在孤岛危机5结束时,材质系统依然有些过时.因为很大程度上是基于2012年的迪斯尼BRDF模型,但漫反射依然沿用Lambertian而不是迪斯尼漫反射模型.

美术人员也提到了一些问题:通常人们仍然希望看到更多的高光,同时也希望看到柔和的漫反射衰减.

Multiple-scattering microfacet BSDFs with the Smith model 这篇论文为多重散射提供了思路,但没有提供实时渲染的方案.

s2017\_pbs\_imageworks\_slides\_v2 这篇论文提供了近似解.

如果反射能量在给定BRDF (基于GGX的微面BRDF)和一个视角方向上为:

则找到一个多重散射BRDF 使得能量保守:

下列BRDF是上述的解:

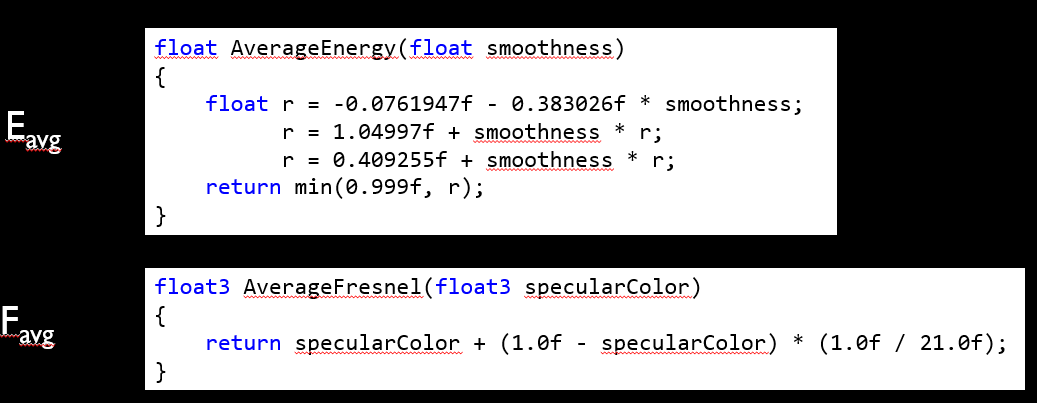
其中由公式(1)定义,

实际上,只有在微面发生100%反射时,公式(3)才能成立.由于光线在微面上发生多重散射,使用会损失部分能量.因此,我们对无限次反弹的损失求和,并通过以下方程缩放我们的多散射BRDF.

其中是菲涅耳项,它使我们在每次反弹时损失的平均能量只有一小部分.

需要求解的项:

1. :根据公式(1)将结果存储在2D纹理中,以角度的cos值和粗糙度作为UV坐标映射
2. :拟合函数
3. :拟合函数



**测试结果:对电介质物体几乎没有明显效果;但对金属材质的外观由巨大提升**.

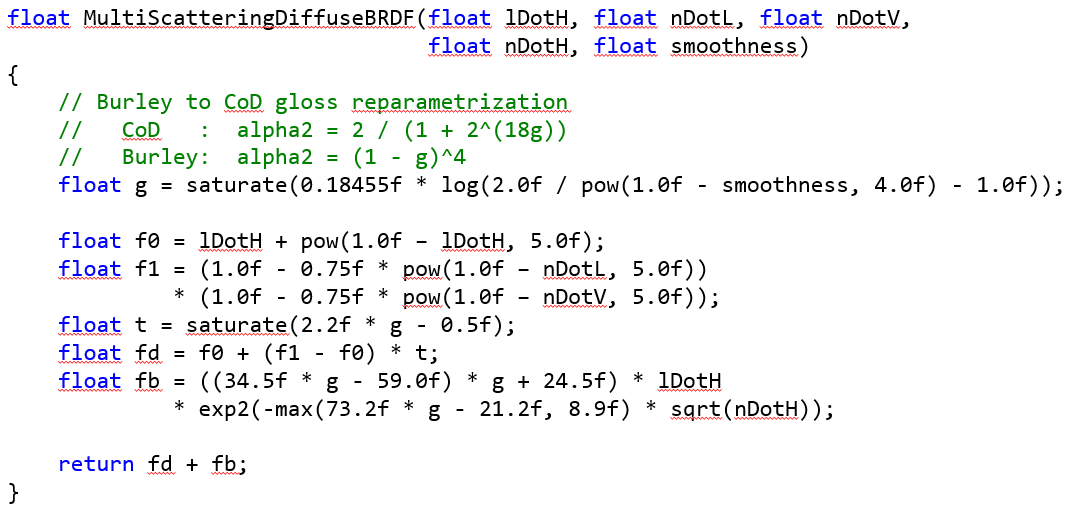
以上公式是针对镜面反射而言的.

