

Моделирование атмосферы

Modeling of the atmosphere

Ключевые слова: моделирование атмосферы — modeling of the atmosphere; моделирование распространения света — simulation of light propagation; имитационное моделирование — simulation modeling.

Рассматривается метод моделирования атмосферы, позволяющий в реальном времени, кроме моделирования реалистичного цвета неба в любое время суток, моделировать и воздушную перспективу, которая зависит от высоты над землей и параметров атмосферы (плотность, загрязнение поверхностного слоя и т.д.). Представлена модель расчета рассеяния солнечного света в атмосфере.

A method of modeling the atmosphere, allowing real time, except for modeling realistic colors of the sky at any time of the day, model and aerial perspective, which depends on the height above the ground, and atmospheric parameters (density, contamination of the surface layer, etc.). A model for calculating the scattering of sunlight in the atmosphere.

Данная работа проводилась в рамках проекта по созданию тренажера-симулятора авиационной и наземной техники.

В тренажере-симуляторе, атмосферные эффекты очень важны для повышения реалистичности восприятия происходящего. Цвет неба дает представление о времени суток, высоте полета, пространственная перспектива позволяет оценить расстояния. Моделирование данных эффектов в режиме реального времени, важная задача компьютерных имитационных тренажеров-симуляторов.

АЛГОРИТМ ГЕНЕРАЦИИ НЕБОСВОДА

Алгоритм генерации небосвода выглядит следующим образом:

1. Для текущего момента времени и положения камеры рассчитывается кубмап с цветами неба, текстура тумана. Кубмап (CubeMap) — это специальная шестислойная текстура, хранящая изображения 6 сторон куба.

2. Вывод небосвода с цветом, взятым из кубмапа, с добавлением слоев перистых облаков и туманом, на экран.

ГАБДРАХМАНОВ / GABDRAKHMANOV R.

Руслан Магданович

(grm@uriit.ru)

аспирант, ведущий программист Лаборатории информационно-космических технологий Югорского НИИ информационных технологий, Ханты-Мансийск

3. Визуализация остальных объектов.

4. Проверить изменилась ли позиция камеры и время, настолько, что нужно обновить текстуры: Да — шаг 1, Нет — шаг 2.

Основная расчетная функция цвета `compColor (V)`, На вход поступает нормализованный вектор направления взгляда \vec{V} , далее вычисляется угол в сферической системе координат (рис. 1):

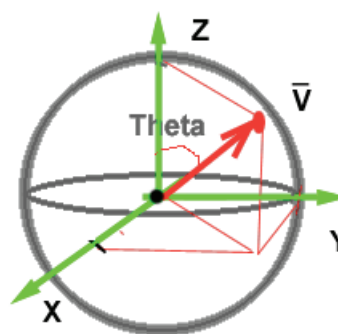


Рис. 1. Сферическая система координат

$$\theta = \arctg\left(\frac{V_z}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}}\right)$$

$$Coeff = (1 - \theta)^2$$

$FinalColor = zenith + (horizon - zenith) * Coeff$ — цвет неба в заданном направлении

Где, цвет зенита, для текущей высоты вычисляется линейной интерполяцией между двумя заданными цветами $zenith0$ (цвет зенита при положении наблюдателя на уровне моря $H=0$) и $zenith8$ (на высоте 8000м). Цветовые градиенты показаны на рисунке 2. Высота h при подстановке в формулу, отсекается в диапазон от 0 до 8000.

$$\text{zenith}(h) = \text{zenith0} + (\text{zenith8} - \text{zenith0}) * h / 8000.0f$$



