

---

---

# 基于方向光辐射度的微结构表面全局光照绘制<sup>\*</sup>

彭通<sup>1+</sup>, 王莉莉<sup>1</sup>, 谢乃闻<sup>1</sup>, 赵沁平<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(北京航空航天大学大学 计算机学院, 虚拟现实技术与系统国家重点实验室, 北京 100191)

## Global Illumination of meso-structure surfaces based on Directional Light Radiosity<sup>\*</sup>

Peng Tong<sup>1+</sup>, Wang Li-Li<sup>1</sup>, Xie Nai-Wen<sup>1</sup>, Zhao Qin-Ping<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(State Key Laboratory of Virtual Reality Technology and System, School of Computer Science and Engineering, Beihang University, Beijing China, 100191)

+Corresponding author: E-mail: pengt047@163.com

**Abstract:** For meso-structure surfaces the traditional radiosity algorithm must depend on high fine structure models. While there are a large number of patches for the complex scenes and it need a good deal of time to pre compute. This paper improves a method based on directional light radiosity, which, combines height texture and normal texture. It can simulation high fine structure models' light transmission using the low fine structure, and render the scenes using relief mapping algorithm and precomputed visibility on height texture algorithm. The experimental results show that the proposed method can pre compute the complex scenes within fewer more time than traditional radiosity based on the low fine structure models, in addition it has high efficiency and better realistic quality.

**Key words:** realistic rendering; global illumination; meso-structure; directional light; radiosity

**摘要:** 传统辐射度算法对含有微结构表面物体的全局光照仅能通过其高精度模型计算, 针对比较复杂的场景, 面片规模非常大, 形状因子预计算相当耗时。本文提出了一种基于低精度模型的辐射度算法, 将辐射度转换为方向光辐射度, 结合高度贴图、法线贴图, 模拟高精度模型下的辐射光能传递, 并基于精细贴图算法和预计算高度图可见性算法来完成微结构表面的绘制。实验结果表明该方法能在低精度模型辐射度算法同一量级时间内完成计算, 能够高效地渲染出全局光照效果, 有较高的绘制效率和真实感。

**关键词:** 真实感绘制; 全局光照; 微结构; 方向光; 辐射度

实际场景中存在大量具有微结构表面的对象, 这些微结构表面会对光线的传播产生影响。对于微结构表面的绘制算法有两类绘制方法: 一种是基于纹理贴图的方法<sup>[1-3]</sup>, 另一种是基于双向纹理函数的绘制方法<sup>[4-7]</sup>。这两种方法均不能处理多个物体之间的间接光照。传统的辐射度算法<sup>[8-9]</sup>是基于面片间的光能传输来计算最终

---

<sup>\*</sup> Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.61272349 (国家自然科学基金); Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.61190121 (国家自然科学基金); the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant Nos.863-317-01-04-99, 2013AA01A604 (国家高技术研究发展计划(863));

**作者简介:** 彭通(1989—),男,河南,硕士,研究方向为虚拟现实, 计算机图形学;王莉莉(1977—),女,陕西,博士,教授,主要研究领域为计算机图形学, 三维逼真和实时绘制;谢乃闻(1988—),男,四川,博士,主要研究领域为计算机图形学, 三维逼真和实时绘制;赵沁平(1948—),男,山西,教授,主要研究领域为虚拟现实技术和人工智能。

的全局光照能量值，它的时间复杂度取决于面片的数量。而对于具有微结构表面的物体，它的表面细节多、几何结构复杂，如果采用原始的辐射度算法计算其全局光照会严重影响算法的时间性能。

针对以上问题，本文提出一种基于方向光的辐射度传输算法，可以基于低精度模型模拟光能的辐射传递，然后再采用基于图像的微结构表面全局光照绘制算法来渲染，从而模拟微结构表面的全局光照效果。本文的贡献主要体现在三点：第一，采用低精度模型来模拟高精度模型的光照传输。第二，使用多向方向光来表示微结构表面所接收的光照情况。第三，采用基于图像空间的方法借助多向方向光来完成微结构表面物体的全局光照效果绘制。

## 1 本文算法

### 1.1 方向光辐射度的传输和更新

传统的辐射度算法假设所有的面片都是理想漫反射面片，因此对于面片  $j$  它往各个方向上发射的光能的权重都是一样的。在本文算法中，如果发射面片  $i$  和接收面片  $j$  均含有微结构，那么对于面片  $j$  除了要计算  $\Delta Rad$  还要计算不同出射方向上的  $\Delta Rad_k$  (表示第  $k$  出射方向光所增加的辐射能)，以便于当  $j$  作为发射面片时保证各出射方向光的更新。又因为  $i$  面片含有微结构信息，它的发射光线是各向异性的。

