

Journal of Image  
and Graphics

# 中国图象图形学报



ISSN1006-8961  
CN11-3758/TB

2012 3  
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会主办  
北京应用物理与计算数学研究所

# 中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年3月 第17卷 第3期(总第191期)

## 目次

### 图像处理 and 编码

- 摄影测量共线方程的单位四元数描述 ..... 杨化超,卢晓攀,王永波,姚国标(301)
- 分形压缩感知高维信号重构方法 ..... 刘佶鑫,孙权森(309)
- 自适应子矢量划分的快速码字搜索算法 ..... 吴鑫鹏,潘志斌,李达(315)
- 基于人类视觉模型的各向异性扩散滤波方法 ..... 宋建军,侯志强,余旺盛(321)
- 整数提升小波多相矩阵分解系数的快速提取算法 ..... 王锋,赵志文,牟盛(329)
- 自适应样本块大小的图像修复方法 ..... 孟春芝,何凯,焦青兰(337)

### 图像分析和识别

- 改进FCM在交互式图像分割中的应用 ..... 依玉峰,高立群,郭丽(342)
- 输电导线图像目标识别方法 ..... 孙凤杰,杨镇浓,李媛媛,范杰清(349)
- 无表观特征小目标检测与跟踪 ..... 陶霖密,李亮,邸慧军(357)
- 应用改进频率调谐的海上小目标检测方法 ..... 任蕾,施朝健,冉鑫(365)
- 视觉注意原理局部特征的行人检测 ..... 刘俊涛,刘文予,吴彩华,李雄伟,冯镔(370)
- 尺度不变单样本人脸识别方法 ..... 王炜强,张晓阳,曹春芹,付奎生(380)
- 复杂交通场景中采用稀疏表示的车辆识别方法 ..... 李修志,吴健,崔志明,陈建明(387)
- 利用复合导数的边缘检测新算法 ..... 程金梅,叶永强,姜斌(393)

## 图像理解和计算机视觉

迭代分割逼近:新的基于局部响应显著度的角点检测 ..... 马丽红,谭幸均(402)

融合 SIFT 特征的熵图估计医学图像非刚性配准 ..... 张少敏,支力佳,赵大哲,林树宽,赵宏(412)

## 计算机图形学

面向非均匀采样点集的 3 维表面重建算法 ..... 刘晓平,段瑞青,余烨(419)

基于可编程图形管线的大规模流程工厂模型多分辨率绘制方法 ..... 周剑,唐卫清,朱耀琴,夏明,黄晓剑(426)

带有位置修正的环境映射 ..... 王晨昊,汤晓安,孙即祥,马伯宁(435)

## 遥感图像处理

海岸线遥感信息提取的元胞自动机方法及其应用 ..... 冯永玖,韩震(441)

# 中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 3 期

2012 年 3 月 16 日出版

**主管单位** 中国科学院

**主 办** 中国科学院遥感应用研究所

中国图象图形学学会

北京应用物理与计算数学研究所

**主 编** 李小文

**编辑出版** 《中国图象图形学报》编辑出版委员会

北京 9718 信箱 邮编 100101

电子信箱:jig@irsa. ac. cn

电话:010-68407995 010-82614429

网 址:www. cjig. cn

**印刷装订** 北京北林印刷厂

**广告经营许可证** 京朝工商广字第 0346 号

**总 发 行** 北京报刊发行局

**订 购** 全国各地邮局

**国外发行** 中国国际图书贸易总公司

(中国国际书店)

(北京 399 信箱 邮编 100044)

**Superintended by** Chinese Academy of Sciences

**Sponsored by** Institute of Remote Sensing Application,  
CAS China Society of Image and Graphics  
Institute of Applied Physics and Computational  
Mathematics

**Chief editor** LI Xiaowen

**Editor, Publisher** Editorial and Publishing Board  
of Journal of Image and Graphics  
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)  
E-mail:jig@irsa. ac. cn