Рис. 2. Цветовые Градиенты



Рис. 3. Солнечное Гало

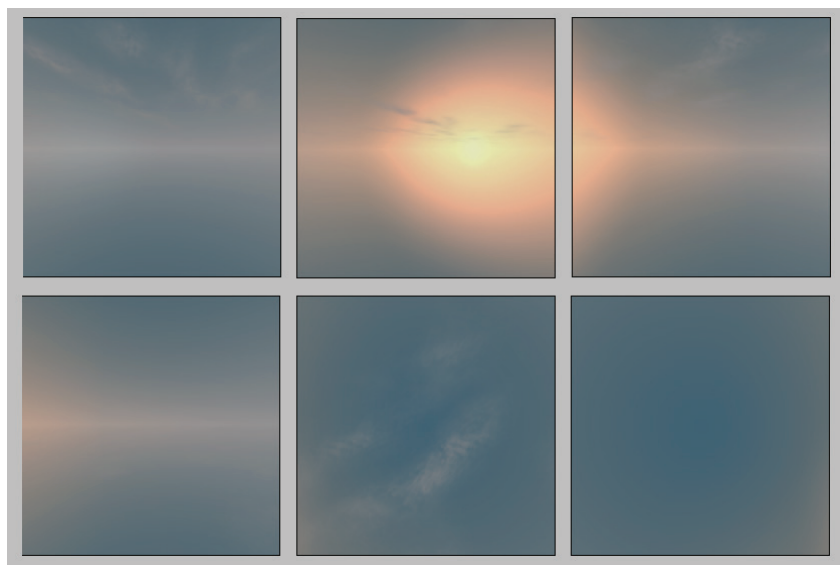


Рис. 4. Стороны кубмапа (в данный кубмап дополнительно добавлены облака)

После интерполяции к результату добавляется засветка (гало) от светил – солнца и луны. При приближении солнца к горизонту, цвет гало от солнца меняется с желтовато-белого, до красного закатного, а размер увеличивался (рис. 3).

Так как генерация текстур для кубмапа происходит на CPU, расчеты производятся медленно, визуализация “замирает” на небольшой интервал

времени (рис. 4). Это негативно сказывается на управлении самолетом и ведении огня, поэтому производится оптимизация расчета тригонометрических функций, а также поэтапное обновление кубмапа. Данные оптимизации решили проблему с плавностью, однако внесли новые нежелательные эффекты – при переключении камеры с точки на большой высоте над ланд-

шафтом, на низкую, цвет неба оставался прежним – темно-синим.

Для устранения обозначенных проблем необходимо производить вычисления на каждом кадре визуализации, то есть в реальном масштабе времени. Для достижения необходимого быстродействия, производится перенос вычислений с процессора на шейдеры. С помощью этого рашаются сразу несколько проблем – убираются задержки при обновлении, убираются визуальные артефакты, повышая точность вычислений (проведя их с более точными функциями и результат можно сохранять также в кубмапе повышенной точности), избежание медленного этапа передачи вычисленных данных с CPU на GPU.

С точки зрения быстродействия – выгодней переносить вычисления на вершинный шейдер, однако для этого необходимо строить специальную геометрическую сетку переменного уровня детализации, плотность полигонов, которой возрастает вблизи светила, для более точной имитации явления гало. А так как светило меняет свое положение на небосводе, то сетку постоянно необходимо пересчитывать. Поэтому необходимо портировать вычисления на пиксельный шейдер. Как показали тесты, большое число арифметических операций и отсутствие текстурных выборок (в процессе смен поколений графической подсистемы растет отношение скорости арифметических операций к скорости текстурным выборок), дает приемлемое быстродействие для видеоподсистемы класса DirectX 9 (Shader Model 3). Время рисования небосвода при разрешении экрана 1024x768x32 составляет менее 7 микросекунд, на видеокарте следующего поколения NVidia Geforce 8800 (класс Direct X10), что соответствует 140 кадрам в секунду.

Для имитации сумеречных явлений необходимо реализовать освещение перистых облаков. Когда солнце немного опускается ниже линии горизонта, облака продолжают ярко освещаться. С дальнейшим опусканием светила, облака начинают затеняться Землей, пока полностью не затемнятся.

Функция вычисления затенения земель основана на проверке пересечения солнечного луча и сферы представляющей модель Земли. Для повышения реалистичности тени производится размытие, с помощью суммирования 16 семплов в окрестности заданной точки.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ – ДОЖДЬ И СНЕГ

Рисование осуществляется направленными полупрозрачными линиями. Начальная точка линии – положение капли дождя (или снежинки) в предыдущем кадре, конечная точка – положение в текущем кадре.

