



CRC Press
Taylor & Francis Group

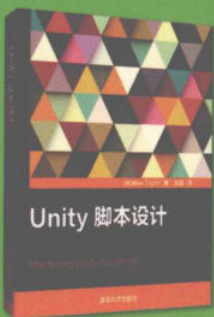
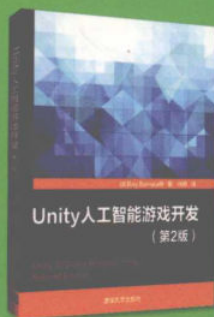
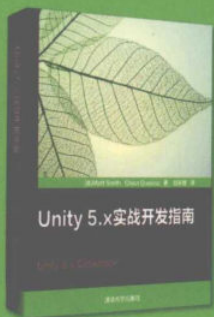
[美] 菲利普·特瑞 (Philip Dutré) 等著 黄刚译

全局光照算法技术

(第2版)

Advanced Global Illumination,
2nd Edition

清华大学出版社



Advanced Global Illumination, 2nd Edition

CRC CRC Press
Taylor & Francis Group

清华社官方微信号



扫 我 有 惊 喜

ISBN 978-7-302-52246-1



9 787302 522461 >

定价：109.00元

全局光照算法技术 (第2版)

[美] 菲利普·特瑞 (Philip·Dutr ) 等 著

黄 刚 译

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书详细阐述了与全局光照算法技术相关的基本解决方案,主要包括光传输物理学、蒙特卡罗方法、计算光传输的策略、随机路径追踪算法、随机辐射度算法、混合算法、真实感和渲染速度等内容。此外,本书还提供了相应的示例,以帮助读者进一步理解相关方案的实现过程。

本书适合作为高等院校计算机及相关专业的教材和教学参考书,也可作为相关开发人员的自学教材和参考手册。

Advanced Global Illumination 2nd Edition/by Philip Dutré,Kavita Bala,Philippe Bekaert/ISBN:978-1-5688-1307-3
Copyright © 2006 by CRC Press.

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC; All rights reserved;

本书原版由Taylor & Francis出版集团旗下,CRC出版公司出版,并经其授权翻译出版。版权所有,侵权必究。Tsinghua University Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese(Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

本书中文简体翻译版授权由清华大学出版社独家出版并限在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal.
本书封面贴有Taylor & Francis公司防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号 图字:01-2012-1347

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

全局光照算法技术:第2版/(美)菲利普·特瑞(Philip Dutré)等著;黄刚译. —北京:清华大学出版社,2019

ISBN 978-7-302-52246-1

I. ①全… II. ①菲… ②黄… III. ①计算机图形学 IV. ①TP391.411

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第019489号

责任编辑:贾小红
封面设计:刘超
版式设计:文森时代
责任校对:马军令
责任印制:沈露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×230mm

印 张:21

字 数:430千字

版 次:2019年11月第1版

印 次:2019年11月第1次印刷

定 价:109.00元

产品编号:045524-01

译者序

2018年4月16日晚,美国商务部发布公告称,美国政府在未来7年内禁止中兴通信向美国企业购买敏感产品。一纸“封杀令”,迅速在国内掀起了轩然大波,严酷的事实让国人意识到,虽然我国在科技领域已经取得了长足进步,但是和国际先进水平相比,仍然有不小的差距,尚未摆脱受制于人的局面。这件事情告诉国人,一方面,我们仍然需要以谦虚诚恳的心态,学习国际上先进的科学技术;另外一方面,我们也要以戒骄戒躁的精神,加强在基础科学领域的创新性研究。这两点精神与本书的翻译出版可谓不谋而合。

自从1980年怀特·迪提出光线追踪算法以来,计算机图形渲染取得了飞速发展,目前的计算机图形艺术在照片级真实感渲染、实时模拟、三维沉浸式体验等方面都取得了惊人的进步,而这一切都离不开对基础光照算法的研究。按照本书作者的观点,“基础”的就是“高级”的,只有掌握了底层的基础光照算法,才能开发出更多的高级渲染技巧和程序,这正是译者认为本书的翻译出版和中国科技发展应该抱持的精神相契合的原因。