**Distributed by** Beijing Bureau for Distribution of Newspapers  
and Journals

**Domestic** All Local Post Offices in China

**Foreign** China International Book Trading Corporation  
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)

**Printed by** Beijing Beilin Printing House

# Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 3 March 2012

## Contents

### Image Processing and Coding

- Unit quaternion based description of collinearity equations ..... Yang Huachao, Lu Xiaopan, Wang Yongbo, Yao Guobiao(301)
- Fractal compressive sensing for high-dimension signal recovery ..... Liu Jixin, Sun Quansen(309)
- Fast codeword search algorithm based on adaptive subvector partitions ..... Wu Xinpeng, Pan Zhibin, Li Da(315)
- Anisotropic diffusion image smoothing method based on human visual model ..... Song Jianjun, Hou Zhiqiang, Yu Wangsheng(321)
- Fast extraction algorithm of the polyphase matrix decomposition coefficient based integer lifting wavelet  
..... Wang Feng, Zhao Zhiwen, Mou Sheng(329)
- Image completion method with adaptive patch size ..... Meng Chunzhi, He Kai, Jiao Qinglan(337)

### Image Analysis and Recognition

- Application of improved FCM for interactive image segmentation ..... Yi Yufeng, Gao Liqun, Guo Li(342)
- Methods of transmission line target recognition ..... Sun Fengjie, Yang Zhenhuan, Li Yuanyuan, Fan Jieqing(349)
- Featureless small object detection and tracking ..... Tao Linmi, Li Liang, Di Huijun(357)
- Small target detection method under sea surface environment using revised frequency tuned saliency detection  
..... Ren Lei, Shi Chaojian, Ran Xin(365)
- Pedestrian detection method using local feature based on vision attention  
..... Liu Juntao, Liu Wenyu, Wu Caihua, Li Xiongwei, Feng Bin(370)
- Scale invariant face recognition from single sample ..... Wang Weiqiang, Zhang Xiaoyang, Cao Chunqin, Fu Kuisheng(380)
- Sparse representation method of vehicle recognition in complex traffic scenes  
..... Li Xiuzhi, Wu Jian, Cui Zhiming, Chen Jianming(387)
- Novel edge detection algorithm using a composite derivative ..... Cheng Jinmei, Ye Yongqiang, Jiang Bin(393)

### Image Understanding and Computer Vision

- Iterative segment approaching: new corner detection based on local response saliency ..... Ma Lihong, Tan Xingjun(402)
- Entropic graph estimation integrated with SIFT features for medical image non-rigid registration  
..... Zhang Shaomin, Zhi Lijia, Zhao Dazhe, Lin Shukuan, Zhao Hong(412)

### Computer Graphics

- Three-dimensional surface reconstruction algorithm for non-uniform sampling points ..... Liu Xiaoping, Duan Ruiqing, Yu Ye(419)
- Multi-resolution rendering approach of large-scale process plant models based on programmable graphics pipeline  
..... Zhou Jian, Tang Weiqing, Zhu Yaoqin, Xia Ming, Huang Xiaojian(426)
- Environment mapping with position rectification ..... Wang Chenhao, Tang Xiao'an, Sun Jixiang, Ma Boning(435)

### Remote Sensing Image Processing

- Cellular automata approach to extract shoreline from remote sensing imageries and its application  
..... Feng Yongjiu, Han Zhen(441)

中图法分类号: TP391.9 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)03-0435-06

论文引用格式: 王晨昊, 汤晓安, 孙即祥, 马伯宁. 带有位置修正的环境映射[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(3): 435-440

## 带有位置修正的环境映射

王晨昊, 汤晓安, 孙即祥, 马伯宁

国防科技大学电子科学与工程学院, 长沙 410073

**摘要:** 由于没有考虑物体表面位置的影响, 基本的环境映射技术在反射计算中存在一定的几何偏差, 而且无法实现视差效果。本文通过引入位置修正对该技术进行了改进。首先, 利用距离图来保存环境表面位置信息; 然后, 分两种情况利用距离图对环境贴图的查询矢量进行修正, 以减小反射计算的几何偏差; 最后, 通过分层渲染的方法处理包含多个环境物体的场景。实验结果表明, 位置修正的引入提高了环境映射光照计算的准确性; 并且能获得因物体互相遮挡而产生的视差效果。

**关键词:** 环境贴图; 距离图; 视差

## Environment mapping with position rectification

Wang Chenhao, Tang Xiao'an, Sun Jixiang, Ma Boning

College of Electronic Science and Engineering, NUDT, Changsha, 410073, China

**Abstract:** The reflection education of the environment mapping technique is geometrically biased and cannot obtain parallax effects because the object's surface position is unknown. We improved the technique by introducing position rectification. First, the environment's position information is stored in a distance map; then the query vector of the environment map is rectified in two conditions using the distance map to reduce the geometrical bias in the calculation of the reflection. A layered rendering method is given to manipulate scenes that contain multiple objects. Our results show the introduction of the position rectification boosts the accuracy of environment mapping in reflection calculation and can obtain the parallax effect caused by the occlusions of objects.

