PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

Progressive Photon Mapping

吴克文 梁家硕

2017 年 5 月

PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

综述

本作业参考了三篇论文 [1][3][4]，以及书 [2] 和 Stanford CS148 课件，综合效果和实现难度进行了调整，删去了繁琐的细节调整和性能优化部分。
BRDF 参数及代码来自网站http://www.merl.com/brdf/

PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

综述

本作业参考了三篇论文 [1][3][4]，以及书 [2] 和 Stanford CS148 课件，综合效果和实现难度进行了调整，删去了繁琐的细节调整和性能优化部分。
BRDF 参数及代码来自网站http://www.merl.com/brdf/

更多技术细节详见 Equestrotopia.pdf 和 src 文件夹中的代码以及 Github 仓库https://github.com/liangjs/Equestrotopia

PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

1. PPM vs PM
2. 效果展示
3. 环境与使用
4. 总流程
5. 核心算法
   - Lighting Equation
   - Ray Tracing Pass
   - Photon Tracing Pass
   - Progressive Updation
6. 阶段性效果图比较
7. 参考文献

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

Section 1

PPM vs PM

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

Why Progressive Photon Mapping

Photon Mapping 作为全局光照领域的主流算法，以其高效率，能处理多种光照效果等特点，一直受到广泛的关注。

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

Why Progressive Photon Mapping

Photon Mapping 作为全局光照领域的主流算法，以其高效率，能处理多种光照效果等特点，一直受到广泛的关注。然而，Photon Mapping 算法的一个主要问题在于，使用光子进行光能估计的过程引入了偏差。理论上，要完全消除偏差，需要存储无穷的光子，这从计算机存储角度来看是不可接受的。

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

Why Progressive Photon Mapping

Photon Mapping 作为全局光照领域的主流算法，以其高效率，能处理多种光照效果等特点，一直受到广泛的关注。
然而，Photon Mapping 算法的一个主要问题在于，使用光子进行光能估计的过程引入了偏差。理论上，要完全消除偏差，需要存储无穷的光子，这从计算机存储角度来看是不可接受的。
为此，Toshiya Hachisuka 提出了 Progressive Photon Mapping(又称渐进式光子映射)，采用多遍的绘制流程，通过不断向场景中发射光子达到不断减小偏差的目的，亦解决了 Photon Mapping 的存储问题。

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

Section 2

效果展示

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

环境

Arch Linux x86_64 Linux 4.10.13-1-ARCH
gcc (GCC) 6.3.1 20170306
cmake version 3.8.0
GNU Make 4.2.1
OpenGL version: 3.0 Mesa 17.0.5

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

环境

Arch Linux x86_64 Linux 4.10.13-1-ARCH
gcc (GCC) 6.3.1 20170306
cmake version 3.8.0
GNU Make 4.2.1
OpenGL version: 3.0 Mesa 17.0.5

使用

```
$ cmake .
$ make
$ ./updation
```

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

Section 4

总流程

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

Algorithm 1: 总流程

Input: 模型，材质
Output: 渲染图片

```
1  读入模型与材质信息;
2  执行光线追踪，并存储撞击点;
3  for 发射光子轮数 do
4  |   执行光子追踪;
5  |   存储光子图;
6  |   for 撞击点 do
7  |   |   找到其附近的光子;
8  |   |   累积光子对其影响;
9  |   |   更新撞击点信息;
10 |   end
11 end
12 生成渲染图片;
```

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

Subsection 1

Lighting Equation

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

BRDF

BRDF(双向反射分布函数), 全称为 Bidirectional Reflectance Distribution Function，用来定义给定入射方向上的辐射照度如何影响给定出射方向上的辐射率。更笼统地说，它描述了入射光线经过某个表面反射后在各个出射方向上的分布效果。

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

BRDF

BRDF(双向反射分布函数), 全称为 Bidirectional Reflectance Distribution Function，用来定义给定入射方向上的辐射照度如何影响给定出射方向上的辐射率。更笼统地说，它描述了入射光线经过某个表面反射后在各个出射方向上的分布效果。

光照方程

$$L_o(\mathrm{x}, \omega_o) = L_e(\mathrm{x}, \omega_o) + \int_\Omega BRDF(\mathrm{x}, \omega_i, \omega_o) L_i(\mathrm{x}, \omega_i)(\omega_i \cdot \mathrm{n})\, d\omega_i \tag{1}$$

其中，L_e 为直接光照，x 为空间坐标，n 为平面法向量，ω_o, ω_i 分别为出射和入射方向。

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

Subsection 2

Ray Tracing Pass

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

光线追踪

从观察点出发，通过光线追踪来获得可见点 (hitpoints)，同时计算直接光照的贡献。

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

光线追踪

从观察点出发，通过光线追踪来获得可见点 (hitpoints)，同时计算直接光照的贡献。

注

在镜面较多的场景中可用反（折）射次数作为阈值强制结束 Ray Tracing Pass。

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

Algorithm 2: 光线追踪

Input: 摄像机，光源，宽，高，场景信息
Output: 撞击点, 初始图片

```
初始化图片 (宽 x 高);
初始化撞击点列表;
for 图片像素 do
    初始化光线;
    获取光线与场景交点;
    while 交点是透明材质 do
        确定是反射或折射;
        改变光线方向;
        重新获取交点;
    end
    累积直接光照影响;
    存储撞击点;
end
返回撞击点列表和初始图片;
```