传统的渐进辐射度算法是根据 Hemi-cube 方法计算形状因子  $F_{ij}$ 。记  $\Delta F_q$  为像素  $q$  在 Hemi-cube 上所对应的微形状因子， $R$  是面片  $j$  所投射像素的总个数，则  $F_{ij}$  可以按如下表示。

$$F_{ij} = \sum_{q=1}^R \Delta F_q \quad (1)$$

对于面片  $j$  的投影像素  $q$ ，所增加的入射辐射能可以如下表示。

$$\Delta Irrad_q = \Delta B_{iq} \Delta F_q A_i / A_j \quad (2)$$

式中的  $\Delta Irrad_q$  表示该像素点所增加的辐射能也即面片  $i$  和  $q$  像素的连线在  $j$  面片上对应的入射方向光增加的辐射度能量。 $\Delta B_{iq}$  表示  $i$  面片在  $iq$  方向上的出射辐射度能量。

$$\Delta Rad_k = \sum_{q=1}^R \rho_{jq} \Delta Irrad_q \quad (3) \text{ (如果面片 } j \text{ 的 } k \text{ 出射光线方向和 } q$$

像素的法线方向夹角小于 90 度)

对于面片  $j$ ，要更新其入射方向光的能量值，如式 (4)。

$$\Delta Irrad_k = \Delta Irrad_k + \Delta Irrad_q \quad (4) \text{ (k' 是面片 } j \text{ 中与 } iq \text{ 方向最近的入射方向光)}$$

在整个方向光辐射度传输的过程中，每渐进一次就更新被辐射到的所有面片的入射方向光强度和出射方向光强度。在整个辐射度算法完成后各入射方向光存储的就是当前面片在此方向上所接收到的总的光强度。

### 1.2 方向光辐射度的聚类渲染

本文中带有表面微结构的面片是通过方向光来渲染，因此需要对方向光聚类求簇来获取顶点的方向辐射度。对于不同面片的入射方向光，可以根据顶点的切线空间坐标系，求取方向最近的一条入射光线。如图 1 中所示， $r_{v4} = \alpha * r_{a4} + \beta * r_{b2}$ ，其中  $\alpha$ ， $\beta$  是加和的权重。

在渲染过程中，取顶点中近似平行的光线作为一组平行光进行渲染。对于面片的任意一条入射方向光  $r_i$ ，索引在各个顶点上近似平行的入射光，将这些平行入射光作为一簇使用精细贴图<sup>[2]</sup> (Relief Mapping) 算法

对面片进行渲染。如图 2 中所示， $r_{va3}$  和  $r_{vb2}$  作为一簇光对面片进行渲染。而对于微结构单元内的全局光照效果则使用基于高度图的预计算可见性算法<sup>[10]</sup>来绘制。

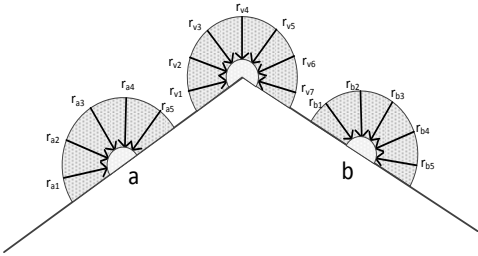


图 1 顶点入射方向光

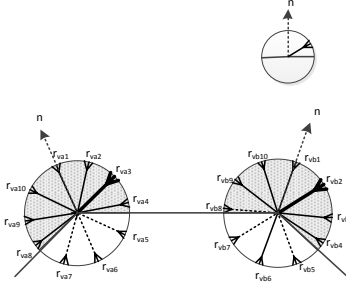
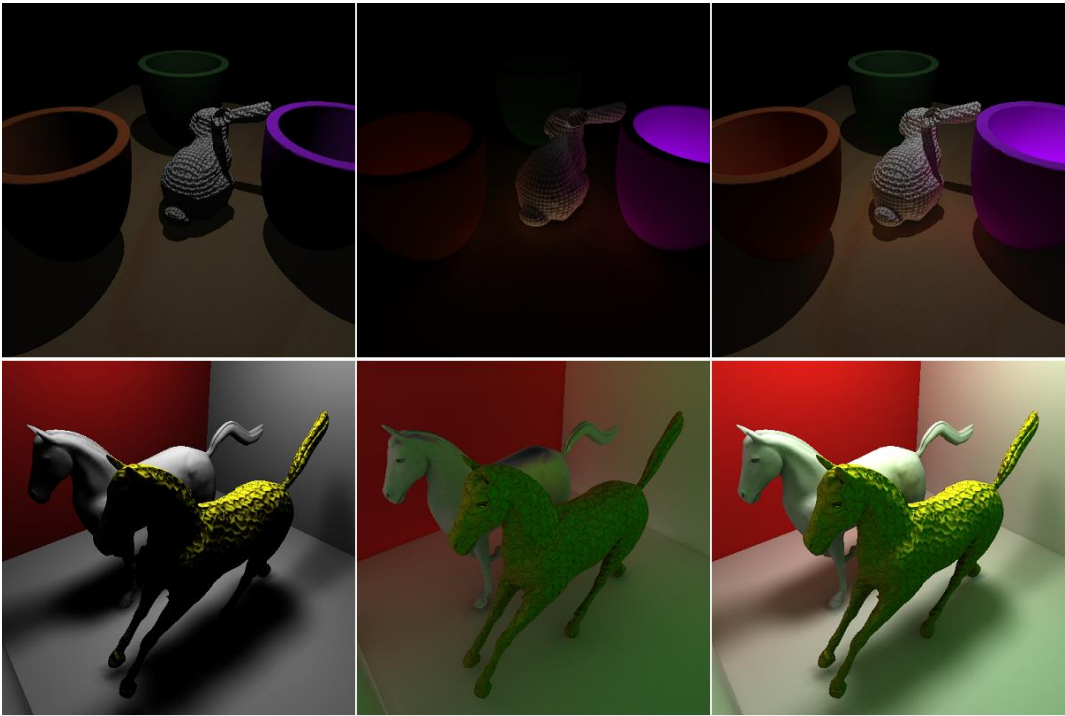