**Key words:** environment map; distance map; parallax

## 0 引言

环境映射最早由 Blinn 等人<sup>[1]</sup>提出, 通过将表示环境的图像映射到物体表面来获取真实的环境光照效果。表示环境的图像称为环境贴图或反射贴图, 记录了空间中各个方向到某一点的入射光信息。环境映射通过视线在物体表面的反射方向矢量查询环境贴图来获取相应点的颜色。由于这种查询存在一定的几何偏差, 只有当环境为无穷远或表面点在投影中心, 环境映射在几何上才是准确的<sup>[2]</sup>。但实

际中这个前提条件并不总是满足, 当环境物体距离反射体较近的时候, 环境映射的结果将发生明显的变形; 同时, 由于环境贴图中对物体 3 维信息的缺失, 当反射体或视点变化时, 由物体位置的差异而产生的视差效果也难以通过一个环境贴图实现<sup>[3]</sup>。

环境映射存在偏差的原因是环境贴图的查询中只考虑了光线的方向, 而忽略了物体表面位置信息<sup>[3]</sup>。本文通过在环境映射的计算中引入位置信息来修正查询矢量, 减小几何偏差; 在此基础上, 通过分层渲染的方法处理多个环境物体的情况, 并获得视差效果。对环境映射的改进主要体现在两个方

收稿日期: 2010-09-28; 修回日期: 2011-08-30

第一作者简介: 王晨昊(1980—), 男, 助理工程师, 2011年于国防科学技术大学获信号与信息处理专业博士学位, 主要研究方向为图形图像处理与信息可视化。E-mail: chwang0123@163.com

面:一是通过距离立方体贴图获取并存储环境表面的位置信息,扩展了环境贴图的内容;二是对环境贴图查询矢量进行了修正,提高了近距离环境反射计算的精确度。

## 1 相关研究

在计算机图形绘制中,精确的反射可以通过光线跟踪方法获得。虽然利用可编程图形处理器,光线跟踪算法可以通过显示硬件来加速<sup>[4]</sup>,但顶点和像素着色器所支持的指令数有限,目前仍然难以实现实时的复杂照明效果。环境映射技术被认为是光线跟踪的一种近似,广泛应用于环境光照的计算中。环境映射技术存在两个基本缺陷:无法用于近距离环境的反射计算以及无法获得视差效果。

为了回避环境映射的不足,Roy<sup>[5]</sup>提出了一种混合渲染的方法,将场景划分为局部物体和远处环境两部分,局部物体之间的能量传递通过光线跟踪处理,局部物体对远处环境的反射通过环境映射来处理。这种方法虽然能取得较精确的绘制结果,但光线跟踪的使用对渲染的实时性会产生很大影响。Ziyad 等人<sup>[6]</sup>采用了类似的场景划分和绘制方法,不同的是,他们通过预处理将光线跟踪的计算结果保存为一组样本图像,在场景渲染时通过这组样本图像的插值获得当前视角的局部反射效果。这种方法虽然使绘制速度得到提高,但由于预处理计算量较大,难以应用于动态场景的实时绘制。对于视差的生成,Cabral 等人<sup>[7]</sup>提出使用多个 2D 环境贴图来获取视点相关的信息,但不同的环境贴图之间的切换非常复杂,有时会产生不连续的现象。

在对环境映射本身进行改进的同时,研究者也提出了一些环境映射的替代方法。Ofek 等人<sup>[8]</sup>提出一种 Explosion Map 方法用以实现交互式的反射计算。这种方法通过弯曲周围场景的几何体,使其如同一个虚拟的图像一样覆盖在反射体之上,由于在反射计算过程中需要对所有场景物体进行变换,并且需要对几何体进行镶嵌细分,因此计算量很大。还有一类方法使用光场(LF)来存储环境入射光,绘制过程中,通过查询以及混合已有的光线来合成当前的视图<sup>[9-10]</sup>。由于光场的获取需要进行大量的绘制计算,一般通过预处理获得<sup>[10]</sup>,因而难以应用到对动态环境反射的实时绘制中。Yu 等人<sup>[11]</sup>利用

