

Компьютерная графика

Практика 12: Volume rendering

2025

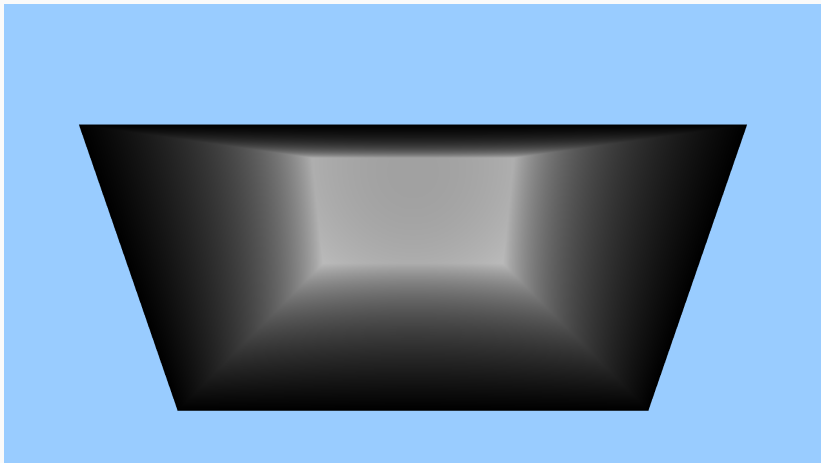


N.B.: В практике можно приближать камеру стрелочками и вращать её с помощью WASD

Задание 1

Находим пересечение с AABV объекта (во фрагментном шейдере)

- Вычисляем **нормированный** вектор направления из камеры в текущую точку поверхности – это вектор направления луча
- Вычисляем пересечение этого луча с AABV: интервал $[t_{min}, t_{max}]$ для которых $p + t \cdot d$ содержится в AABV (в коде уже есть функция `intersect_bbox`, возвращает `vec2(tmin, tmax)`)
- Делаем `tmin = max(tmin, 0.0)`, чтобы не включать часть пересечения сзади камеры
- В качестве цвета пикселя выводим `vec3(tmax - tmin)` (это значение часто будет больше единицы, так что можно разделить, например, на 4.0)



Задание 2

Вычисляем optical depth куба (во фрагментном шейдере)

- Заводим константу для коэффициента поглощения:
`absorption = 1.0`
- Вычисляем optical depth:
`optical_depth = (tmax - tmin) * absorption`
- Вычисляем непрозрачность пикселя:
`opacity = 1.0 - exp(-optical_depth)`
- Записываем значение opacity в альфа-канал
результатирующего цвета (RGB-каналы заполните вашим
любимым цветом)
- Можно поиграться со значением `absorption` чтобы понять,
как оно влияет на результат



Задание 3

Загружаем 3D текстуру

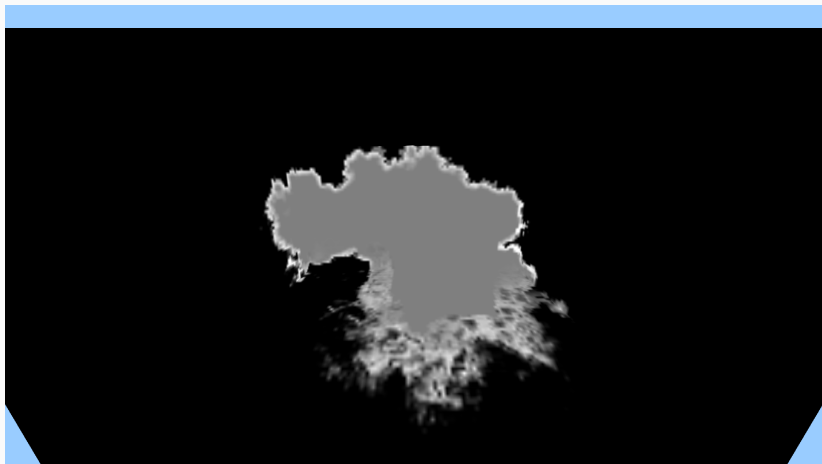
- Создаём текстуру типа `GL_TEXTURE_3D`, min/mag фильтры – `GL_LINEAR`
- Устанавливаем параметры `WRAP_R`, `WRAP_S`, `WRAP_T` в `GL_CLAMP_TO_EDGE`
- Считываем данные из файла `cloud_data_path` (126x86x154, одноканальная, 1 байт на пиксель):
 - Заводим `std::vector<char> pixels(...)` нужного размера
 - Открываем файл
`std::ifstream input(path, std::ios::binary)`
 - Читаем данные
`input.read(pixels.data(), pixels.size())`
- Настраиваем `glPixelStorei(GL_UNPACK_ALIGNMENT, 1)`, чтобы OpenGL не ожидал, что строки текстуры выровнены на 4 байта
- Загружаем в текстуру с помощью `glTexImage3D` (internal format – `GL_R8`, format – `GL_RED`, type – `GL_UNSIGNED_BYTE`)

