

撤稿声明

撤稿文章名: 基于LED可见光通信的远距离投射光学设计
作者: 黄鸿勇, 姚舜禹

* 通讯作者: 邮箱: hhy_2635102@163.com

期刊名: 光电子(OE)
年份: 2018
卷数: 8
期数: 1
页码(从X页到X页): 22-28
DOI(to PDF): <https://doi.org/10.12677/oe.2018.81004>
文章ID: 2140137
文章页面: <https://www.hanspub.org/journal/PaperInformation.aspx?paperID=24279>
撤稿日期: 2018-5-25

撤稿原因(可多选):

- 所有作者
 部分作者:
 编辑收到通知来自于
- 出版商
 科研机构:
 读者:
 其他:

撤稿生效日期: 2018-5-25

撤稿类型(可多选):

- 结果不实
 实验错误
 数据不一致
 分析错误
 内容有失偏颇
 其他:
- 结果不可再得
 未揭示可能会影响理解与结论的主要利益冲突
 不符合道德
- 欺诈
 编造数据
 虚假出版
 其他:
 抄袭
 自我抄袭
 重复抄袭
 重复发表*
 侵权
 其他法律相关:
- 编辑错误
 操作错误
 无效评审
 决策错误
 其他:
- 其他原因:

出版结果(只可单选)

- 仍然有效.
 完全无效.

作者行为 失误(只可单选):

- 诚信问题
 学术不端
 无(不适用此条, 如编辑错误)

* 重复发表: "出版或试图出版同一篇文章于不同期刊."

历史

作者回应:

是, 日期: yyyy-mm-dd

否

信息改正:

是, 日期: yyyy-mm-dd

否

说明:

“基于 LED 可见光通信的远距离投射光学设计”一文刊登在 2018 年 3 月出版的《光电子》2018 年第 8 卷第 1 期第 22-28 页上。因作者疏忽, 文章部分内容有待进一步确认。根据国际出版流程, 编委会现决定删除此稿件, 保留原出版出处:

黄鸿勇, 姚舜禹. 基于 LED 可见光通信的远距离投射光学设计[J]. 光电子, 2018, 8(1): 22-28. <https://doi.org/10.12677/OE.2018.81004>

所有作者签名:

黄鸿勇

Long Distance Projective Optical Design Based on LED Visible Light Communication

Hongyong Huang^{1,2}, Shunyu Yao²

¹Guangdong Vocational and Technical College, Foshan Guangdong

²South China Normal University, Guangzhou Guangdong

Email: hhy_2635102@163.com

Received: Mar. 6th, 2018; accepted: Mar. 21st, 2018; published: Mar. 29th, 2018

Abstract

The long range projection system belongs to non imaging optics, and the non imaging optical system has a variety of design frameworks. According to the basic theory, design concept and practical considerations of non imaging optics, several feasible schemes are put forward. After comparison and demonstration, the integrated optical system combined with refraction and reflection is chosen as the design direction and has been designed in detail. In this paper, we optimize the Total Internal Reflection (TIR) with MATLAB, and get the TIR lens with high energy collection rate (90.6%), and the 3 meter received illumination is up to 274.73 Lux. This lens meets the requirement of long distance LED visible light communication.

Keywords

LED, VLC, TIR, Edge Ray Theory

基于LED可见光通信的远距离投射光学设计

黄鸿勇^{1,2}, 姚舜禹²

¹广东职业技术学院, 广东 佛山

²华南师范大学, 广东 广州

Email: hhy_2635102@163.com

收稿日期: 2018年3月6日; 录用日期: 2018年3月21日; 发布日期: 2018年3月29日

摘要

远距离投射系统属于非成像光学, 非成像光学系统有多种设计框架。本文根据非成像光学的基本理论、

文章引用: 黄鸿勇, 姚舜禹. 基于 LED 可见光通信的远距离投射光学设计[J]. 光电子, 2018, 8(1): 22-28.

DOI: 10.12677/oe.2018.81004

设计理念以及实际考虑, 提出了几种可行的方案, 经过对比和论证, 选择了折射与反射组合的综合型光学系统作为设计方向, 并进行了详细设计。本文利用matlab对全内反射透镜(Total Internal Reflection, TIR)进行了合理优化, 得到高能量收集率(90.6%)的TIR透镜, 并实现3米接收照度高达274.73 lux, 因此透镜满足远距离LED 可见光通信需求。

关键词

LED, 可见光通信, 全内反射透镜, 边缘光线理论

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

无线光通信包括紫外光、可见光和红外光通信, 但是随着 LED 固态照明的发展, 基于 LED 的可见光通信(Visible Light Communication, VLC)技术得到人们的密切关注, 因为在这种独特的无线光通信技术中, 光源用于照明的同时, 还可用来传输数据, 这使得照明通信一体化成为可能[1] [2] [3] [4] [5]。