6 个 4D 光场面来表示环境,减少了这种方法对存储资源的消耗,但仍然没有解决自反射以及动态环境等问题。

## 2 本文方法

我们通过对环境贴图查询矢量的位置修正来提高环境映射反射计算的几何准确度。对于在环境贴图中占有较大视场角的环境物体,给出一种基于距离图的逐像素修正方法;对于占视场角较小的环境物体给出一种基于平均距离的近似修正方法;最后,通过分层渲染的方法获得带有视差的环境反射效果。图 1 为本文方法绘制流程图。

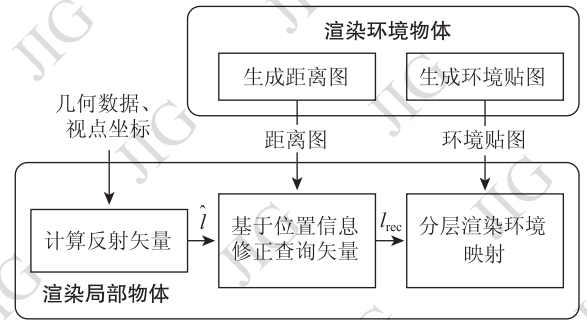


图 1 本文方法流程图

Fig. 1 Flow chart of our approach

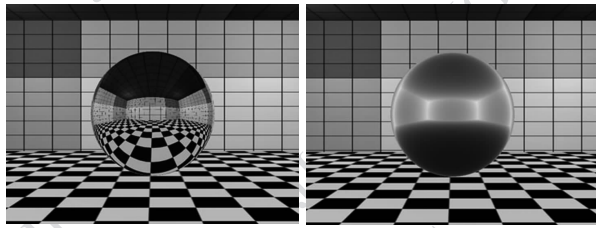
### 2.1 距离图的定义和获取

距离图定义为一个与环境贴图相对应的立方体贴图。环境贴图存储的是入射光颜色信息,而距离图则存储环境贴图中各像素对应的环境表面点到投影中心的距离  $d$ 。对于支持浮点纹理的显示设备,距离图可以存储在环境贴图颜色矢量  $(r, g, b, a)$  的  $a$  分量中。渲染环境贴图的时候将  $a$  初始化为一个较大的正数  $d_{\infty}$ , 满足所有环境物体表面点到投影中心的距离都小于  $d_{\infty}$ 。距离图通过在渲染环境贴图的时候将  $d$  写入颜色矢量获取,无需执行额外的场景渲染,也不占用额外的存储空间,因此对整体渲染速度的影响很小。

利用环境映射渲染矩形房间中的球体,将环境贴图的  $r, g, b$  分量以及  $a$  分量(距离图)分别映射到球体表面,获得图 2 所示结果。

### 2.2 基于距离图的逐像素修正

设环境贴图的投影中心在世界坐标原点,  $\mathbf{p}$  是  $\mathbf{x}$  和  $\hat{\mathbf{l}}$  确定的射线(以下称为射线  $\hat{\mathbf{l}}$ )与环境表面交点位置,是环境贴图查询矢量的理想值。利用距离



(a) 输出颜色分量

(b) 输出距离图

图2 环境映射输出结果

Fig. 2 Outputs of environment mapping

图,通过迭代算法来估算  $p_e$ 。对于颜色矢量  $L$ ,  $L.r$ 、 $L.g$ 、 $L.b$  表示  $L$  的颜色分量,  $L.a$  表示  $L$  的 alpha 通道分量。算法初始值  $l_1 = x + D\hat{l}$ , 参数  $D$  取值由场景的空间范围决定,应保证所求的环境点  $p_e$  在  $x$  和初始的  $l_1$  之间。设  $n$  为迭代次数,初始值为 1,最大值为  $N$ ,如果  $d_e$  为计算结果的误差容限,则  $N$  取为

$$N = \log_2 \frac{2D}{d_e} \quad (1)$$

算法步骤如下:

1) 用  $l_1$  查询环境贴图  $L_{env}$ , 所得颜色矢量的  $a$  分量为环境距离,即  $d = L_{env}(l_1).a$ ;

2) 计算  $\Delta d = d - |l_1|$ 。如果  $|\Delta d| < d_e$  (条件 1) 或  $n = N$  (条件 2) 则算法结束,  $l_1$  作为修正的查询矢量; 否则转到步骤 3);

3) 计算  $l_1 = \text{sgn}(\Delta d)2^{-n}D\hat{l} + l_1, n = n + 1$ , 回到步骤 1)。

算法原理如图 3 所示,图中标记了前 3 次迭代所获取的预测点。通过对比预测点与环境点到投影中心的距离来决定迭代算法步进的方向。算法的有效性受环境表面形状的影响,只有当  $d^{(n)} - |l_1^{(n)}|$