Частицы осадков генерируются случайным образом в 3х мерном объеме – кубе (рис. 5). В дальнейшем они перемещаются в соответствии с уравнениями движения, с дополнительным ограничением – вышедшая из объема частичка, появляется с противоположной стороны куба и продолжает движение. Кубический объем с частицами копируется (повторяется, по типу 2х мерного тайлинга текстур) и заполняет все необходимое для визуализации пространство.

МОДЕЛЬ РАСЧЕТА РАССЕЙЯНИЯ СВЕТА В АТМОСФЕРЕ

С ростом производительности и гибкости графической подсистемы появилась возможность моделирования сложных физических явлений. Поэтому теряется эффективность использования простых эмпирических методов вычислений.

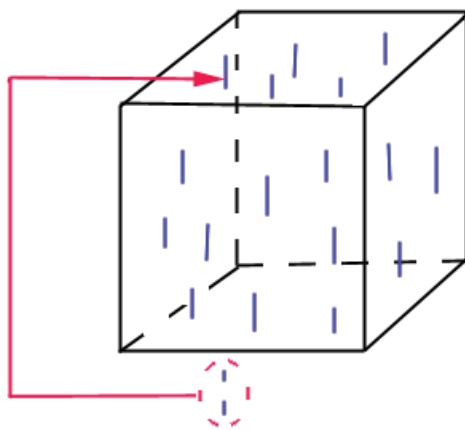


Рис. 5. Моделирование частиц осадков

ГЕОИНФОРМАТИКА



Рис. 6. Изображения экрана с воздушной перспективой и без нее

Был проведен анализ множества работ по моделированию атмосферы и выбран наиболее подходящий метод по визуальной достоверности, с объемом вычислений в реальном времени, не приводящим к снижению времени отклика всей подсистемы визуализации ниже критического порога (30 кадров в секунду).

За основу нами был взят метод Precomputed Atmospheric Scattering [2], который был доработан, исправлены ошибки, в связи с некорректным искажением цветов при закатно-рассветных явлениях.

При построении модели атмосферы, для достижения высокого уровня реалистичности, используются алгоритмы расчета атмосферного рассеивания света. Использован метод визуализации атмосферы в режиме реального времени в широком диапазоне высот точки наблюдения: от уровня моря до открытого космоса, на основе моделей множественного рассеяния света: Rayleigh и Mie. Данный метод позволяет визуализировать основные эффекты рассеяния света внутри атмосферы, например освещение дневного неба, закатно-рассветные явления, дымку (воздушную перспективу), затенение от Земли и гор.

В силу того, что расчет атмосферного рассеяния света в реальном времени, с частотой смены кадров подсистемы визуализации, не представляется возможным, для используемой аппаратной платформы, необходим гибридный метод: предварительный офлайн расчет наиболее вычислительно затратных частей уравнений и “легковесный” финишный этап.

Предложенный метод основан на переформулировке уравнений переноса излучения (описывающих процесс распространения света с учетом его многократного рассеяния), позволяющий разделить вычисления на этап предварительного расчета (таблицы коэффициентов) для всех точек пространства, в ограниченной области вокруг точки, заданной географической координатой

театра военных действий), чтобы в дальнейшем рассчитать искомую функцию цвета для всевозможных направлений взгляда, направлений солнечного света (ограниченных вследствие движения солнца в одной плоскости). Выделение в алгоритме на фазы предварительного расчета трудоемко вычисляемых данных позволяет оценивать в режиме реального времени уравнение переноса излучения (света) за постоянное время, с учетом Земной поверхности, для имитации теней и объемного света.

Большинство методов визуализации атмосферы в реальном времени не используют многократное рассеивание и строятся на упрощениях: плоская модель Земли с константной плотностью атмосферы. Это ограничивает реалистичность и обзорность.

