



中国科学院大学  
University of Chinese Academy of Sciences

# 硕士学位论文

## 基于深度学习的场景光照估计研究

作者姓名：程大川

指导教师：陈彦云 研究员

中国科学院软件研究所

学位类别：工学硕士

学科专业：计算机图形学

培养单位：中国科学院软件研究所

2019 年 6 月



**Deep Scene Illumination Estimation**

**A thesis submitted to the  
University of Chinese Academy of Sciences  
in partial fulfillment of the requirement  
for the degree of  
Master of Engineering  
in Computer Graphics**

**By**

**CHENG Dachuan**

**Supervisor: Professor Chen Yanyun**

**Institute of Software, Chinese Academy of Sciences**

**June, 2019**



## 中国科学院大学 学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文是本人在导师的指导下独立进行研究工作所取得的成果。尽我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对论文所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明或致谢。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

作者签名：

日 期：

## 中国科学院大学 学位论文授权使用声明

本人完全了解并同意遵守中国科学院大学有关保存和使用学位论文的规定，即中国科学院大学有权保留送交学位论文的副本，允许该论文被查阅，可以按照学术研究公开原则和保护知识产权的原则公布该论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存、汇编本学位论文。

涉密及延迟公开的学位论文在解密或延迟期后适用本声明。

作者签名：

日 期：

导师签名：

日 期：



## 摘 要

摘要

关键词： 关键词





## **Abstract**

**Keywords:** keywords



## 目 录

第1章 绪论 .....	1
1.1 选题的背景及意义 .....	1
1.2 国内外研究现状 .....	2
1.2.1 光照的表示与获取 .....	2
1.2.2 传统光照估计方法及其扩展 .....	2
1.2.3 深度学习 .....	2
1.2.4 基于深度学习的光照估计方法 .....	2
1.2.5 光照估计相关数据集 .....	2
第2章 光照估计数据集 .....	3
2.1 引言 .....	3
2.2 高动态范围全景图像 .....	3
2.2.1 全景图像 .....	3
2.2.2 高动态范围全景图像 .....	3
2.2.3 拍摄与合成 .....	3
2.3 光照估计数据集 .....	3
2.4 讨论 .....	3
2.5 本章小结 .....	3
第3章 基于深度学习的光照估计方法 .....	5
3.1 引言 .....	5
3.2 相关工作 .....	5
3.3 问题求解范围 .....	5
3.4 光照分布的球形谐波表示 .....	5
3.5 卷积神经网络结构 .....	5
3.6 损失函数 .....	5
3.7 实验结果与评估 .....	5
3.8 深入研究光照估计网络 .....	5
3.9 讨论 .....	5
3.10 本章小结 .....	5

第4章 光照估计的应用 .....	7
4.1 引言 .....	7
4.2 电脑端应用 .....	7
4.3 移动端应用 .....	7
4.4 本章小结 .....	7
第5章 总结与展望 .....	9
5.1 本文工作总结 .....	9
5.2 未来工作展望 .....	9
附录 A 附录 .....	11
参考文献 .....	13
作者简历及攻读学位期间发表的学术论文与研究成果 .....	15
致谢 .....	17

## 图形列表

- 1.1 光照估计的应用之一。使用单张图片估计场景的光照，并利用估计的光照渲染一个新的物体合成到图像中。可以看出使用估计光照渲染后的3D物体，与场景中的已有物体在视觉上较为一致。………… 1



## 表格列表





## 符号列表

### 字符

Symbol	Description	Unit
$I_{ij}$	identity tensor	1

### 算子

Symbol	Description
$\nabla$	gradient operator

### 缩写

CFD	Computational Fluid Dynamics
-----	------------------------------



## 第1章 绪论

### 1.1 选题的背景及意义

光照估计（又称光照分布估计）是从已知的彩色图像信息中，预测、估计、恢复出整个场景的光照分布。该问题的输入通常是若干张彩色图片，或者是一段视频，有时几何或材质信息也会作为先验知识来辅助估计光照。场景的光照分布是指场景中各个方向的光照的颜色和强度。较为常见的光照分布表示方法包括高动态范围（High Dynamic Range, HDR）全景图、点面光源的有限集、球形谐波（Spherical Harmonics, SH）表示、小波函数表示等。其中精度最高、使用比较广泛的是HDR全景图像，在实时渲染领域使用较多的则是光照的SH表示。

光照估计作为计算机图形学和计算机视觉的基础问题之一，有着广泛的实际应用场景。例如：基于图像的渲染（Image Based Rendering, IBR）、增强现实（Augmented Reality, AR）、电影后期制作、真实感虚实交互等。图1.1展示了光照估计的应用之一。光照估计也与学科中的许多其它问题息息相关。例如：双向反射分布函数（BRDF）估计、场景几何重构、本征信息提取、图像增强，等等。而高质量的光照估计结果，通常能够为这些问题的解决带来很大的帮助。