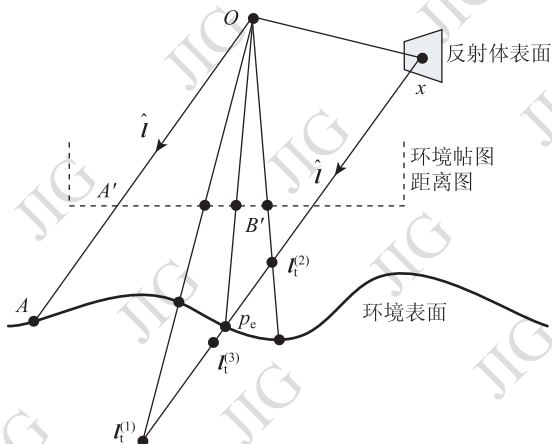


图3 逐像素修正算法原理图

Fig. 3 Per pixel rectification

与  $|p_e - x| - |l_1^{(n)} - x|$  始终具有相同的符号的时候,算法才有效。这种情况下,第  $n$  次迭代时,预测点  $l_1^{(n)}$  与目标点  $p_e$  之间的距离不大于  $2^{1-n} \cdot D$ , 因此  $l_1^{(n)}$  收敛于  $p_e$ 。

在环境物体边缘处,算法的有效性条件可能不满足,通过以下方法处理。当射线  $\hat{l}$  与环境表面有交点的时候,算法仍可以因条件 1 满足而结束。当射线  $\hat{l}$  与环境表面没有交点的时候,  $p_e$  不存在,算法将以条件 2 结束,这时获取的查询矢量为  $l_1^{(n)}$ 。在环境物体边缘时,可能错误地获取环境表面的颜色。因此,当检测到算法以条件 2 结束,且存在  $d^{(n)} = d_\infty$  的时候,输出颜色赋值为 0。

### 2.3 基于平均距离的近似修正

对于占视场角较小的环境物体,无法通过以上方法绘制。但由于这类物体占环境贴图的像素面积较小,其表面点到局部物体的距离通常相差不大,我们通过环境物体可见面到投影中心的平均距离  $\bar{d}$  来修正查询矢量。平均距离通过对距离图进行等间距球面采样来计算。设  $s$  为采样间隔角,  $(m, n)$  是采样点索引,将球面坐标转化为 3 维坐标,可得采样点对应的查询矢量为

$$\hat{l}(m, n) = (\cos(ms)\cos(ns), \sin(ms)\cos(ns), \sin(ns)) \quad (2)$$

遍历距离图,将所有取值不为  $d_\infty$  的有效采样点的值累加,并将此类点的总数记为  $K$ , 则

$$\bar{d} = \frac{1}{K} \sum_{m,n} L_{env}(\hat{l}(m, n)).a \quad (3)$$

图 4 中用黑点标记了利用距离图计算平均距离时的有效采样点。由图 3 可知,普通环境映射获取的是环境表面  $A$  点的颜色信息,与准确的交点位置  $p_e$  存在较大的偏差。而计算  $p_e$  的关键在于获取反射体表面点  $x$  到环境表面点  $p_e$  的距离,将  $\bar{d}$  作为这个距离的估计值,可得修正的查询矢量为

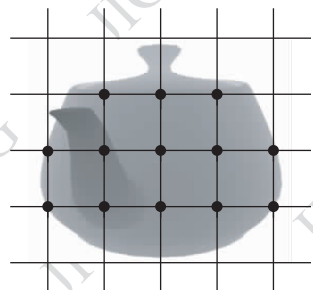


图4 距离图采样示意图

Fig. 4 Sample of distance map

$$l_{\text{rec}} = \mathbf{x} + d\hat{l} \quad (4)$$

## 2.4 分层渲染

当场景同时包含多个独立环境物体的时候,它们之间的相互遮挡会使以上算法失效,通过分层渲染的方法来处理。

首先,将每个环境物体渲染到一个独立的环境贴图(包含距离图)中;然后按照环境物体与投影中心的距离对环境贴图进行排序,由近到远记为  $L_1, L_2, \dots, L_M$ ,  $M$  为环境贴图的个数。排序计算在 CPU 中执行,由于计算复杂度不高,并且与绘制流程并行进行,因此通常情况下排序对绘制速度的影响可以忽略不计。