本文阐述的定向式室内 VLC 光源的光学设计分析等内容拓展了场景 VLC 系统应用研究的理论工作。另一方面, 现今的 VLC 技术研究仍主要停留在实验阶段, 与实际应用有所出入[6]。在本研究中, 以 LED 阵列为光源, 利用非成像光学理论设计了 TIR 透镜阵列使其可用于定向式室内照明, 之后, 从接收面照度及接收器视场角等方面对 VLC 系统的通信性能进行了研究, 验证了本设计中的定向式 VLC 光源在满足照明的同时可以进行数据通信。因此, 本研究对 VLC 技术的实际应用具有一定的现实指导意义。

2. 理论基础

2.1. 光学扩展量

在非成像光学中, 光学扩展量被用来描述具有一定孔径角和截面积的光束在光学系统中的会聚、发散以及截面相关的特性[7]。若面积元 dA 处于折射率为 n 的介质中, 由发光亮度公式可得:

$$d\Phi_v = L_v \cos\theta dA d\Omega = \frac{L_v}{n^2} n^2 \cos\theta dA d\Omega = L^* dU \quad (1)$$

其中, $L^* = L_v/n^2$, 称为基本发光亮度, 且:

$$dU = n^2 \cos\theta dA d\Omega$$

其中, dU 即为光学扩展量。

理想情况下, 光学扩展量在经过光学系统前后保持不变, 即光学扩展量守恒, 其实质是系统能量守恒。光学扩展量描述了光束通过光学系统时光束源面积和立体角扩散间的关系。光束角越大或者光束源面积越大, 则光学扩展量越大。在非成像光学系统设计中, 光学扩展量匹配是首要参考的设计因素[8] [9]。光源的光学扩展量应越小越好, 而光学元件的光学扩展量则应越大越好。不过, 特殊情况下, 增大光学扩展量对提升能效并不总是具有明显效果, 反而会提高系统复杂度及成本。因此, 应合理的设计照明系统、控制光线走向, 实现光学扩展量匹配。

2.2. 能量收集率

若光束以入射角 θ , 照射到横截面积为 A 的输入面, 光出射的横截面积为 A' , 出射角为 θ' 。若传播过程中无反/折射、吸收等能量损失, 根据光学扩展量守恒, 应存在以下关系:

$$A \sin^2 \theta = A' \sin^2 \theta' \quad (2)$$

定义能量收集率为:

$$C = \frac{A}{A'} = \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \theta'} \quad (3)$$

2.3. 边缘光线理论

由 Ari Rabl 和 Harald Ries 提出的边缘光线理论是非成像光学中的重要组成部分[10]。其核心是让入射光束的边缘光线经过光学系统的折、反射后能尽可能到达接收面上, 而光源发出的所有光线将会落在接收面之内。这样, 我们只需考虑光源或者入射光束的边缘光线即可, 极大地简化了二次光学系统的设计[11] [12] [13] [14] [15]。实际应用中, 由于可见光通信 LED 的尺寸较大, 在二次光学设计时, LED 不能近似为点光源, 对所有光线逐一进行追迹难度很大。依据边缘光线理论, 可以利用 LED 光源的边缘光线在受照面获得比较清晰的光斑轮廓, 利用光源的中心光线调整受照面最大照度的位置。

3. TIR 透镜光学设计

理想朗博辐射体的光束角为 120° , 其能量分布分散。所以, 在用作室内定向式 VLC 系统光源时, 需要对 LED 进行准直光学设计, 从而减小光源光束角。在典型的室内环境中, 光源一般安装在距离地面 3 m 的天花板上, 假设照明区域直径约为 40~60 cm 左右。据此, 本设计提出光源光束角在 10° 以内的准直设计要求, 光学设计思路为: 根据非成像光学设计的相关理论, 首先基于数学建模法设计一款折射-反射-折射结构的 TIR 透镜, 用于对单颗 LED 组成的光源进行准直。然后基于试错法, 根据仿真模拟的反馈调整 TIR 透镜几何结构, 优化其能量收集率至 90% 以上。

本文从 TIR 透镜的主要轮廓曲线构建到 TIR 透镜曲线 1 数学模型示意图(图 1), 再到 TIR 透镜 3D 结构图(初始结构)。其中在曲线 1 上建立数学模型, 如图 2 所示, 其中, θ_0 是原点 O 处点光源发出光线 OF 与 x 的夹角, θ_1 是 OF 与曲线 1 上 F 点切线的夹角, θ_2 是光线经过曲线 1 上 F 点后的折射角。光线经 F 点折射后平行出射。根据 Matlab 编程得到的数据离散点以 txt 格式保存, 然后通过 SolidWorks 里“通过 x, y, z 点的曲线”功能将其导入得到曲线 1 的形状, 最终得到 IR 透镜 3D 结构图如图 3 所示。

