就像BSDF表征场景中表面的反射一样，Medium类实现表示在表面之间发生的散射。例子包括大气散射效应，例如雾度，在彩色玻璃窗中的吸收，或一瓶牛奶中脂肪球的散射。从技术上讲，所有这些现象都是由于与大量微观粒子的表面相互作用所致，尽管与单独考虑相比，找到一种更轻松的建模方法更为可取。使用本章中描述的模型，假设粒子是如此之多，以致可以使用统计分布而不是显式枚举来表示它们。本章首先介绍了传递方程，该方程描述了有参与媒体的场景中的辐射的平衡分布，然后介绍了许多对与参与媒体进行蒙特卡洛积分有用的采样方法。有了这个基础，就可以引入VolPathIntegrator-它扩展了PathIntegrator来解决存在参与介质的情况下的光传输方程。在第15.4节介绍了如何从BSSRDF分布中进行采样之后，第15.5节介绍了BSSRDF的实现，该模型对在折射面界定的介质中的聚合光散射进行建模。尽管该方法是用从表面射出的辐射来表示的，但由于本方法的实现是基于对参与介质中传递方程的近似解，因此本章中包括了该方法。

15.4 采样次表面反射函数 2020年9月4日17点24分

现在,我们将在第11.4节中介绍的BSSRDF接口的基础上,实施对第5.6.2节中介绍的地下散射方程进行采样的技术.我们的任务是估计

图15.6提出了评估积分的复杂性.要在给定点的位置上计算出辐射的计算该方程式的标准蒙特卡洛估计,我们需要一种对表面上的点进行采样并计算这些点处的入射辐射的技术,以及一种有效的方法来计算 每个采样点和入射方向的BSSRDF 的特定值.

VolPathIntegrator可以用于评估BSSRDF：给定表面上的一对点和一对方向,该积分器可以用于计算在点上从方向入射的光在该点处离开对象的比例 通过沿着光的传播路径通过介质中的多个散射事件，在方向上形成.除了标准的路径跟踪或双向路径跟踪技术外,许多其他光传输算法也适用于此任务.

但是,许多半透明物体的特征是反照率很高,经典方法无法有效地对其进行处理.例如,Jensen等人(2001b)测量脱脂乳的散射特性,发现反照率为0.9987.当基本上所有的光在介质中的每次相互作用时都被散射并且几乎没有吸收时,光很容易从最初进入介质的位置传播出去。 必须考虑数百甚至数千个散射事件才能计算出准确的结果;考虑到牛奶的反照率很高,在100次散射事件后,仍有87.5％的入射光通过路径传播,在500次散射事件后为51％,在1000次散射后仍然为26％.

BSSRDF类实现表示这些类型的媒体的聚集散射行为,从而可以相当有效地渲染它们.图15.7显示了使用BSSRDF渲染的龙模型的示例. BSSRDF接口的实现必须提供的主要采样操作BSSRDF :: Sample\_S（）确定内部散射后光线重新出现的表面位置.

直接返回两个点和方向的BSSRDF值，并通过si和pdf参数返回相关的曲面相交记录和概率密度。 必须提供两个样本：用于离散采样决策（例如，选择配置文件的特定光谱通道）的一维样本和映射到si的二维样本。 稍后我们将看到，对于BSSRDF实现而言，能够针对场景几何体跟踪光线以找到si很有用，因此也将场景作为参数提供。

15.4.1 采样SeparableBSSRDF

回想一下11.4.1节中引入的简化假设,该假设将BSSRDF分解为可以相互独立采样的空间和方向分量.具体地,等式(11.6)将S定义为单个空间项和与入射和出射方向有关的一对方向项的乘积.

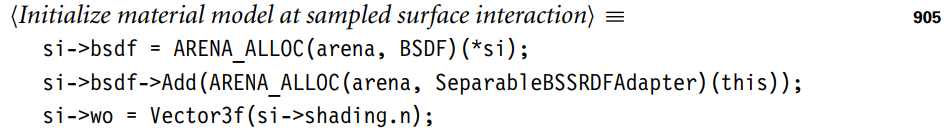
空间项进一步简化为径向轮廓函数:

现在,我们将解释SeparableBSSRDF的采样例程如何处理所有这些因素.该类实现了一个适用于任意径向轮廓函数的抽象采样接口.在15.4.2节中讨论的TabulatedBSSRDF类派生自SeparableBSSRDF,并提供此轮廓的特定列表表示形式,以支持有效评估和精确重要性采样.

返回到方程,如果我们假设仅对通过表面边界透射的光线采样BSSRDF,其中以概率选择透射，则对于的部分不需要做任何事.(如果适用，片段占地下散射的情况就是这样。）这是对调用代码的合理期望，因为这种方法具有良好的蒙特卡洛效率.

这留下了和项-前一项是通过调用SeparableBSSRDF::Sample\_Sp()（稍后将讨论）来处理的,该函数返回位置.