本书是对计算机图形艺术中先进光照渲染算法的深度阐释,是集大成性质的研究和总结,包含大量算法分析和对各种研究成果的介绍,涉及众多的专业术语,有些方法简单而不实用,有些术语甚至是互相冲突的,本书的贡献在于全面性地梳理了这些方法和术语,并保持了各种术语和符号的一致性。相对应地,在翻译本书的过程中,译者为了保持这种一致性,也做出了精心的挑选和努力。例如,Noise在有些中文文献中,被称为图像“噪声”,而在另外一些文献中,又称它们为“噪点”;Radiosity在有些中文文献中,被称为“辐射度”,而在另外一些文献中,又被称为“光能传递”。译者对这些术语的翻译进行了统一处理,以保持一致性,同时又提供了相应的英文对照,消除了读者的阅读理解障碍。例如,某位一直接受“光能传递”概念的读者,在看到术语“辐射度”时可能会产生困惑,但是当他看到辐射度(Radiosity)这样的中英文对照形式的术语时就会恍然大悟。除此之外,译者也鼓励读者多接受以中英文对照的形式了解专业术语,因为计算机图形艺术的发展日新月异,中文对大量新出现的术语的翻译缺乏标准和统一,这也是客观事实,了解更多的英文术语原文,有助于对各种理论和算法的准确理解,也便于和国外同行一起学习和交流。

本书是适用于计算机图形艺术专业本科生或研究生水平的教材。作者有丰富的计算机图形艺术授课经历,在治学态度上也非常严谨和细致,在翻译本书的过程中,译者也力争做到认真求证、准确表述,并希望藉此能将这种严谨治学的精神传递给国内的读者,促进我国计算机图形艺术向更高层次的创新性方面发展。

本书由黄刚翻译,马宏华、陈凯、黄进青、熊爱华、黄永强也参与了本书的翻译工作。由于译者水平有限,错漏之处在所难免,在此诚挚欢迎读者提出宝贵意见和建议。

译者

目 录

第 1 章 导言	1
1.1 关于真实感图像合成	1
1.1.1 真实感图像合成的重要性	2
1.1.2 照片级真实感渲染的历史	3
1.1.3 全局照明算法框架	8
1.2 本书的结构	9
1.3 如何使用本书	10
第 2 章 光传输物理学	12
2.1 光学发展简史	12
2.2 光的模型	15
2.2.1 量子光学	15
2.2.2 波模型	15
2.2.3 几何光学	15
2.3 辐射测量	16
2.3.1 辐射量	16
2.3.2 辐射测量项之间的关系	19
2.3.3 辐射亮度的属性	20
2.3.4 示例	22
2.4 发光	26
2.5 光与表面的相互作用	26
2.5.1 双向反射分布函数	26
2.5.2 双向反射分布函数的属性	27

2.5.3	双向反射分布函数示例	29
2.5.4	着色模型	32
2.6	渲染方程	35
2.6.1	半球形公式	35
2.6.2	区域公式	36
2.6.3	直接和间接照明公式	37
2.7	重要性方程	38
2.8	测量方程	38
2.9	小结	38
2.10	练习	39
第3章	蒙特卡罗方法	40
3.1	简史	40
3.2	简单而好用的蒙特卡罗技术	41
3.3	概率论的回顾	41
3.3.1	离散随机变量	42
3.3.2	连续随机变量	44
3.3.3	条件概率和边际概率	46
3.4	蒙特卡罗积分	47
3.4.1	随机变量的加权和	47
3.4.2	估计量	49
3.4.3	偏差	51
3.4.4	精确度	51
3.4.5	估计方差	52
3.4.6	确定性求积法与蒙特卡罗	52
3.4.7	多维蒙特卡罗积分	53
3.4.8	蒙特卡罗方法小结	54
3.5	对随机变量进行采样	54
3.5.1	逆累积分布函数	55
3.5.2	拒绝采样	57