在像素着色器中,从  $i=1$  开始,使用相应的方法对  $L_i$  的查询矢量  $\hat{l}$  进行修正得到  $l_i$ 。如果  $L_i(l_i)$  的  $a$  分量不是  $d_\infty$ ,则输出颜色  $L_{\text{out}} = L_i(l_i).rgb$ ;否则  $i=i+1$ ,重复以上过程,其流程如图 5 所示。

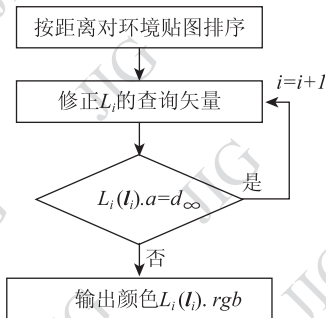


图5 分层渲染环境映射流程图

Fig.5 Flow chart of layered rendering environment mapping

## 3 实验与讨论

实验在一台安装有 1.8 GHz CPU 和 Geforce9500GT 显卡的 PC 机上执行。环境映射利用 Direct3D 接口通过 HLSL 编程实现;光线跟踪结果使用 3DMAX 渲染获得。环境映射按理想镜面反射计算,且忽略阴影。环境贴图和距离图分辨率为  $512 \times 512$ ,所有渲染输出分辨率为  $1024 \times 768$ 。

### 3.1 算法参数

实验中房间为  $8 \times 8 \times 4$  的矩形,这里  $D$  取为 12 就可以满足算法的要求。误差参数  $d_e$  影响绘制的精度和速度,对渲染输出结果的影响如图 6 所示。 $d_e$  越小,绘制精度越高,但绘制帧率也会越

低, $d_e=0.1$  时的帧率为 137 帧/s, $d_e=0.01$  时的帧率为 112 帧/s。 $d_e$  的设置与视点位置相关,离物体越近,其取值应该越小,按照实验观察点,以下将其取为 0.01。

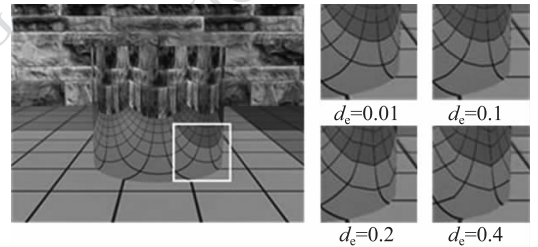


图6 不同误差参数的渲染结果

Fig.6 Rendering results from different error parameters

### 3.2 对比实验

将本文方法的绘制结果与普通环境映射方法以及光线跟踪的结果进行了对比,绘制效率如表 1 所示。与普通方法相似,本文方法具有较高的帧率;而光线跟踪算法的帧率难以达到实时绘制的要求。