改善Lambertian漫反射的目标:

1. 考虑入多重散射
2. 考虑表面粗糙度对漫反射的影响
3. 考虑法线分布对漫反射的影响
4. 漫反射和镜面反射是能量守恒的

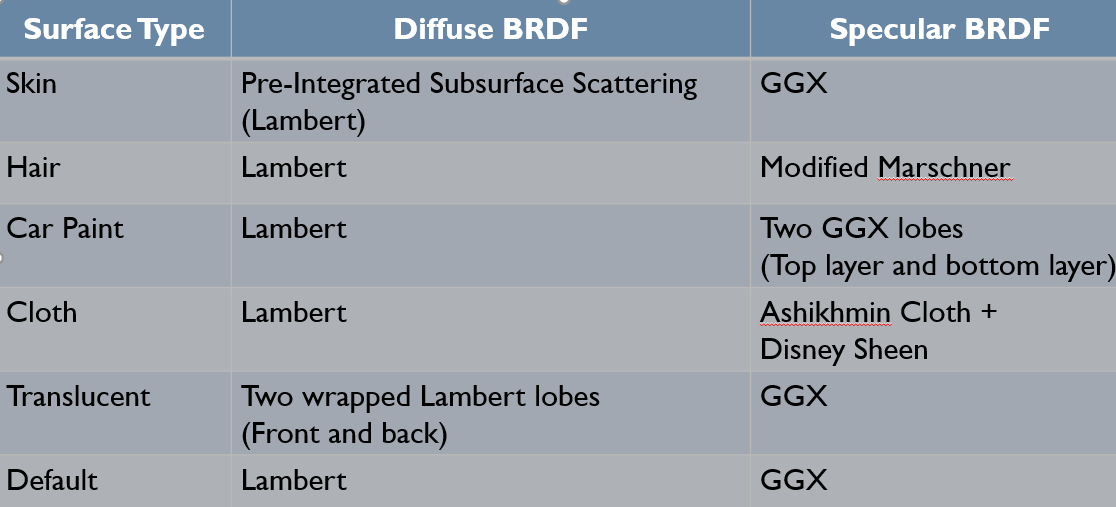
Material Adances in Call of Duty:WWW 给出了多重漫反射模型

Danny Chan通过拟合Multiple-scattering microfacet BSDFs with the Smith model源码生成的数据找到了解析解:



**测试结果:多重漫反射使低粗糙度物体在掠影角处明暗之间的过渡更加柔和；使高粗糙度物体的亮部产生回射现象;**.

孤岛危机5目前使用的方案

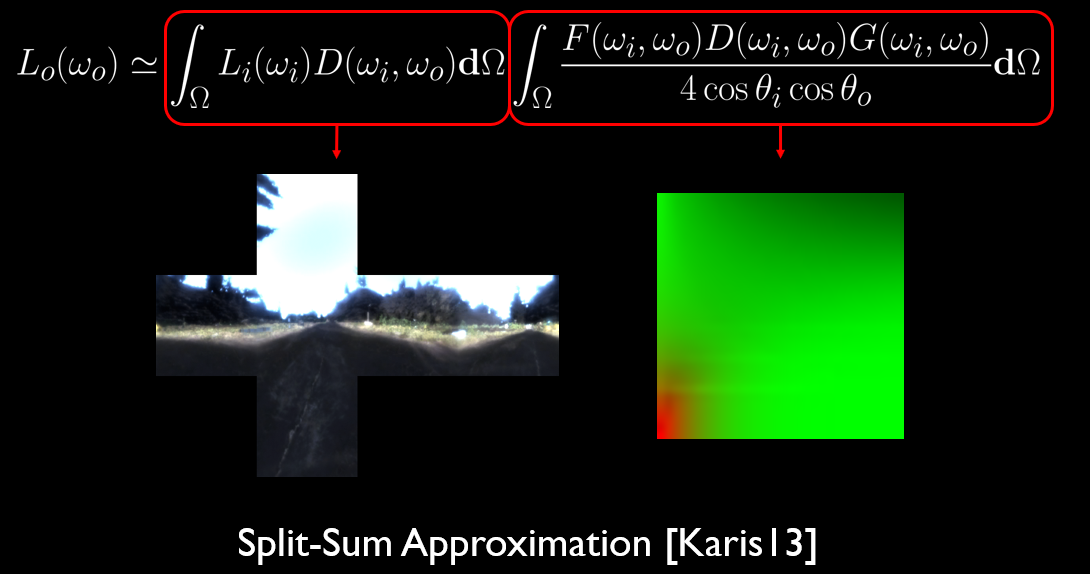


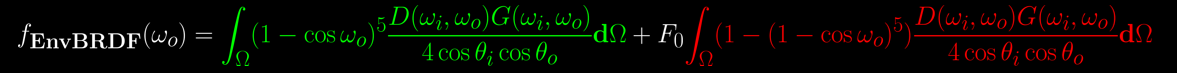
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Light Type** | **Diffuse Evaluation** | **Specular Evaluation** |
| Direct | Analytic | Analytic |
| Indirect | Spherical Harmonics | Screen-Space Reflections  Pre-Integrated Cube Maps  Pre-Integrated BRDF |

**现在的问题**:

**间接镜面光没有多重散射**:

间接镜面光公式(可能存在错误):





公式(4)是类似,用于多重散射.

由于上式无法写为的线性关系,所以无法依赖现有的,无法实现随变化的预积分.

《A Multiple-Scattering Microfacet Model for Real-Time Image-based Lighting》提供了解决方案:

float2 FssEss = envBRDF.x + F0 \* envBRDF.y;

float Ess = envBRDF.x + envBRDF.y;

float Ems = 1.0f - Ess;

float Favg = F0 + (1.0f / 21.0f) \* (1.0f - F0);

float Fms = FssEss \* Favg / (1.0f - Favg \* (1.0f - Ess));

float Lss = FssEss \* radiance;

float Lms = Fms \* Ems \* irradiance;

return Lss + Lms;

最后倒数第二行的irradiance可以改为倒数第三行所使用的radiance.

作者的近似:

上述式子是作者的近似,利用泰勒展开用多项式近似左侧,单需要很高的阶才能精确近似结果.

Environment BRDF的多重散射公式:

上述公式的另一个版本:

头发镜面光没有多重散射

TODO

**面光源(区域光源)**

引入LTC来解决区域光的问题，使用拟合矩阵来解决BRDF的问题

考虑菲涅尔项的影响

**实现过程**:

**1,离线生成查询表**:

* 逆矩阵变换(对多重散射BRDF进行编码)
* BRDF数值大小和菲涅尔

**2,在shader中**:

* 计算面光源的坐标
* 应用逆变换
* 在半球上计算多边形余弦分布积分
* 乘以BRDF大小并加上菲涅尔

当前使用的方案

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Surface Type** | **Diffuse BRDF** | **Specular BRDF** |
| Skin | Pre-Integrated Subsurface Scattering (Lambert) | GGX |
| Hair | Lambert | Modified Marschner |
| Car Paint | Lambert | Two GGX lobes  (Top layer and bottom layer) |
| Cloth | Lambert | Ashikhmin Cloth + Disney Sheen |
| Translucent | Two wrapped Lambert lobes  (Front and back) | GGX |
| Default | Lambert | GGX |

