МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Институт №8 «Информационные технологии и прикладная математика»
Кафедра 806 «Вычислительная математика и программирование»

Курсовой работа
по курсу «Параллельная обработка данных»

Обратная трассировка лучей (*Ray Tracing*). Технологии *MPI*, *CUDA* и *OpenMP*

Выполнил: А. О. Дубинин
Группа: 8О-407Б
Преподаватели: К.Г. Крашенинников,
А.Ю. Морозов

Москва, 2021

Условие

Цель работы.

Использование *GPU* для создания фотореалистической визуализации. Рендеринг полузеркальных и полупрозрачных правильных геометрических тел. Получение эффекта бесконечности. Создание видеоролика.

Задание.

Сцена. Прямоугольная текстурированная поверхность (пол), над которой расположены три платоновых тела. Сверху находятся несколько источников света. На каждом ребре многогранника располагается определенное количество точечных источников света. Грани тел обладают зеркальным и прозрачным эффектом. За счет многократного переотражения лучей внутри тела, возникает эффект бесконечности.

Камера. Камера выполняет облет сцены согласно определенным законам. В
цилиндрических координатах (r, φ, z) положение и точка направления камеры в
момент времени t определяется следующим образом:

$r_c(t) = r_c^0 + A_c^r \sin(\omega_c^r \cdot t + p_c^r)$;

$z_c(t) = z_c^0 + A_c^z \sin(\omega_c^z \cdot t + p_c^z)$;

$\varphi_c(t) = \varphi_c^0 + \omega_c^\varphi t$;

$r_n(t) = r_n^0 + A_n^r \sin(\omega_n^r \cdot t + p_n^r)$;

$z_n(t) = z_n^0 + A_n^z \sin(\omega_n^z \cdot t + p_n^z)$;

$\varphi_n(t) = \varphi_c^0 + \omega_c^\varphi t$,

Где

$t \in [0, 2\pi]$.

Требуется реализовать алгоритм обратной трассировки лучей (http://www.ray-tracing.ru/) с использованием технологии *CUDA*. Выполнить покадровый рендеринг сцены. Для устранения эффекта «зубчатости», выполнить сглаживание (например, с помощью алгоритма *SSAA*). Полученный набор кадров склеить в видеоролик любым доступным программным обеспечением. Подобрать параметры сцены, камеры и освещения таким образом, чтобы получить наиболее красочный результат.

Провести сравнение производительности *gpu* и *cpu* (т.е. дополнительно нужно реализовать алгоритм без использования *CUDA*).

Вариант 7.

На сцене должны располагаться три тела:

7. Гексаэдр, Октаэдр, Додекаэдр

Программное и аппаратное обеспечение

GeForce 940MX

Compute capability:	5.0
Dedicated video memory:	4096 MB
shared memory per block:	49152 bytes
constant memory:	65536 bytes
Total number of registers available per block:	65536
Maximum number of threads per multiprocessor:	2048
Maximum number of threads per block:	1024
(3) Multiprocessors, (128) CUDA Cores/MP:	384 CUDA Cores

Intel(R) Core (TM) i5-7200U CPU @ 2.50GHz

Architecture:	x86_64
Byte Order:	Little Endian
CPU(s):	4
Thread(s) per core:	2
Core(s) per socket:	2
CPU MHz: CPU max MHz: CPU min MHz:	713.848 3100,0000 400,0000
L1d cache: L1i cache: L2 cache: L3 cache:	64 KiB 64 KiB 512 KiB 3 MiB

RAM	8GiB SODIMM DDR4 Synchronous Unbuffered (Unregistered) 2400 MHz (0,4 ns)