图 2 平行光渲染



(a)直接光照

(b)间接光照

(c)全局光照

图 3 本文算法绘制结果

表 1 不同方向光数目下的预计算时间比较

场景	面片数	微结构面片 所占比例	方向光数 目	预计算时 间(min)	绘制帧率 (fps)
水果拼盘	76304	15%	16	10.4	62
			32	11.0	48
			64	12.3	29
碗和兔子	73256	21%	16	6.3	98
			32	6.6	67
			64	7.8	25
康奈尔盒子	83160	31%	16	8.8	64
			32	9.8	46
			64	10.3	22

---

## 2 实验结果

本文使用了三组场景用本文算法进行计算和渲染。图 3 中给出了两组场景的全局光照绘制效果图。上面一组是点光源的绘制效果，兔子模型含有微结构表面。下面一组是基于康奈尔盒子的场景，采用的是面光源，其中黄色的马含有微结构表面。本文算法中方向光的个数对整个预计算的时间会有影响，表 1 所示即为不同场景在入射方向光和出射光线条数为 16, 32 和 64 的计算时间和绘制帧率。

## 3 结束语

对于含有微结构表面物体的复杂场景的全局光照计算，本文提出一种基于方向光的辐射度传输和绘制算法。以低精度模型来模拟微结构物体之间的光能传输，然后在基于图像空间的基础上绘制微结构物体表面。能够在低精度模型时间复杂度的基础上较好地模拟出微结构物体之间光能的传输和表面的绘制。

### References:

- [1]. Tomomichi Kaneko, Toshiyuki Takahei, Masahiko Inami, Naoki Kawakami, Yasuyuki Yanagida, Taro Maeda, Susumu Tachi. Detailed Shape Representation with Parallax Mapping[C].//In Proceedings of the ICAT, 2001:205-208.
- [2]. Oliveira M M, Bishop G, McAllister D. Relief texture mapping[C].//SIGGRAPH '00: Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, ACM, 2000 :359-368.
- [3]. Lifeng Wang, Xi Wang, Xin Tong, Stephen Lin, Shimin Hu, Baining Guo, and Heung-Yeung Shum. View-dependent displacement mapping[J]. ACM Transactions on Graphics (TOG), 22(3), 2003.
- [4]. Kristin J.Dana, Bram van Ginneken, Shree K. Nayar, and Jan J.Koenderink. Reflectance and texture of real-world surfaces[J]. ACM Transactions on Graphics, vol. 18, no. 1, pp. 1-34, January 1999.
- [5]. Xin Tong, Jingdan Zhang, Ligang Liu, Xi Wang, Baining Guo, and Heung-Yeung Shum. Synthesis of bi-directional texture functions on Arbitrary Surfaces[J].SIGGRAPH '02: ACM Transaction on Graphics 21(3), 2002:665-672.
- [6]. Suykens F, Berge K V, Lagae A, and Dutre P. Interactive rendering with bidirectional texture functions[J].Computer Graphics Forum 22(3), 2003:463-472.
- [7]. Peter-Pike Sloan, Xinguo Liu, Heung-Yeung Shum, and John Snyder. Bi-scale radiance transfer[J]. SIGGRAPH '03: ACM Transaction on Graphics 22(3), 2003: 370-375.
- [8]. Cohen, M. F., Chen, S. E., Wallace, J. R., Greenberg, D.P.(1988) A progressive refinement approach to fast radiosity image generation[J]. Computer Graphics 22(4), 75-84.
- [9]. Keller A.: Instant Radiosity [C]. //SIGGRAPH '97 (Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, 1997.
- [10]. Wolfgang Heidrich, Katja Daubert, Jan Kautz, Hans-Peter Seidel. Illuminating micro geometry based on precomputed visibility[C]. // Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, p.455-464, July 2000.