将 TIR 透镜的初始结构导入光学仿真软件 TracePro 中, 构建单颗“Lambertian 发光场型”LED 光源, 其发光表面尺寸为 $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$, 光源总光通量为 80 lm, 光源波长 460 nm。TIR 透镜材质为 PMMA, 对应光源波长的折射率为 1.497。受照面为 $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 的矩形平面, 安装在距离光源 3 m 位置。

图 4(a)和图 4(b)所示分别为单颗 LED 经过初始 TIR 透镜后受照面的光斑图以及发光强度分布图。从图 4(a)中可以看出, 圆形光斑直径约为 1 m, 最大光照度为 275.27 lux, 能量收集率为 87.241%, 光斑范围内光照度分布均匀。从图 4(b)中可以看出, 单颗 LED 经过初始 TIR 透镜后的光束角为 9.67° 。考虑施加高频调制信号后, LED 辐射光通量会有所减弱, 另一方面, 为了提高通信速率, 实际测试时一般会在接收端将黄光滤掉, 只接收响应频率更高的蓝光信号, 这进一步削减了接收器可探测到的能量。因此, 提高 TIR 透镜的能量收集率是至关重要的。由于初始 TIR 透镜的能量收集率低于 90%, 因此其结构仍需优化。此时, 数学建模法没有竞争优势, 接下来, 将利用局部校正的方法对 TIR 透镜结构进行优化以提高其能量收集率。

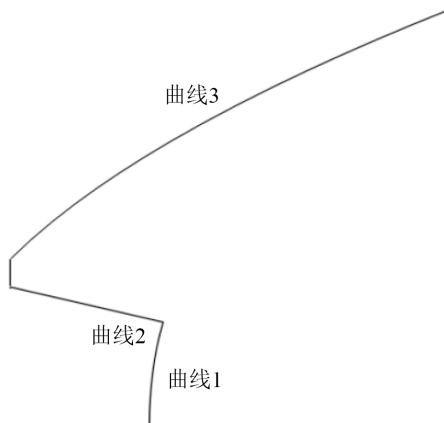


Figure 1. The profilogram of the TIR lens
图 1. TIR 透镜的轮廓曲线

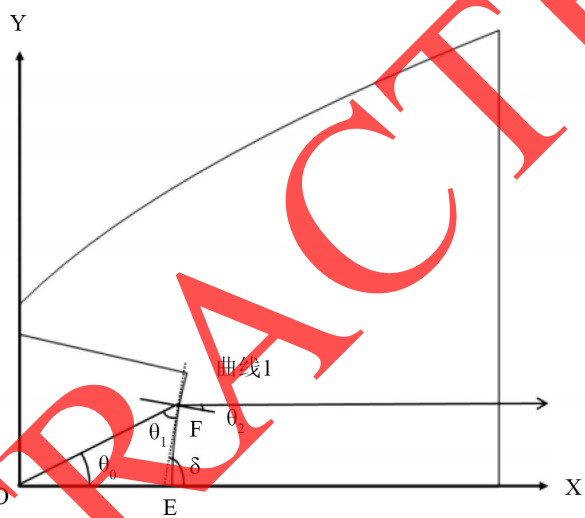


Figure 2. The mathematical model schematic diagram of the TIR lens curve 1
图 2. TIR 透镜曲线 1 数学模型示意图