SSD(SPCC_M.2_SSD)	223,6G
HDD(ST1000LM035-1RK172)	931,5G

OS: Ubuntu 20.04 focal
IDE: jetbrains clion
compiler: nvcc

Метод решения

Алгоритм

Поверхность задана, как массив треугольников. Главное вычисление происходит, при поиске пересечения луча и поверхности. Мы используем оптимизированный вариант вычислений, который был показан на лекции

$$\begin{bmatrix} t \\ u \\ v \end{bmatrix} = \frac{1}{dot(P, E1)} * \begin{bmatrix} dot(Q, E2) \\ dot(P, T) \\ dot(Q, D) \end{bmatrix}$$

$$E1 = v1 - v0$$

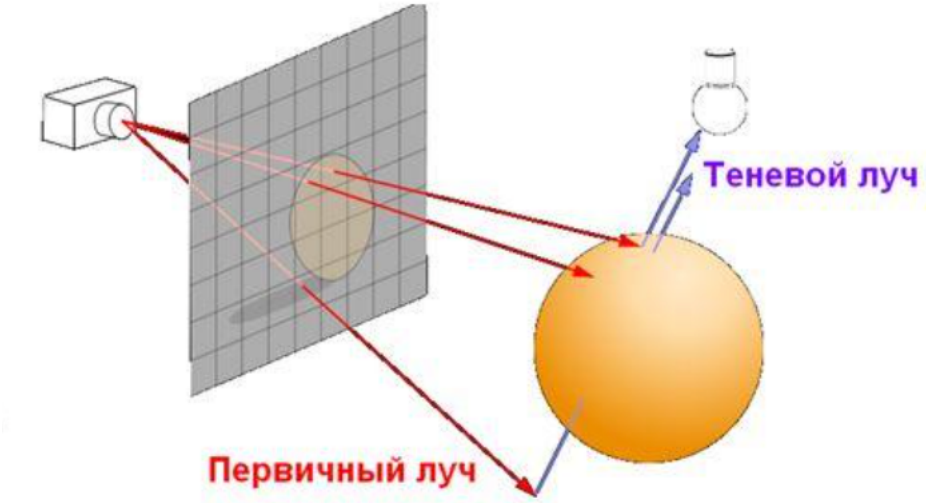
$$E2 = v2 - v0$$

$$T = p - v0$$

$$P = cross(D, E2)$$

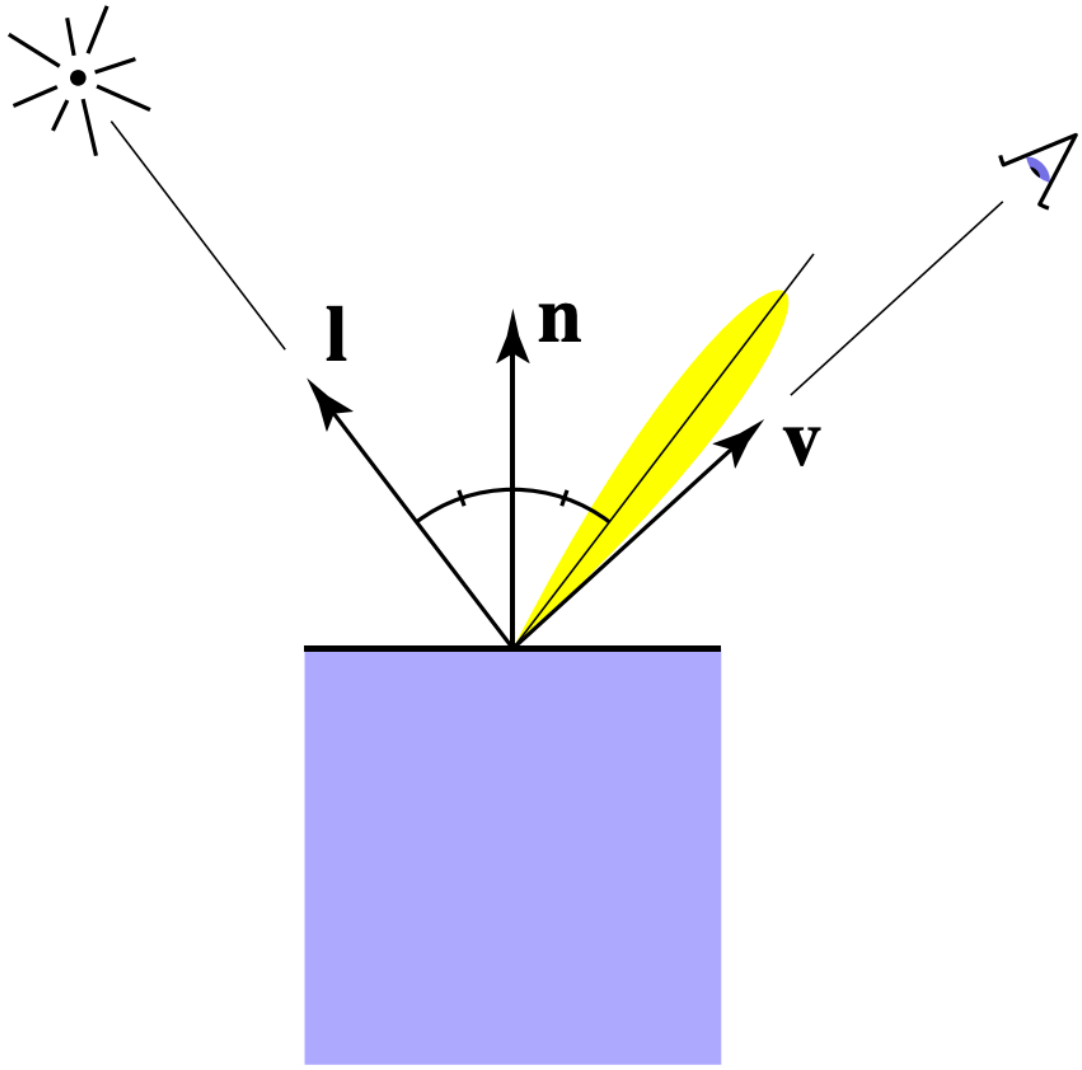
$$Q = cross(T, E1)$$

$$D = v$$



Свет

Нужно было добавить тени в код лекции, для этого мы использовали модель освещения фонга. При вычислении нужно точки выпускаем луч в источник света, как мы делали в случае выпуска лучей из точки наблюдения. Если этот луч врежится в какую-либо поверхность до попадания в источник света, то эта точка будет являться тенью.



Тела

Самое сложное для отладки было нарисовать тела. Мой вариант предусматривал появление Додекаэдр. Начинал я с других фигур, где я выбрал кодстаил под названием hardcode, что казалось очень естественно, когда вершин фигур мало. Когда дело дошло до Додекаэдра я осознал, что мой кодстайл был не особо приемлимый, но все же я решил, продолжить отрисовку 30 полигонов. Ошибки были сложно отлавливаемый, но при рендеренге можно было понять примерно где искать.