Сравним два изображения экрана с вечерним небом над землей, в первом (рис. 6 слева) отсутствует воздушная перспектива, во втором (рис. 6 справа) она присутствует. Во втором отчетливо ощущается разность расстояний, и чувствуется глубина картинка.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ

Первая часть реализации состоит из нескольких предварительных расчетов, которые делаются один раз для одного набора параметров атмосферы. Результаты расчетов помещаются в текстуры, которые используются в дальнейшем для расчета освещения и цвета в реальном времени.

Алгоритм n -порядка записанный в псевдокоде выглядит так:

$$\begin{aligned} T(\mathbf{x}, \mathbf{v}) &\leftarrow T(\mathbf{x}, \bar{\mathbf{x}}_0(\mathbf{x}, \mathbf{v})) \\ \Delta E(\mathbf{x}, \mathbf{s}) &\leftarrow \bar{E}[\bar{L}_0](\mathbf{x}, \mathbf{s}) \\ \Delta S(\mathbf{x}, \mathbf{v}, \mathbf{s}) &\leftarrow \bar{S}[\bar{L}_0](\mathbf{x}, \mathbf{v}, \mathbf{s}) \\ E(\mathbf{x}, \mathbf{s}) &\leftarrow 0 \\ S(\mathbf{x}, \mathbf{v}, \mathbf{s}) &\leftarrow \Delta S(\mathbf{x}, \mathbf{v}, \mathbf{s}) \end{aligned}$$



Рис. 7. Предзакатные явления

```

for i ← 0 to i < n_orders
do {
  ΔJ(x, v, s) ← J[T  $\frac{\bar{\alpha}}{\pi}$  ΔE + ΔS](x, v, s)
  ΔE(x, s) ←  $\bar{\epsilon}$ [T  $\frac{\bar{\alpha}}{\pi}$  ΔE + ΔS](x, s) =  $\bar{\epsilon}$ [ΔS](x, s)
  ΔS(x, v, s) ← ∫xx0 T(x, y) · ΔJ(y, v, s) dy
  E(x, s) ← E(x, s) + ΔE(x, s)
  S(x, v, s) ← S(x, v, s) + ΔS(x, v, s)
}

```

$T(x, v)$ — это таблица (текстура 2D), для каждой высоты и угла взгляда рассчитывается прозрачность атмосферы, для каждой из цветовой компоненты RGB. $\Delta E(x, s)$ — это таблица (текстура 2D), для каждой высоты и направления на солнце рассчитывается степень освещения. $S(x, v, s)$ — трехмерная “таблица таблиц” (текстура 3D), для каждой высоты, угла взгляда и направления на солнце рассчитывается рассеянное освещение.

В итоге получим данные в виде текстур, они верны для заданных параметров атмосферы (если мы делаем визуализацию в разных широтах, то там разные наборы параметров). Можно использовать эти данные (текстуры) в модели освещения, визуализировать небо в любом направлении и при различных положениях солнца, а так же освещать объекты на разных высотах, в том числе ландшафт (рис. 7).

Метод предварительных вычислений для оптимизации алгоритмов моделирования атмосферы, который позволяет создать модель атмосферы с расчетом распространения солнечного света с учетом преломления и рассеяния волн различной длины, рассчитывать цвета небесной сферы в зависимости от времени суток, моделировать распределения плотности и температуры воздуха, моделирование перемещения воздушных масс и облаков. Такой алгоритм моделирования позволяет снизить загрузку основных процессоров, задей-

ствованных при расчете атмосферы, более чем в 3,5 раза, что позволяет увеличить высоты моделирования в 1,5 раза и увеличить число моделируемых объектов приблизительно в 2 раза.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства образования и науки в рамках реализации государственного контракта № 07.524.12.4014.

Литература

1. Разработка нового поколения компьютерных имитационных тренажеров-симуляторов: отчет о НИОКР (промежуточ.): ООО "Югра-Медиа"; исполн.: Манченко П.А. [и др.]. — Х-М., 2010. — 88 с. — Инв. № 11/23, Рег.№ 01201172992.
2. "Precomputed Atmospheric Scattering", Eric Bruneton and Fabrice Neyret, EGSR 2008 Volume 27.