3.5.3 查找表	58
3.6 减小方差	58
3.6.1 重要性采样	59
3.6.2 分层采样	60
3.6.3 N-Rooks 或拉丁超立方算法	62
3.6.4 将分层采样和重要性采样结合在一起	63
3.6.5 将不同分布的估计量结合在一起	64
3.6.6 控制变量	65
3.6.7 准蒙特卡罗	66
3.7 小结	68
3.8 练习	68
第4章 计算光传输的策略	70
4.1 渲染方程的公式	70
4.1.1 出射辐射亮度+在半球上积分	72
4.1.2 出射辐射亮度+在表面上积分	72
4.1.3 入射辐射亮度+在半球上积分	73
4.1.4 入射辐射亮度+在表面上积分	74
4.1.5 辐射通量	74
4.2 重要性函数	76
4.2.1 定义	76
4.2.2 入射和出射的重要性	77
4.2.3 通量	78
4.3 伴随方程	78
4.3.1 线性传输算子	79
4.3.2 函数的内积	79
4.3.3 伴随算子	80
4.4 全局反射分布函数	81
4.4.1 说明	81
4.4.2 全局反射分布函数的属性	82

4.4.3	全局反射分布函数的重要性	83
4.5	全局照明算法的分类	83
4.5.1	入射和出射表现形式	84
4.5.2	系列扩展	85
4.5.3	物理解释	86
4.5.4	分类	90
4.6	路径公式	90
4.7	小结	91
4.8	练习	92
第5章	随机路径追踪算法	93
5.1	路径追踪算法简史	93
5.2	光线追踪设置	94
5.3	简单随机光线追踪	96
5.3.1	真正的随机路径	96
5.3.2	俄罗斯轮盘赌技术	97
5.4	直接照明	100
5.4.1	直接照明和间接照明	100
5.4.2	单光源照明	101
5.4.3	多光源照明	104
5.4.4	阴影射线采样的替代方案	107
5.4.5	进一步优化	108
5.5	环境地图照明	109
5.5.1	捕获环境地图	110
5.5.2	参数化技术	112
5.5.3	环境地图采样	112
5.6	间接照明	115
5.6.1	间接照明的均匀采样	116
5.6.2	间接照明的重要性采样	116
5.6.3	区域采样	120

5.6.4	综合应用	121
5.6.5	经典光线追踪算法	123
5.7	光追踪	123
5.7.1	光追踪算法	124
5.7.2	光追踪与光线追踪	126
5.7.3	相关技术和优化	127
5.8	小结	127
5.9	练习	128
第6章	随机辐射度算法	129
6.1	经典辐射度方法	130
6.1.1	简介	130
6.1.2	数学问题描述	131
6.1.3	经典辐射度方法	134
6.1.4	问题	134
6.2	形状因子	136
6.2.1	形状因子的属性	136
6.2.2	形状因子的解释	137
6.2.3	使用局部光线的形状因子采样	138
6.2.4	使用全局光线的形状因子采样	139
6.3	随机松弛辐射度	140
6.3.1	用于辐射度的雅克比迭代法	141
6.3.2	随机雅克比辐射度	143
6.3.3	讨论	147
6.4	用于辐射度的离散随机游走方法	149
6.4.1	离散状态空间中的随机游走	150
6.4.2	用于辐射度的发射随机游走方法	151
6.4.3	伴随系统、重要性或潜力,以及辐射度的收集随机游走方法	153
6.4.4	讨论	155
6.5	光子密度估计方法	158