Что касается самих тел:
Hexahedron – куб строися на основании формулы радиуса описанного шара, откуда вычислив сторону. Мы легко могли найти все углы путем сложения\вычитания половины стороны.

$$R = a\sqrt{3}/2$$

Octahedron – строился логически просто, координаты были взяты из википедии.
(±1, 0, 0);
(0, ±1, 0);
(0, 0, ±1).

Dodecahedron – так же были взяты формулы из википедии для правильно додекаэдра. Формулы были взяты для радиуса √3, поэтому отнормировав для нашего радиуса и центра мы получили правильный додекаэдр
(±1, ±1, ±1)
(0, ±ϕ, ±1/ ϕ)
(±*1/*ϕ, 0, ±ϕ)
(±ϕ, ± *1/*ϕ, 0)
, где ϕ – *золотое сечение.*

SSAA

Метод позволяющий бороться с алисингом был взять из лр2, где текстурная ссылка успешно заменилась на обычную.

```
for(y = 0; y < h; y += 1) {
    for(x = 0; x < w; x += 1) {
        s = make_uint4(0,0,0,0);
        for (i = 0; i < wScale; ++i) {
            for (j = 0; j < hScale; ++j){
                p = src[ w * wScale * (y * hScale + j)
                                    + (x * wScale + i) ];
                s.x += p.x;
                s.y += p.y;
                s.z += p.z;
            }
        }
        s.x /= n;
        s.y /= n;
        s.z /= n;
        out[y * w + x] = make_uchar4(s.x, s.y, s.z, s.w);
    }
}
```

