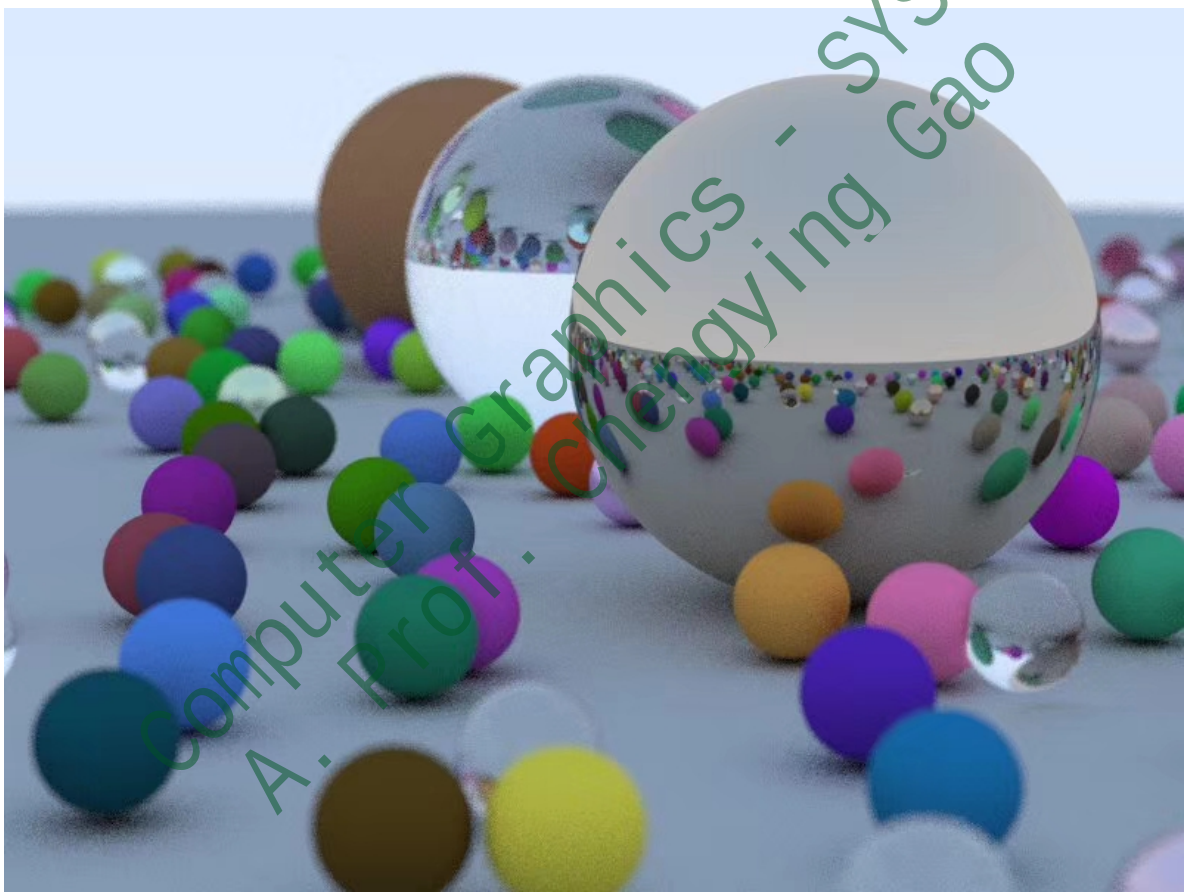
Assignment 4: Ray Tracing

Computer Graphics Teaching Stuff, Sun Yat-Sen University

Due Date: ***12 pm, 30 May 2021***

Submission: Send the report (In ***PDF*** *Format) to mailbox cg_hw_2021@163.com*

> 在完成了前几次的作业之后，相信同学们对基于光栅化的渲染方法和管线有了比较深入的了解。但在重度追求**以假乱真的影视特效领域**，基于光线追踪的渲染算法才是主流。与基于光栅化方法不同，光线追踪算法模拟真实光线的反射、折射过程，能够实现极度真实的渲染效果。此次作业的任务是要求同学们动手实现一个简单的光线追踪渲染器，我们有提供详细的教程一步一步带你实现这个渲染器。



本次作业你们将实现的渲染效果图

1、作业概述

本次作业的主题为基于光线追踪的渲染，要求同学们动手实现一些光线追踪渲染器的基本算法，加深对光线追踪算法的理解。本次作业要求在提供的代码框架上，跟着我们提供的教程一步一步地实现相应的效果。提供的教程为英文教程，但同学们不必担心，该英文教程直观易懂，没有太多晦涩难懂的术语，对新手友好，放心食用。