计划使用的方案

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Surface Type** | **Diffuse BRDF** | **Specular BRDF** |
| Skin | Pre-Integrated Subsurface Scattering (Lambert) | GGX + Multiscattering Lobe |
| Hair | Multiscattering Diffuse | Modified Marschner + ??? |
| Car Paint | Multiscattering Diffuse | Two GGX  + Multiscattering Lobes  (Top layer and bottom layer) |
| Cloth | Multiscattering Diffuse | Ashikhmin Cloth + Disney Sheen |
| Translucent | Two wrapped Lambert lobes  (Front and back) | GGX + Multiscattering Lobe |
| Default | Multiscattering Diffuse | GGX + Multiscattering Lobe |

光源方案

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Light Type** | **Diffuse Evaluation** | **Specular Evaluation** |
| Area | Analytic with  Pre-Integrated BRDF | Analytic with  Pre-Integrated BRDF |
| Direct | Analytic | Analytic |
| Indirect | Spherical Harmonics | Screen-Space Reflections  Pre-Integrated Cube Maps  Pre-Integrated BRDF |

解决布料的多重漫反射光

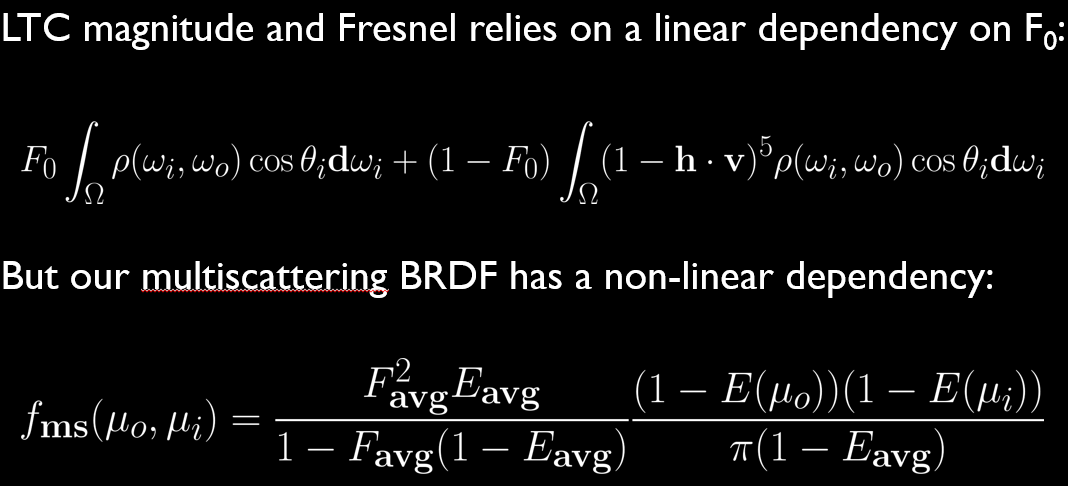
采用Ashikhmin方案和迪斯尼Sheen方案:

对于面光源:

原文对公式(7)的具体求解过程没有给出明确的说明.

面光源镜面多重反射光:

要解决的问题是



再次利用公式(5)或(6).

Wrapped Lambertian漫反射:

后面看不懂了.

点光源衰减:

其中r和d分别为点光源范围和着色点与光源的距离.这里的方案和虚幻4一致.

聚光灯边缘衰减

其中分别对应着色点与聚光灯轴线之间的夹角,聚光灯的内夹角和外夹角.