MPI

Самое сложное было вспомнить как правильно пересылать динамические данные другим процессам, для этого был выбрал broadcast. Единственное изменение, кроме передачи параметров состояло в том, что каждый

процесс вычисляет определенные кадры, для этого была изменена одна строка.

```
<     for (int iter = id; iter < frames; iter += numproc) {
---
>     for (int iter = 0; iter < frames; ++iter) {
```

OpenMP

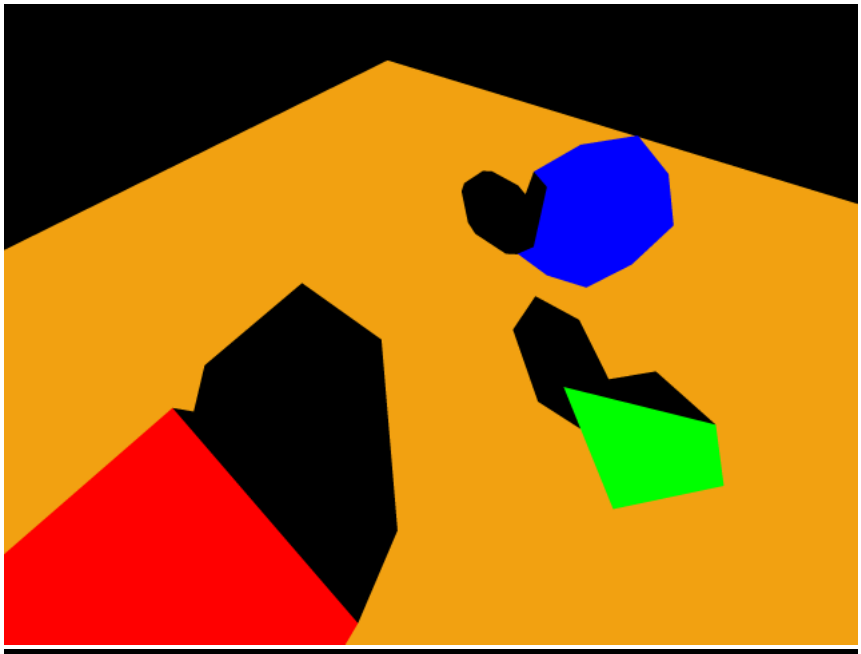
Было добавлено распараллеливание рендера на cpu:

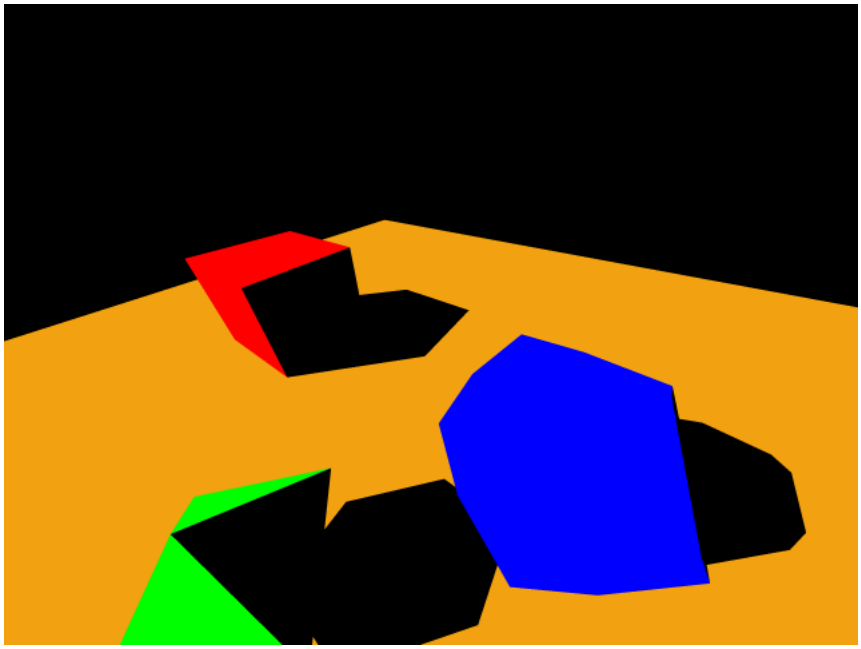
```
#pragma omp parallel for
```

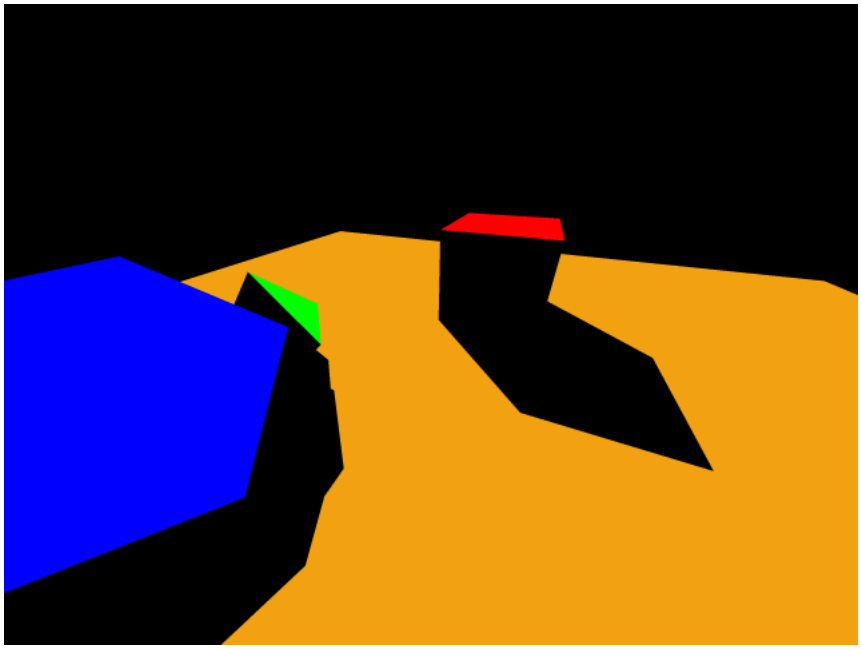
Так же был вариант добавить прагму в SSAA, но после некоторых проверок на скорость работы, это решение было отметено.

Результат

Конфигурация сцены была выбрана методом подбора поэтому пролет не получился идеальным. Создание видео было выполнено с помощью gimp, как было показано на лекции







Сравним скорость обработки ray tracing, на cpu и gpu. Сравнивать мы будем, меняя коэффициент SSAA, так как при большом коэффициенте будет генерироваться большая картинка и соответственно будет выпускаться больше лучей. Картинка на выходе будет иметь размер 640x480. Будем считать среднее время, затрачиваемое на генерацию одного кадра.

SSAA multiplier	Rays	GPU (ms)	CPU (ms)
1	307200	61.1	1284.3
2	1228800	225.6	5618.4
4	4915200	819.4	21557.1

Сравним скорость работы на CPU с openmp и без него

SSAA multiplier	Rays	Openmp	CPU (ms)
1	307200	313.5	1284.3
2	1228800	1213.5	5618.4
4	4915200	4943.5	21557.1

Скорость работы с mpi и без него сложно мерить, так как в моем распоряжении нет настоящего кластера и так как затраты на поддержку процессов и broadcast большие. Так же есть вероятность, что на сервере, который мне для моего пользователя стоит ограничения на cpu, поэтому

код mpi процессов выполняется на одном физическом потоке. Поэтому время с одним процессом и с множеством не сильно отличается.
В данном случае в графе время указывалось общее время работы программы.

SSAA multiplier	Rays	Np = 8	Np = 1
4	4915200	0m27.589s	0m27.175s
8	19660800	1m58.653s	1m46.824s

Выводы

Исходя из результатов мы можем понять, что openmp сильно ускоряет работу с cpu, а интерфейс работы с openmp попрежнему сохраняет лидерство в моем сердце по своей простоте. Работа с MPI была интересна с точки зрения запуска и анализа эффективности, хоть мне и не удалось получить прироста производительности, было интересно наблюдать в htop, как все ядра системы были заняты моей программой.