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

Subsection 3

Photon Tracing Pass

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

光子追踪

每轮 Photon Tracing Pass，从光源随机方向发射一批光子，追踪每个光子的运动轨迹，考虑到效率，将光子能量的衰减用随机被物体表面吸收（或达到折反射阈值）来控制，这样每个光子的能量即为定值，折反射仅改变其颜色向量（通过 BRDF 计算）。

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

光子追踪

每轮 Photon Tracing Pass，从光源随机方向发射一批光子，追踪每个光子的运动轨迹，考虑到效率，将光子能量的衰减用随机被物体表面吸收（或达到折反射阈值）来控制，这样每个光子的能量即为定值，折反射仅改变其颜色向量（通过 BRDF 计算）。

注

由于直接光源已在 Ray Tracing Pass 计算过，故每个光子与场景的第一个交点不必计入 photon map。

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

Algorithm 3: 光子追踪

Input: 光源，场景
Output: 光子图

```
初始化光子图;
for 每轮光子数量 do
    随机光子发射方向;
    while 未到最大折反射次数且未被吸收 do
        获取光子与场景交点;
        将交点存储于光子图;
        if 光子未被吸收 then
            判断折射或反射;
            更新方向信息;
        end
    end
end
返回光子图;
```

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

Subsection 4

Progressive Updation

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

更新模型

结束 Photon Tracing Pass 后，需要枚举每个 hitpoint，同时统计其半径 R 内光子对其亮度影响。

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

更新模型

结束 Photon Tracing Pass 后，需要枚举每个 hitpoint，同时统计其半径 R 内光子对其亮度影响。

推导

记 $N(\mathrm{x})$ 为上轮后在 hitpoint x 半径 $R(\mathrm{x})$ 内的光子数，$M(\mathrm{x})$ 为本次新增光子数，同时 $\hat{N}(\mathrm{x}), \hat{R}(\mathrm{x})$ 分别为新累计光子数和半径，则有如下更新，

$$\hat{N}(\mathrm{x}) = N(\mathrm{x}) + \alpha M(\mathrm{x}) \tag{2}$$

$$\hat{R}(\mathrm{x}) = R(\mathrm{x}) \sqrt{\frac{N(\mathrm{x}) + \alpha M(\mathrm{x})}{N(\mathrm{x}) + M(\mathrm{x})}} \tag{3}$$

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

推导

记 $\tau_N(\mathrm{x},\omega)$ 和 $\tau_M(\mathrm{x},\omega)$ 为在 x 处，入射光方向为 ω 的前光强和新增光强（未乘 BRDF 系数），则有

$$\tau_{\hat{N}}(\mathrm{x},\omega) = (\tau_N(\mathrm{x},\omega) + \tau_M(\mathrm{x},\omega))\frac{N(\mathrm{x}) + \alpha M(\mathrm{x})}{N(\mathrm{x}) + M(\mathrm{x})} \tag{4}$$

其中，$\alpha \in (0,1)$ 是一常数。

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

推导

再记总发射光子数为 $N_{emitted}$，ϕ 为光子光强，则最终辐照率表达式为，

$$L(\mathrm{x},\omega) = \int_{2\pi} BRDF(\mathrm{x},\omega,\omega')L(\mathrm{x},\omega')(\mathrm{n}\cdot\omega')\,(d)\omega' \tag{5}$$

$$\approx \frac{1}{\Delta A}\sum_{p=1}^{n} BRDF(\mathrm{x},\omega,\omega')\Delta\phi_p(\mathrm{x_p},\omega_p) \tag{6}$$

$$= \frac{1}{\pi R(\mathrm{x})^2}\frac{\tau(\mathrm{x},\omega)}{N_{emitted}} \tag{7}$$

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

Section 6

阶段性效果图比较

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks


Toshiya Hachisuka, Shinji Ogaki, and Henrik Wann Jensen.
Progressive photon mapping.
ACM Transactions on Graphics (TOG), 27(5):130, 2008.


Henrik Wann Jensen.
Realistic image synthesis using photon mapping, volume 364.
Ak Peters Natick, 2001.


Ben Spencer and Mark W Jones.
Progressive photon relaxation.
ACM Transactions on Graphics (TOG), 32(1):7, 2013.


李睿, 陈彦云, and 刘学慧.
基于自适应光子发射的渐进式光子映射.
计算机工程与设计, 33(1):219–223, 2012.

Progressive Photon Mapping
吴克文 梁家硕
PPM vs PM
效果展示
环境与使用
总流程
核心算法
Lighting Equation
Ray Tracing Pass
Photon Tracing Pass
Progressive Updation
阶段性效果图比较
参考文献
Thanks

Thanks!