2、代码框架

关于本次作业的框架代码部署和构建，请仔细阅读`CGAssignment4/readme.pdf`文档，基本上与`CGAssignment3`没有太大的差别。本次作业依赖的第三方库为：

- **SDL2**：窗口界面库，主要用于创建窗口给并显示渲染的图片结果，本作业不需要你对这个库深入了解

这些第三方库同学们无需太过关注，我们的框架代码已经构建好了相应的功能模块。目录`CGAssignment4/src`存放我们的渲染器的所有代码文件：

- **main.cpp**：程序入口代码，负责执行主要的渲染循环逻辑；
- **WindowsApp(.h/.cpp)**：窗口类，负责创建窗口、显示结果、处理鼠标交互事件，无需修改；

本次的代码框架比较简单。在`main.cpp`中，我们首先声明了一个二维数组作为画布，数组的每个元素存储画布上的`r`、`g`、`b`三个颜色通道的颜色值，每个颜色通道的取值范围为`[0,1]`的浮点数。

```
typedef std::array<float, 3> Pixel;                 //RGB pixel
static std::vector<std::vector<Pixel>> gCanvas;     //Canvas
```

在`main`函数中，我们创建窗口句柄、启动渲染线程。渲染在另一个线程上，这是为了防止阻塞主线程的`GUI`交互事件。主线程将渲染线程的画布内容显示到屏幕上。

```
int main(int argc, char* args[])
{
    // Create window app handle
    WindowsApp::ptr winApp = WindowsApp::getInstance(gWidth, gHeight,
"CGAssignment4: Ray Tracing");
    if (winApp == nullptr)
    {
        std::cerr << "Error: failed to create a window handler" << std::endl;
        return -1;
    }

    // Memory allocation for canvas
    gCanvas.resize(gHeight, std::vector<Pixel>(gWidth));

    // Launch the rendering thread
    // Note: we run the rendering task in another thread to avoid GUI blocking
    std::thread renderingThread(rendering);

    // Window app loop
    while (!winApp->shouldWindowClose())
    {
        // Process event
        winApp->processEvent();

        // Display to the screen
        winApp->updateScreenSurface(gCanvas);

    }

    renderingThread.join();

    return 0;
}
```

Computer Graphics - SYSU
A. Prof. Chengying Gao

`rendering()`函数是渲染循环的主函数，在这里我们遍历画布的每个像素点，并为这些像素计算颜色值，然后调用`writeRGBToCanvas`函数将颜色写入到画布的相应位置上。**你将在这个函数里面实现一些光线追踪渲染算法的逻辑。**这里初始的实现为`Ray Tracing in One Weekend.pdf`教程里面的`Chapter 1:Output an image`。

```
void rendering()
{

    printf("CGAssignment4 (built %s at %s) \n", __DATE__, __TIME__);
    std::cout << "Ray-tracing based rendering launched..." << std::endl;
    int nx = gWidth;
    int ny = gHeight;

    double startFrame = clock();

    // The main ray-tracing based rendering loop
    // TODO: finish your own ray-tracing renderer according to the given
tutorials
    for (int j = ny - 1; j >= 0; j--)
    {
        for (int i = 0; i < nx; i++)
        {
            float r = float(i) / float(nx);
            float g = float(j) / float(ny);
            float b = 0.2f;

            // Note: call writeRGBToCanvas() to write the pixel once you finish
the calculation of the color
            writeRGBToCanvas(r, g, b, i, j);
        }
    }
    double endFrame = clock();
    double timeConsuming = static_cast<double>(endFrame - startFrame) /
CLOCKS_PER_SEC;

    std::cout << "Ray-tracing based rendering over..." << std::endl;
    std::cout << "The rendering task takes " << timeConsuming << " seconds" <<
std::endl;
}
```

Computer Graphics - SYSU
A. Prof. Chengying Gao

编译运行本次作业的代码框架，你应该得到如下的结果：

Computer Graphics - SYSU
A. Prof. Chenglying Gao

3、作业描述

本次作业提供了两个教程文件，分别为`《Ray Tracing in One Weekend》`和`《Ray Tracing The Next Week》`，本次作业大部分要完成的任务在`《Ray Tracing in One Weekend》`文件。教程文件可能看起来有点长，不必惊慌，这是因为教程里面贴了大量的代码。请同学们先打开`《Ray Tracing in One Weekend》`文件，花一两分钟阅读Chapter 0概述章节。**作业的代码框架已经帮你们实现好了`Chapter 1`和`Chapter 2`，因此在阅读完这两个章节之后你无需再做任何的补充和修改。**（注：对于`Chapter 1`，本作业框架直接在窗口屏幕上显示渲染效果，与教程殊途同归）