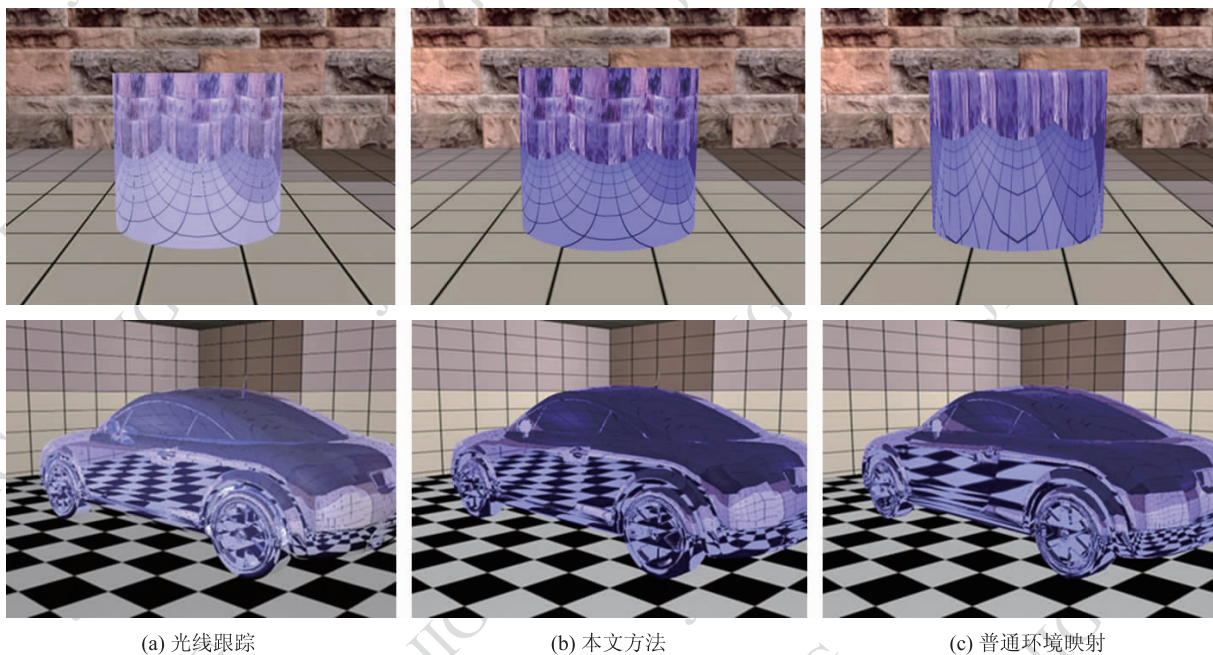
表1 渲染速度对比

Table 1 Comparison of rendering efficiency

反射体	面数	速度/(帧/s)		
		本文方法	光线跟踪	普通方法
圆柱体	2 176	112	<1	151
汽车	39 748	71	<1	100

3 种不同方法的渲染输出结果如图 7 所示。渲染圆柱体时,普通环境映射方法存在变形,尤其是在反射体与环境接近的部分尤为明显。渲染汽车时,对于汽车模型表面弯曲变化较快的部分,普通方法的畸变不易被觉察到;但在反射体上较平的部分,例如车门周围,能明显看出与光线跟踪的差异。相对而言,本文方法的反射计算更为准确,与光线跟踪的结果更为接近。

通过另一组实验来验证带视差的绘制效果。实验中,对房间的反射使用了逐像素修正方法,对球体的反射使用了平均距离修正方法,最后通过分层渲染来获取带视差的反射效果。渲染结果如图 8 所示,当观察点位置发生变化时,通过反射所看到的球体与墙面的遮挡位置将发生变化,本文方法能获得与光线跟踪非常接近的视差效果,这是普通环境映射方法无法实现的。