Загружаем 3D текстуру

- Добавляем текстуру в шейдер (`uniform sampler3D`), выводим в качестве цвета значение из текстуры в точке
$$p = camera_position + direction * (tmin + tmax) / 2.0$$
 - Нужно перевести пространственные координаты в текстурные:
$$(p - bbox_min) / (bbox_max - bbox_min)$$
 - Удобно завести функцию, возвращающую значение из текстуры по точке в пространстве
- В качестве альфа-канала возьмём 1

Задание 3

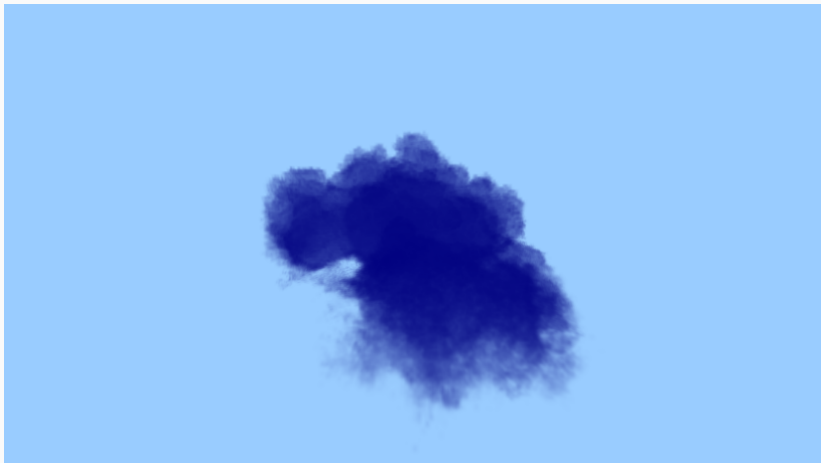
- N.B. можно взять другую текстуру: `bunny.data` (есть в репозитории с заданием)
 - Размер – 64x64x64
 - `bbox_min = vec3(-1, -1, -1)`
 - `bbox_max = vec3(1, 1, 1)`
- или `cloud.data` (есть в репозитории с заданием)
 - Размер – 128x64x64
 - `bbox_min = vec3(-2, -1, -1)`
 - `bbox_max = vec3(2, 1, 1)`



Задание 4

Вычисляем optical depth с помощью front-to-back алгоритма (во фрагментном шейдере)

- Инициализируем `optical_depth = 0`
- Делаем цикл, например, в 64 шага; один шаг цикла соответствует 1/64 части отрезка
`dt = (tmax - tmin) / 64`
 - Вместо 64 можно взять любое другое число; чем больше, тем красивее и медленнее
 - Каждой итерации `i` цикла соответствует значение
`t = tmin + (i + 0.5) * dt`
 - Каждому значению `t` соответствует точка луча
`p = camera_position + t * direction`
 - Берём плотность из текстуры в текущей точке `p`
 - Обновляем optical depth:
`optical_depth += absorption * density * dt`
- Вычисляем opacity как в задании 2
- N.B. если будет плохо видно, можно поиграться со значением `absorption`



Задание 5

Вычисляем рассеяние (во фрагментном шейдере), считаем что фазовая функция не зависит от угла рассеяния (тогда

$$f(p, \theta) = \frac{1}{4\pi}$$

- Коэффициент поглощения можно сделать поменьше (или даже нулём)
- Заводим коэффициенты рассеяния `scattering = 4.0` и вымирания `extinction = absorption + scattering`
- Заводим интенсивность света `light_color = vec3(16.0)`
- Инициализируем рассеянный свет `color = vec3(0.0)`
- В цикле аккумулируем `optical depth`, и рассеянный свет
- `optical_depth += extinction * density * dt`