6.5.1	光子传输模拟和辐射度	159
6.5.2	直方图方法	162
6.5.3	正交序列估计	163
6.5.4	内核方法	166
6.5.5	最近邻方法	168
6.5.6	即时辐射度	169
6.5.7	讨论	169
6.5.8	密度估计算法的随机迭代变量	172
6.6	方差减少和低差异采样	173
6.6.1	视图重要性驱动的发射	174
6.6.2	控制变量	176
6.6.3	自由收集	178
6.6.4	加权重要性采样	180
6.6.5	低差异采样	181
6.7	分层细化和聚类	182
6.8	练习	184
第7章 混合算法		188
7.1	最终收集	188
7.1.1	简单的半球采样	189
7.1.2	重要性采样	189
7.1.3	结果	191
7.2	多通道方法	191
7.2.1	正则表达式	192
7.2.2	多通道算法的构造	192
7.2.3	加权多通道算法	193
7.3	双向追踪	194
7.4	米特罗波利斯光传输	198
7.5	辐照度缓存	201
7.6	光子映射	202

7.7	即时辐射度	206
7.8	灯光切片和多维灯光切片算法	208
7.8.1	灯光切片算法	208
7.8.2	多维灯光切片	210
7.9	练习	214
第8章	对极致真实感和渲染速度的追求	218
8.1	超越渲染方程	219
8.1.1	参与介质	219
8.1.2	体积发射	220
8.1.3	吸收	221
8.1.4	出射散射、消光系数和反照率	222
8.1.5	入射散射、场和体积辐射亮度以及相位函数	222
8.1.6	参与介质存在下的渲染方程	225
8.1.7	参与介质的全局照明算法	226
8.1.8	追踪参与介质中的光子轨迹	228
8.1.9	体积光子密度估计	230
8.1.10	将光传输视为漫射过程	230
8.1.11	次表面散射	232
8.1.12	偏振、干涉、衍射、荧光、磷光和非恒定介质	235
8.2	图像显示和人类感知	238
8.2.1	色调映射	241
8.2.2	基于感知的渲染加速技术	243
8.3	快速全局照明	247
8.3.1	稀疏采样:利用一致性	247
8.3.2	动态场景	251
8.3.3	快速光线追踪	252
8.3.4	图形硬件和预先计算的辐射亮度传输	252
8.3.5	环境遮挡	253
8.3.6	预先计算的辐射亮度传输	254

第9章 结论	259
9.1 照片级真实感渲染的成就	259
9.2 照片级真实感渲染中尚未解决的问题	259
9.3 结束语	261
附录A 全局照明的类库	263
A.1 路径节点类	264
A.1.1 概述	264
A.1.2 公共接口: PathNode 基类	265
A.1.3 像素过滤和采样: EyeNode 类	266
A.1.4 发光: EmissionNode 类	266
A.1.5 光和潜在散射: ScatteringNode 类	267
A.2 光源采样类	268
A.2.1 表面发射采样: SurfaceEmissionSampler 和 WeightedSurfaceEmission-Sampler 类	268
A.2.2 背景发射采样: BackgroundEmissionSampler 类	269
A.2.3 EmissionSampler 包装类	269
A.3 支持类	270
A.3.1 针孔相机虚拟屏幕抽象: ScreenBuffer 类	270
A.3.2 将高动态范围转换为低动态范围颜色值: ToneMapper 类	270
A.3.3 集成到应用程序中: Browser 类和 Tracer 类	271
A.4 示例代码片段	272
A.4.1 光追踪程序	272
A.4.2 路径追踪程序	273
A.4.3 多重重要性光源采样	276
A.4.4 双向路径追踪程序	279
附录B 半球坐标	295
B.1 半球坐标	295
B.2 立体角	296

B.3 在半球上的积分	298
B.4 半球区域转换	299
附录 C 随机松弛辐射度算法的理论分析	300
参考文献	303

第 1 章 导 言

1.1 关于真实感图像合成

真实感图像合成 (Realistic Image Synthesis) 是计算机图形领域 (Field) 中的一个子领域 (Domain), 它可以从其他数据生成新图像。通常情况下, 将从三维场景的完整描述开始, 指定对象的大小和位置、场景中固体对象的所有表面的材质属性, 以及光源的位置和辐射特性。从这些数据中, 即可生成新图片, 就好像在场景中放置了一个虚拟相机, 然后从该虚拟相机中看到结果一样。合成的目标是使这些图片尽可能达到照片级真实感, 使其与真实照片 (如果在现实中构建了虚拟场景) 的差异很不明显。要达成这个目标, 就需要进行底层物理处理, 即在精确建模和模拟时考虑材质和光线表现。只有通过准确了解试图模拟的内容, 才有可能知道在模拟中哪些地方可以引入简化, 以及这将如何影响结果图像。

