеративные изменения. В результате на экране видны как отдельные капли с целостной анимацией, так и потоки воды, текущие по стеклу (рис. 5).

Кроме того, в такую текстуру можно врисовывать дворники прямо как анимированную геометрию, которая зарисовывает текстуру значениями, соответствующими чистому стеклу (рис. 6).

В будущем эту систему можно легко расширить на вид извне автомобиля (попадание капель на камеру), просто изменив настройки анимации. Разумеется, система не ограничена только стеклом – немного изменив параметры визуализации можно реализовать поток дождевых капель по любой геометрии.

### 4. РЕЗУЛЬТАТ

Визуализация дождевых эффектов – крайне обширная и необходимая область для систем визуализации открытых пространств. Из всего многообразия дождевых эффектов в работе обсуждаются только наиболее критичные для автосимуляторов – дождь как таковой и общая схема реализации универсальной системы отображения капель на стекле. На основе существующих методов проведен анализ их применимости к требованиям автосимуляторов и возможностям реализации на современном аппаратном обеспечении.



Рис. 5. Дождь на стекле



Рис. 6. Визуализация дворников



Рис. 7. Результат визуализации дождя

Для отображения дождя выбран классический метод систем частиц, как наиболее общий, что необходимо для выполнения всех требований, предъявляемых к автосимулятору. Для его работы описанные в работе оптимизации являются принципиальными и позволяют добиться картины плотного дождя.

Для взаимодействия дождя со стеклом и геометрией описывается комбинированный метод обсчета одновременно на процессоре и акселераторе, что позволяет получить как хорошо управляемую дизайнерами, так и эффективную по производительности модель.

Соответствующие методы были реализованы и интегрированы в систему визуализации реального времени, разрабатываемую лабораторией.

При максимальной нагрузке время обсчета кадра, приходящееся на дождевые эффекты, не превышает 3 мсек, что в принципе удовлетворяет условиям систем визуализации реального времени.

## 5. REFERENCES

- [1] Starik S., Werman M., "Simulation of Rain in Videos", 2003
- [2] Wang N., Wade B., "Let It Snow, Let It Snow, Let It Snow (and Rain)", *Game Programming Gems*, 2005
- [3] Tatarchuk N., "Artist Artist-Directable Directable Real Real-Time Rain Rendering in Time Rain Rendering in City Environments", *Game Developers Conference*, 2006
- [4] Cormen T., Leiserson C., Rivest R., Stein C., "Introduction to Algorithms", *Chapter 10, MIT Press*, 2002
- [5] Schneider P. Eberly D., "Geometric Tools for Computer Graphics", *Chapter 11, Morgan Kaufman*, 2003.

## Об авторах:

Все авторы работают в лаборатории - Программных систем машинной графики ИАиЭ СО РАН.

e-mail:

С.М. Козлов - [smk@sl.iae.nsk.su](mailto:smk@sl.iae.nsk.su)

Н.А. Елыков - [nicolas@sl.iae.nsk.su](mailto:nicolas@sl.iae.nsk.su)

И.В.Белаго - [bel@sl.iae.nsk.su](mailto:bel@sl.iae.nsk.su)

## Visualization of rain effects for driving simulators

### Abstract

This paper discusses current models of real-time rain effects rendering. Authors examine existing methods applied to driving simulators, and their pros and cons in such conditions. Also, the new rendering algorithm for surface rain effects is proposed, which works in texture space and therefore can be applied to an arbitrary geometry.

**Keywords:** *raindrops rendering, rain rendering, weather effects*

### About authors

Kozlov Semyon—Institute of Automation and Electrometry SB RAS. E-mail: [smk@sl.iae.nsk.su](mailto:smk@sl.iae.nsk.su)

Elykov Nikolay – Institute of Automation and Electrometry SB RAS.

Belago Igor– Institute of Automation and Electrometry SB RAS.