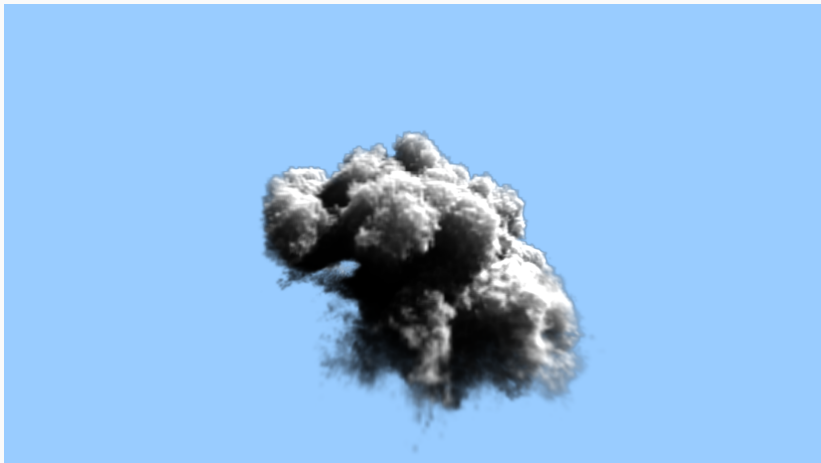
Задание 5

Вычисляем рассеяние

- Для рассеяния нужно посчитать `light_optical_depth` аналогичным вложенным циклом (число итераций может быть другое, например 16) вдоль луча из текущей точки в направлении света `light_direction`
 - Придётся вызвать `intersect_bbox` на каждую итерацию внешнего цикла
 - Придётся читать из текстуры на каждую итерацию внутреннего цикла
- Обновляем рассеянный свет как
$$\text{color} += \text{light_color} * \exp(-\text{light_optical_depth}) * \exp(-\text{optical_depth}) * \text{dt} * \text{density} * \text{scattering} / 4.0 / \text{PI}$$
- В качестве результата шейдера выводим `vec4(color, alpha)`

Задание 5

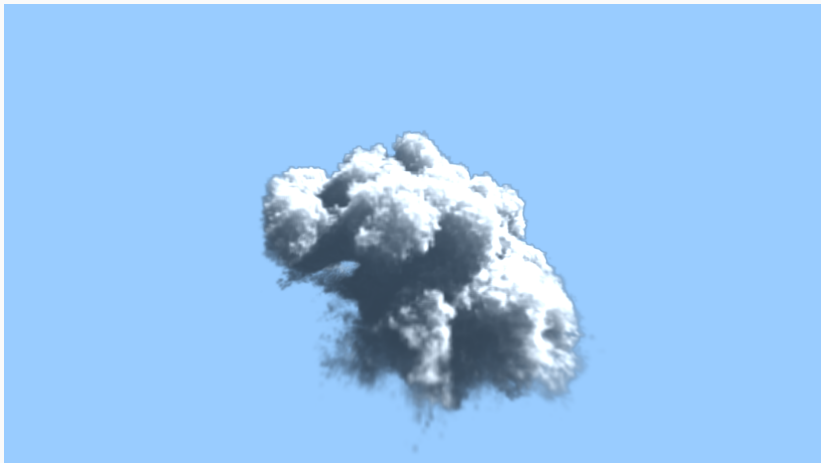
- N.B. если будет слишком медленно работать, можно взять значение N поменьше (напр. 16) и читать конкретный mipmap нашей текстуры (напр. 1 или 2) с помощью функции GLSL `textureLod`
- Не забудьте для этого выставить `MIN_FILTER` в `GL_LINEAR_MIPMAP_LINEAR` и сделать `glGenerateMipmap`



Задание 6

Имитируем ambient освещение

- Настоящее ambient освещение светит отовсюду, для чего пришлось бы посылать лучи из текущей точки во все возможные направления
- В теории, коэффициент ambient освещения можно посчитать заранее и тоже записать в 3D текстуру
- Мы сделаем по-простому: добавим одинаковое значение ambient-освещения во всех точках (игнорируя extinction)
- Заводим цвет ambient освещения (лучше, чтобы он был пропорционален цвету фона), например
`ambient_light = 4.0 * vec3(0.6, 0.8, 1.0)`
- Добавляем его к количеству полученного солнечного света:
`light_color * exp(-light_optical_depth) + ambient_light`
- Далее используем в вычислении рассеянного освещения, как в предыдущем задании



Задание 7*

Разные коэффициенты рассеяния для разных цветов

- Обычный блендинг не умеет делать альфа-канал для каждого цвета по отдельности, так что в качестве opacity будем выводить 1, и сделаем blending с фоном руками в конце фрагментного шейдера:
`color = mix(vec3(0.6, 0.8, 1.0), color, opacity)`
- Коэффициенты `absorption`, `scattering`, `extinction`, а также величины `optical_depth` и `light_optical_depth` должны стать `vec3`
- В координаты `scattering` нужно записать три разных числа (подберите что-нибудь сами в районе 1..10)
- Поиграйтесь со значением `scattering`, чтобы посмотреть, как оно влияет на результат