生成照片级真实感图片是一个雄心勃勃的目标, 并且在过去几十年中它一直是计算机图形学的主要驱动力之一。视觉现实主义 (Visual Realism) 一直是该领域研究的强大动力, 它是许多与图形相关的商用产品的卖点。预计这种趋势将在未来若干年持续下去, 照片现实主义 (Photorealism) 仍将是渲染的核心领域之一。

照片级真实感渲染 (Photorealistic Rendering) 并不是计算机图形中使用的唯一渲染范例, 也不是所有渲染应用程序的最佳解决方案。特别是在最近几年, 非照片级真实感渲染 (Non-Photorealistic Rendering) 本身已成为一个领域, 为照片级真实感渲染风格提供了可行的替代方案。非照片级真实感渲染 (通常被称为 NPR) 使用各种绘图风格, 适合更具艺术性、技术性 or 教育性的方法。NPR 涵盖的绘图风格包括钢笔画、卡通风格的绘画、技术插图、水彩画和各种艺术风格 (例如印象派、点画派等), 其可能性几乎是无限的。NPR 的算法是通过尝试重新创建某种风格而不是试图模拟自然界中发现的物理过程来驱动的。不过, 虽然 NPR 有很明显的发展空间, 但仍然有大量的应用程序对实际的物理模拟更感兴趣。

1.1.1 真实感图像合成的重要性

照片级真实感渲染是一种渲染风格,在各种领域都有许多应用。早期的应用程序受限于计算单个图像所花费的时间(通常以小时为单位),但最近,交互式技术大大拓宽了照片级真实感图像合成的范围。

1. 电影和视觉效果

电影行业的视觉效果一直是新计算机图形技术发展的推动力。根据所使用的渲染风格,各种特性的动画都可以从全局照明渲染中获益,虽然这可能仅限于使用更复杂照明配置的几个场景。另外,全局照明对于带有实时素材的电影也很有用,特别是在添加了虚拟元素时。在这种情况下,需要在同一镜头中实现真实和虚拟元素之间的一致照明,以避免出现不合情理的照明效果,让人一眼看出破绽。对于计算这些不同元素之间的光相互作用,全局照明显得尤其重要。

2. 建筑设计

建筑设计经常被引用为照片级真实感渲染的最有用的应用之一。计算机程序可以对尚未构建的建筑物进行可视化处理,无论它们是静止图像还是要实现交互式漫游。程序不仅可以模拟室内灯光引起的室内照明,还可以考虑到户外照明。例如,建筑物可以在一年中的不同时间使用各种大气条件照明,甚至可以模拟一天中的不同时间段照明。

3. 建筑物和办公室的人类环境改造学设计

办公室或工厂大厅的人类环境改造学设计(Ergonomic Design)虽然不是严格意义上的计算机图形应用程序,但是同样与全局照明高度相关。在进行建筑物的设计时,可以计算建筑物内不同组成部分(例如桌子、操作工位等)的不同照明层次,并且可以进行必要的调整,例如改变墙壁上油漆的颜色、重新定位窗户,甚至更换墙纸等,以达到对工作环境的最低法定要求或满足更高的舒适性需要等。

4. 计算机游戏

绝大多数计算机游戏都围绕着快速渲染和交互操作而展开,玩家对虚拟世界持不相信的态度,但也会有所迁就。因此,如果能在游戏中实现照片级真实感渲染图像,那么这将强烈吸引玩家进入虚拟环境,增强其所扮演的虚拟角色的代入感。由于交互性在游戏环境中比图像的真实感更重要,而如果在游戏中大量使用全局照明的话将消耗大量的计