Task 1、阅读`《Ray Tracing in One Weekend》`的`Chapter 3`，完成射线类和简单的摄像机构建，并渲染一个渐变的蓝色天空背景图。贴出效果图，简述你遇到的问题以及是如何解决的。

Task 2、阅读`《Ray Tracing in One Weekend》`的`Chapter 4`、`Chapter 5`和`Chapter 6`，为场景添加并渲染一个简单的球形物体。贴出效果图，简述你遇到的问题以及是如何解决的。

特别注意：`Chapter 6`会用到一个`[0,1)`均匀随机数生成函数`drand48`，该函数在windows操作系统下没有声明和定义，同学们可以用以下的`drand48()`函数替代（将代码复制粘贴到项目里面）。其他任何用到`drand48`的地方我们不再赘述。

```
#define m 0x100000000LL
#define c 0xB16
#define a 0x5DEECE66DLL

static unsigned long long seed = 1;

double drand48(void)
{
    seed = (a * seed + c) & 0xFFFFFFFFFFFFLL;
    unsigned int x = seed >> 16;
    return  ((double)x / (double)m);
}
```

Task3、阅读`《Ray Tracing in One Weekend》`的`Chapter 7`、`Chapter 8`和`Chapter 9`，为场景中的球形物体添加漫反射材质、金属材质和电解质材质，并渲染相应的材质效果图。贴出效果图，简述你遇到的问题以及是如何解决的。

Task4、阅读`《Ray Tracing in One Weekend》`的`Chapter 10`和`Chapter 11`，实现摄像机的聚焦模糊效果。贴出效果图，简述你遇到的问题以及是如何解决的。

Task5、阅读`《Ray Tracing in One Weekend》`的`Chapter 12`，渲染一张炫酷真实的图片。贴出效果图，简述你遇到的问题以及是如何解决的。

特别提醒：本任务渲染需要的时间多一点（几分钟），请耐心等待！（推荐`release`模式编译运行）。教程文件没有给出场景的参数设置，因此这里列出了场景的参数设置。

```
int nx = 1200;
int ny = 800;
int ns = 10;
std::cout << "P3\n" << nx << " " << ny << "\n255\n";
hitable *world = random_scene();

vec3 lookfrom(13,2,3);
vec3 lookat(0,0,0);
float dist_to_focus = 10.0;
float aperture = 0.1;

camera cam(lookfrom, lookat, vec3(0,1,0), 20, float(nx)/float(ny), aperture, dist_to_focus);
```

Task6、阅读`《Ray Tracing The Next Week》`的`Chapter 2`，为场景物体构建一颗BVH树（Bounding Volume Hierarchies，包围体层次结构），加速追踪的射线与场景的求交计算过程。对比有无BVH树的渲染时间，简述你遇到的问题以及是如何解决的。

特别提醒：本任务是需要阅读第二个教程文件`《Ray Tracing The Next Week》`。

Task7、跟着提供的教程实现了一个光线追踪渲染器，谈谈你对基于光线追踪渲染的理解以及你的困惑、感想和收获，当然也欢迎同学们提出宝贵的作业意见反馈。

Task8、完成`《Ray Tracing The Next Week》`教程的剩余章节，欢迎感兴趣、有能力的同学完成。（选做）

注意事项:

- 光追渲染运算量大，请尽可能地在`release`模式下编译运行。
- 将作文文档、源代码一起压缩打包，文件命名格式为：学号+姓名+HW4，例如19214044+张三+HW4.zip。
- **提交的文档请提交编译生成的pdf文件，请勿提交markdown、docx以及图片资源等源文件！**

Computer Graphics - SYSU
A. Prof. Chengying Gao

- **提交代码只需提交源代码文件即可，请勿提交教程文件、作业描述文件、工程文件、中间文件和二进制文件（即删掉build目录下的所有文件！）。**
- 禁止作业文档抄袭，我们鼓励同学之间相互讨论，但最后每个人应该独立完成。

Computer Graphics - SYSU
A. Prof. Chengying Gao