如果成功采样位置,则该方法使用类SeparableBSSRDFAdapter的实例初始化si-> bsdf,该实例将方向项表示为BxDF.尽管此BxDF并不真正依赖于出方向si-> wo，但我们仍然需要使用伪方向对其进行初始化.

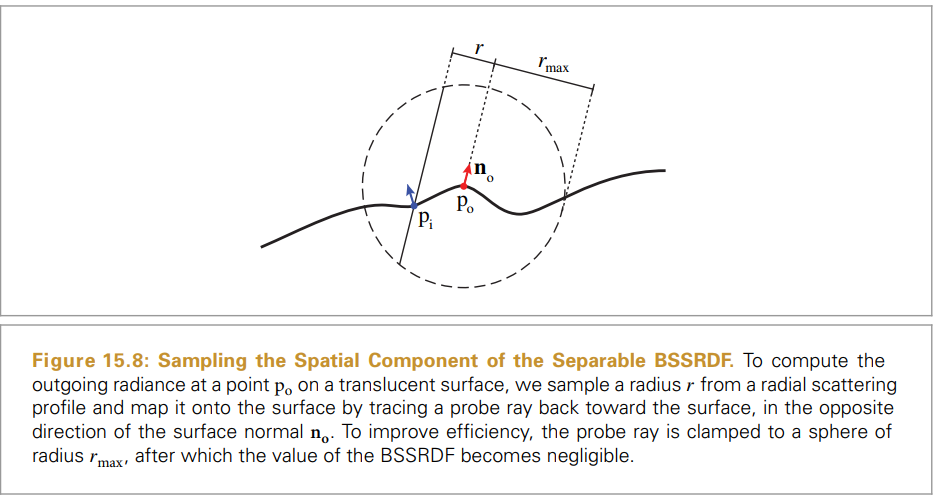


SeparableBSSRDFAdapter类是SeparableBSSRDF :: Sw()的瘦包装器.回想一下,方程（11.7）中的被定义为通过归一化菲涅耳透射定标的类扩散项.因此,SeparableBSSRDFAdapter将自身分类为BSDF\_DIFFUSE，并且仅使用BxDF::Sample\_f()提供的默认余弦加权采样例程.

与折射BSDF相似,必须将与光传输模式有关的缩放因子应用于f（）方法为项返回的值.在16.1节中将更详细地讨论此问题,并在其中定义了应用此缩放比例的片段Update BSSRDF传输项以解决伴随的光传输.

为了对空间分量进行采样,我们需要一种在输出位置附近表面的参数化将2D分布函数映射到任意表面的方法.获取此类参数化的概念上直接的方法是借助测地线,但是查找和评估它们并非易事,并且需要为所支持的每种形状进行大量的实现工作.我们使用一种更简单的方法,该方法使用射线跟踪将径向轮廓映射到场景几何上.

图15.8说明了基本思想:位置和相应的法线定义了表面的近似平面.使用2D极坐标,我们首先采样一个以为中心的方位角和半径值,然后通过将偏移垂直射线与图元相交将该位置映射到实际表面上,从而生成位置.SeparableBSSRDF类仅支持径向对称轮廓函数.因此,是从[0,2π）上的均匀分布得出的,并且r根据径向轮廓函数进行分布.



这种基本方法仍然存在一些困难:

径向轮廓不一定在整个波长范围内都是均匀的-实际上,平均自由程在不同光谱通道之间可能相差几个数量级.

如果表面的几何形状很难通过平面近似,并且没有,其中是处的表面法线,则探测射线将以掠角入射到表面,因此位置具有较高的的采样率可能太低.结果是渲染差异很大(图15.9).

最后,探针射线可能会沿其长度与多个表面位置相交,所有这些位置可能会导致反射辐射.

前两个问题可以通过熟悉的方法解决.也就是说,通过引入其他量身定制的抽样分布,并使用多重重要性抽样将它们组合起来.第三个将很快解决.

我们对每个波长使用不同的采样技术来处理光谱变化,并且每种技术还另外重复了三次,并使用了本地帧的基本向量所给出的不同投影轴,总共产生了3种\* Spectrum :: nSamples采样技术 .这确保了S取不小的值的每个点都以合理的概率相交.这种技术组合在SeparableBSSRDF :: Sample\_Sp（）中实现.

我们首先选择一个投影轴.请注意,当表面接近平面时,沿着法线SeparableBSSRDF :: ns投影显然是最好的采样策略,因为沿其他两个轴的探测射线很可能会错过该表面.因此,我们将样本预算的相当大一部分(50％)分配给垂直射线.另一半在沿着SeparableBSSRDF :: ss和SeparableBSSRDF :: ts的切向投影之间平均共享.所选坐标系的三个轴分别存储在vx，vy和vz中,并遵循我们通常的相对于z轴的球面坐标系中测量角度θ的约定.