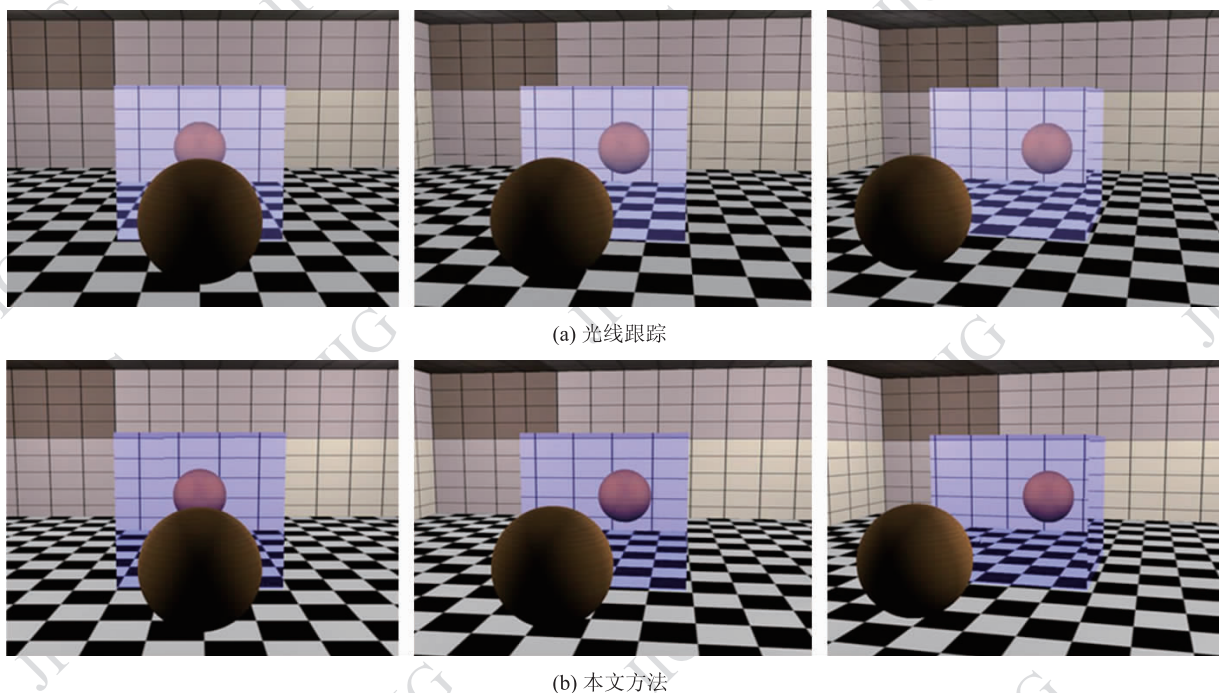
(a) 光线跟踪

(b) 本文方法

(c) 普通环境映射

图7 绘制结果对比

Fig. 7 Comparison of rendering results



(a) 光线跟踪

(b) 本文方法

图8 视差实验结果

Fig. 8 Results of parallax experiment

表2给出了本文方法与几种现有方法的性能对比。预处理消耗决定能否用于动态场景; GPU消耗影响绘制的实时性。本文方法对于不同距离的环境都可以获得较为精确的反射绘制

结果,但无法处理局部物体的自反射;相对其他方法,在存储资源消耗和绘制效率上,本文方法具有较大优势,能够应用于动态场景的实时绘制。

表2 本文方法与几种现有方法的性能对比

Table 2 Performance comparison between our and current methods

方法	支持的反射	存储资源	预处理消耗	GPU 消耗
环境映射	远	低	低	低
混合渲染方法 <sup>[3]</sup>	远、近、自反射	低	低	高
Explosion Map <sup>[9]</sup>	远、近	高	中	高
Light Field <sup>[11]</sup>	远、近、自反射	高	高	中
本文方法	远、近	低	低	中

## 4 结 论

现有的环境映射技术由于忽略了物体表面点的位置信息,其应用存在很多局限性。本文通过引入位置修正对环境映射技术进行了改进。首先,通过距离图来保存环境的位置信息;然后,利用得到的距离图修正环境贴图的查询矢量,并通过分层渲染的方法来处理包含多个环境物体的场景。实验结果表明,本文方法具有较高的执行效率;与普通的环境映射方法相比,其渲染输出更接近通过光线跟踪获得的精确反射结果。

由于环境贴图所包含信息的局限性,本文方法仍然无法获得由明暗以及环境自遮挡而产生的视差。

## 参考文献 (References)

- [ 1 ] Blinn J, Newell M. Texture and reflection in computer generated images [J]. Communications of the ACM, 1976, 19(10): 542-546.
- [ 2 ] Green N. Environment mapping and other applications of world projections [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 1986, 6(11): 21-29.
- [ 3 ] Hendrik P A L. The rendering equation [C]// SIGGRAPH 2005 Course Realistic Materials in Computer Graphics. Los Angeles, California: ACM Press, 2005: 16-18.
- [ 4 ] Purcell T J, Buck I, Mark W R, et al. Ray tracing on programmable graphics hardware [C]// Proceedings of the 29th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. San Antonio, Texas: ACM Press, 2002: 703-712.
- [ 5 ] Roy H. Hybrid techniques for rapid image synthesis [C]// Image Rendering Tricks, SIGGRAPH'86 Course Notes. New York: ACM Press, 1986, 16: 986-987.
- [ 6 ] Ziyad S, John M, Jerome E. Parameterized environment maps [C]// Proceedings of the 2001 Symposium on Interactive 3D Graphics. Los Angeles, California: ACM Press, 2001: 203-208.
- [ 7 ] Cabral B, Olano M, Nemecek P. Reflection space image based rendering [C]// Proceedings of the 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. Los Angeles, CA: ACM Press, 1999: 613-620.
- [ 8 ] Ofek E, Rappoport A. Interactive reflections on curved objects [C]// Proceedings of the 25th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. Orlando, FL: ACM Press, 1998: 333-342.
- [ 9 ] Levoy M, Hanrahan P. Light field rendering [C]// Proceedings of the 23rd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New Orleans, LA: ACM Press, 1996: 31-42.
- [ 10 ] Masselus V, Peers P, Dutr P, et al. Relighting with 4 incident light fields [C]// Proceedings of ACM SIGGRAPH 2003, Computer Graphics Proceedings. San Diego, California: ACM Press, 2003: 613-620.
- [ 11 ] Yu J Y, Yang J, McMillan L. Real-time reflection mapping with parallax [C]// Proceedings of the 2005 Symposium on Interactive 3D Graphics and Games. Washington, District of Columbia: ACM Press, 2005: 133-138.