图 1.1 光照估计的应用之一。使用单张图片估计场景的光照，并利用估计的光照渲染一个新的物体合成到图像中。可以看出使用估计光照渲染后的3D物体，与场景中的已有物体在视觉上较为一致。

**Figure 1.1 3D rendering under the predicted illumination. visual effect of the 3D rendering is in line with the original image.**

从有限的图像信息估计出整个场景的光照分布是一个复杂的问题。首先，图像的视野范围比较有限，例如一张视场角（FOV）为60°的照片所拍摄到的区域，在其对应的全景图中占比不足6%。此外，一幅图片是光照分布、场景几何结构、物体材质、摄像机参数等多个单位之间的复杂交互结果（公式 1.1）。

$$Image = ComplexInteraction(Light, Geometry, Material, Camera) \quad (1.1)$$

通过公式1.1可以看出，在其它三个信息未知的情况下，从图像（Image）反推出光照（Light）是一个严重的不适定（ill-posed）问题。不仅如此，在不同的条件下拍摄的彩色图像可能存在很多误差。例如图像中的过曝光/欠曝光区域、相机畸变、不正确的白平衡等。这些都会对光照估计造成一定程度的干扰，增加光照估计的难度。

研究者在光照估计问题上开展了一系列的研究。Debevec[1] 首次提出可以通过拍摄不同曝光下的镜面球体，来获取一张高动态范围的全景图片。 *Related limited methods.* 可以看出，这些方法通常无法从图像直接估计光照，而是需要额外的先验信息、操作步骤、模型约束和假设。

近年来，深度学习在多种计算机视觉问题上大放异彩，用于分割、检测、标识、分类的神经网络层出不穷。因此一些研究者尝试将深度学习应用在光照估计问题当中。 *Related learning based method.* 不过，目前已有的深度学习方法也有一定的局限性。训练一个鲁棒的神经网络往往需要大量的数据。目前用于光照估计问题的数据集比较有限，主要包括：大规模的低动态范围全景数据集（SUN360等）和中小规模特定场景的高动态范围全景数据集（Laval Indoor等）。这些数据集在规模和质量上很难同时到达训练深度神经网络的要求。

在这样的背景下，本文构建了一个用于光照估计的数据集。数据集具有一定的规模和质量，它不仅能被用来训练更加鲁棒的光照估计网络，也可以被应用到其它多种相关的深度学习问题当中。此外，本文探索了基于深度学习网络的光照估计方法，对网络结构，损失函数，光照表示等多个模块进行了深入的研究。

## 1.2 国内外研究现状

### 1.2.1 光照的表示与获取

### 1.2.2 传统光照估计方法及其扩展

### 1.2.3 深度学习

### 1.2.4 基于深度学习的光照估计方法

### 1.2.5 光照估计相关数据集

## 第2章 光照估计数据集

### 2.1 引言

### 2.2 高动态范围全景图像

#### 2.2.1 全景图像

#### 2.2.2 高动态范围全景图像

#### 2.2.3 拍摄与合成

### 2.3 光照估计数据集

### 2.4 讨论

### 2.5 本章小结



## 第3章 基于深度学习的光照估计方法

- 3.1 引言
- 3.2 相关工作
- 3.3 问题求解范围
- 3.4 光照分布的球形谐波表示
- 3.5 卷积神经网络结构
- 3.6 损失函数
- 3.7 实验结果与评估
- 3.8 深入研究光照估计网络
- 3.9 讨论
- 3.10 本章小结





## 第4章 光照估计的应用

- 4.1 引言
- 4.2 电脑端应用
- 4.3 移动端应用
- 4.4 本章小结



## 第5章 总结与展望

### 5.1 本文工作总结

### 5.2 未来工作展望



## 附录 A 附录



## 参考文献

- [1] DEBEVEC P. Rendering synthetic objects into real scenes: bridging traditional and image-based graphics with global illumination and high dynamic range photography[C]//Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. ACM, 1998: 189-198.





## 作者简历及攻读学位期间发表的学术论文与研究成果

### 作者简历

#### 作者基本情况

程大川，男，汉族人，1994年11月11日生，山东菏泽人

2012年2月–2016年6月 山东科技大学信息学院软件工程工学学士

2016年9月–2019年6月 中国科学院大学软件研究所计算机应用技术工学硕士

#### 联系方式

通讯地址：北京市海淀区中关村南四街4号中国科学院软件研究所

计算机科学国家重点实验室

邮政编码：100190

电子邮箱：chengdc@ios.ac.cn

#### 已发表(或正式接受)的学术论文:

[1] Cheng, Dachuan, Jian Shi, Yanyun Chen, Xiaoming Deng, and Xiaopeng Zhang. "Learning Scene Illumination by Pairwise Photos from Rear and Front Mobile Cameras." In Computer Graphics Forum, vol. 37, no. 7, pp. 213-221. 2018.



## 致 谢

致谢

