

1 全局光照

光照是渲染的基础. 为了理解渲染的过程, 我们需要理解光在环境中的传输过程.

1.1 渲染方程

1.1.1 辐射度量学

为了描述光的传输过程, 我们需要引入一些**辐射度量学 (Radiometry)** 的概念.

基本假设 首先, 我们在渲染时总是假设几何光学成立, 这导致了对光有如下基本假设:

定理 1.1 光的基本假设

1. **线性:** 光的传输是线性的, 即多束光的叠加等于各束光的单独传输之和.
2. **能量守恒:** 光经过散射后, 散射光的能量不大于入射光的能量.
3. **无偏振:** 忽略光的偏振效应.
4. **稳态:** 环境中光的分布不随时间变化.

基本物理量 在辐射度量学中, 我们主要关心以下物理量: 通量, 辐照度, 强度和辐射率. 需要注意的是这些度量都依赖于波长, 但在本章的讨论中我们通常不表明这一依赖关系.

定义 1.2 通量 通量 (Flux) Φ 表示单位时间内通过某一给定面的光的能量, 即

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}$$

光源的总发射常用通量表示, 因为从上述定义可以看出通量与我们选取的截面无关.

定义 1.3 辐照度与辐射出射度 辐照度 (Irradiance) E 表示单位面积上接收到的通量, 辐射出射度 (Radiant Exitance) M 表示单位面积上发出的通量. 对于空间中给定面上的一点 p , 其辐照度可以通过微分定义如下:

$$E(p) = \frac{d\Phi(p)}{dA}$$

定义 1.4 强度 强度 (Intensity) I 表示单位立体角上发射的通量. 点光源在某一特定方向 ω 上的通量 I 可以通过微分定义如下:

$$I(\omega) = \frac{d\Phi(\omega)}{d\omega}$$

强度描述了光的方向分布, 但仅对点光源有意义.

定义 1.5 辐射率 辐射率 (Radiance) L 相比辐照度考虑了光在不同方向上的分布. 空间中某一点 p 在方向 ω 上的辐射率可以定义如下:

$$L(p, \omega) = \frac{dE_\omega(p)}{d\omega} = \frac{d^2\Phi(p, \omega)}{dA^\perp d\omega}$$

其中 $dA^\perp = dA \cos \theta$ 表示垂直于 ω 的面积元.

也即, 给定点 p 处的指定方向 ω 上的辐射率 $L(p, \omega)$ 表示 ω 上单位立体角和垂直 ω 上单位面积上的通量.

在所有这些辐射度量中, 辐射率将在本章中最频繁地使用. 某种意义上它是所有辐射度量中最基本的, 如果给定了辐射率, 那么所有其他值都可以通过对辐射率在区域和方向上的积分来计算.

辐射率的另一个良好属性是在通过空间中的射线上保持不变. 这意味着我们只需考虑 $L(p, \omega)$ 在物体表面上的取值, 而不必考虑光在空间中传播的过程.

在上述所有物理量中, 比较重要的是辐射率 L 与辐照度 E 的关系. 对于给定面上的一点 p 以及此处的法向量 n , 入射到该点的辐照度 $E(p)$ 可以通过该点在各个方向上的辐射率积分得到:

$$E(p) = \int_{\Omega} L_i(p, \omega_i) \cos \theta_i d\omega_i$$

其中 Ω 表示以 p 为顶点的半空间, 通常选择法向量 n 对应的半球, 记作 $H^2(n)$. θ_i 表示入射方向 ω_i 与法向量 n 之间的夹角.

1.1.2 反射模型

当光线入射到表面时, 表面会散射光线, 将部分光线反射回环境中. 建立这种反射模型需要描述两种主要效应: 反射光的光谱分布和方向分布.

双向反射分布函数 BRDF 为了描述表面对光的反射特性, 我们引入双向反射分布函数 (Bidirectional Reflectance Distribution Function, BRDF). BRDF 描述了入射光线和出射光线之间的关系.

定义 1.6 双向反射分布函数 给定表面上某一点 p , 入射方向 ω_i 和出射方向 ω_o , BRDF 定义为:

$$f_r(p, \omega_i, \omega_o) = \frac{dL_o(p, \omega_o)}{L_i(p, \omega_i) \cos \theta_i d\omega_i}$$

其中 θ_i 是入射方向与表面法线之间的夹角.

1.2 光线投射与光线追踪

1.2.1 光线投射

大部分环境中的光都不能被镜头所捕捉, 因此相比于考虑每个光源发出的每条光线, 我们不妨采取逆向思维, 考虑那些最终到达镜头的光线. 由于光路是可逆的, 因此我们从镜头向屏幕上的点连一条线, 该射线在场景中击中的第一个物体将决定该点的颜色.

定义 1.7 光线透射 光线投射