

# Optical Models for Direct Volume Rendering

Dezeming Family

2022 年 12 月 28 日

正常字体：表示论文的基本内容解释。

粗体：表示需要特别注意的内容。

红色字体：表示容易理解错误或者混淆的内容。

蓝色字体：表示额外增加的一些注释。

绿色字体：表示额外举的一些例子。

## 目录

一 Introduction	1
二 Absorption only	1
三 Emission only	1
四 Absorption plus emission	1
五 Scattering and Shading	2
六 Shadows	2
七 多散射	2
7.1 The zonal method . . . . .	2
7.2 The Monte Carlo method . . . . .	2
7.3 The P-N method . . . . .	2
7.4 The discrete ordinates method . . . . .	2
参考文献	2

# abstract

这个教学性质的综述描述了关于 absorbing、glowing、reflecting 和/或 scattering 材质的模型。类别主要有（依次增加真实感）：

- absorption only
- emission only
- emission and absorption combined
- single scattering of external illumination without shadows
- single scattering with shadows
- multiple scattering

该综述文章较为古老而且并不困难，因此本文并不提供详细的描述，仅仅作为一个该论文的导读，主要是说明一下各个章节讲了什么内容（否则可能有些人会看半天也不知道每小节的主旨思想）。

## 一 Introduction

体素分辨率有限，因此需要插值。插值方式有两种，传输函数会将体素值映射为材质属性，那么第一种方式就是先插值体素值，然后再将插值后的体素值映射为材质属性；另一种是先映射为材质属性，然后再对材质属性进行插值。这有点类似于 Phong 着色（插值法向量值，可以保证更好的细节）和 Gouraud 着色（插值着色直，这导致相邻面片之间颜色过渡有视觉不舒适感）之间的区别。

为了计算生成体渲染图像，光学特性必须沿着每条观察射线连续积分，但这并不意味着只能使用光线跟踪技术，有些逐平面合成的方法都可以使用。

本文应用微分方程，适用于连续介质（在粒子无限小的极限下），因此吸收、发射和散射发生在射线的每一个无穷小的部分。对于黑白图像，将强度和光学性质表示为标量的方程；对于彩色图像中的多个波长带（例如 RGB），每个波长都是符合这些方程的（标量替换为向量即可）。

## 二 Absorption only

最简单的介质就是由完美黑体粒子组成的，这种粒子会吸收所有它们相交的光，并不散射或者发射。假设这些粒子都是同样大小的球体，半径  $r$ ，令  $\rho$  表示单位体的粒子密度，经过一些公式定义就能得到公式 (1)。

## 三 Emission only

此时可以假设当前的介质是非常热的稀薄气体，会发光，但几乎是透明的。  
经过一些公式定义就能得到公式 (4)。

## 四 Absorption plus emission

经典的常规的吸收-发射方程的定义过程。

## 五 Scattering and Shading

为了更真实，需要对体素外部的照明进行散射。在最简单的模型中，有时在犹他大学早期着色图像中称为“犹他近似”：假设外部照明从远处到达体素，期间不受任何干涉或吸收的影响。

此时引入了相位函数，相位函数的一个常用公式是 Henyey-Greenstein 函数，它可以近似于球形粒子（其大小与光波长相当）的米氏散射 (Mie scattering)。

在体空间中，一般用梯度来作为类似于表面模型的法向量。

## 六 Shadows

考虑光源到体素的衰减，得到公式 (1)。

这个过程其实可以用两步法解决，就是先计算光源穿过体空间，计算每个位置处的照明，然后再在光线追踪过程中计算散射。

## 七 多散射

多散射应该考虑各个方向经过多次散射的光，见公式 (15)，论文中给出了四种方法：zonal method, Monte Carlo method, P-N method 和 discrete ordinates method。

### 7.1 The zonal method

假设介质散射时各向同性的，也就是说  $g(X, \omega)$  ( $g$  可以理解为某点朝向某方向发出的光，或者是散射到某方向的光，作为“源”项) 仅仅与位置  $X$  有关。在这种情况下，互反射表面 (interreflecting surfaces) 的漫反射光能传递方法可以扩展到体渲染中。

总之就是计算体素对其他体素的贡献，可以通过对外部光源进行传播的方法来进行。

### 7.2 The Monte Carlo method

其他论文里有对蒙特卡洛方法更好的解释，这里也不是很经典的方法。

### 7.3 The P-N method

在每个点  $X$  上，在单位球面方向  $\omega$  上展开球谐中的  $I(X, \omega)$ ，得到球谐展开系数的耦合偏微分方程组，可以用有限差分法求解。

### 7.4 The discrete ordinates method

该过程也依赖于前面的几个的方法，我没有仔细了解过。

## 参考文献

- [1] Max N. Optical models for direct volume rendering[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 1995, 1(2): 99-108.