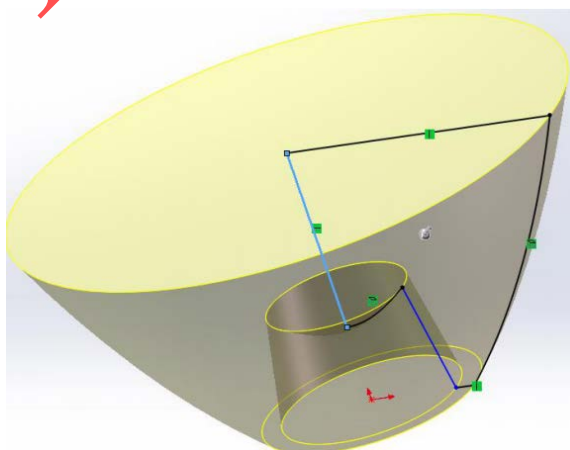


Figure 3. The 3D structure diagram of the TIR lens
图 3. TIR 透镜 3D 结构图

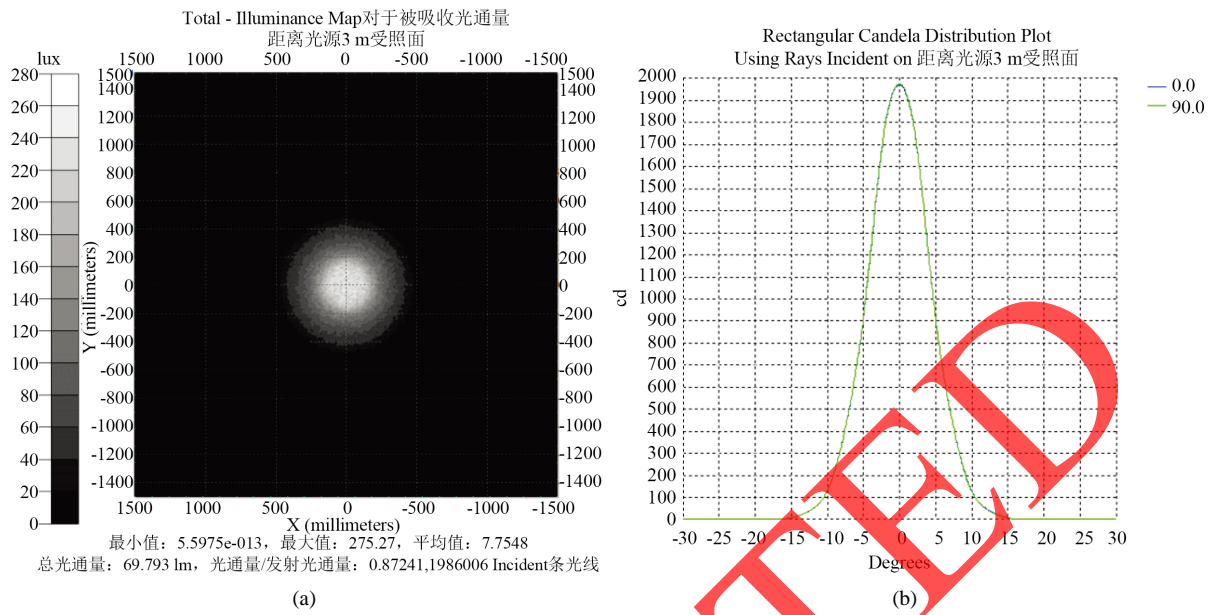


Figure 4. The optical properties of the initial structure TIR lens ((a) the illuminance diagram of a single LED through a TIR initial structural lens; (b) the light intensity distribution diagram of a single LED through a TIR initial structural lens)

图 4. TIR 初始结构的光学特性((a) 单颗 LED 经过 TIR 初始结构受照面的光斑图; (b) 单颗 LED 经过 TIR 初始结构后发光强度分布图)

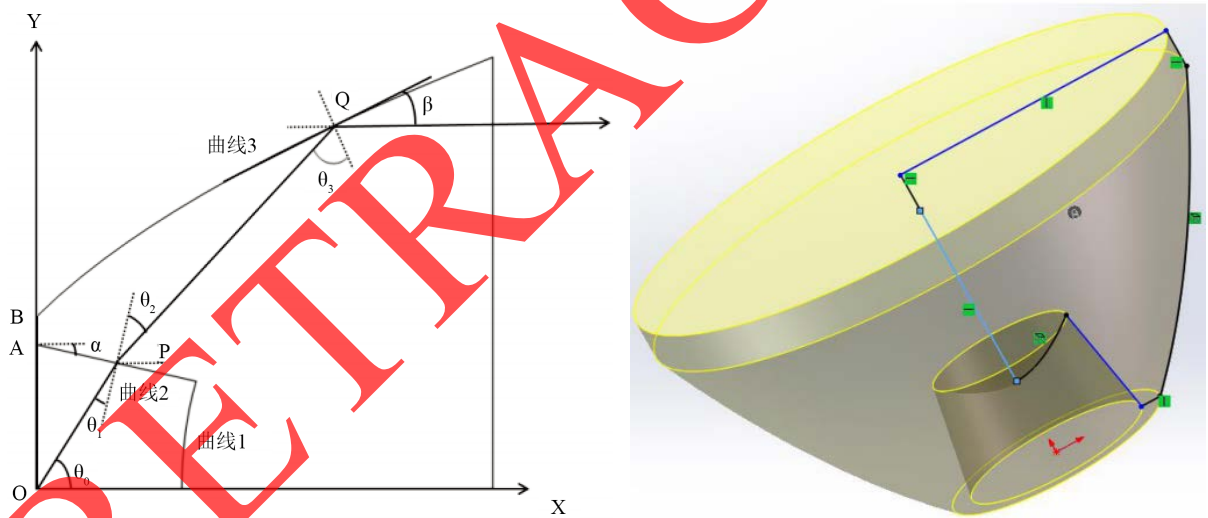


Figure 5. The mathematical model schematic diagram of the TIR lens curve 3 and its 3D structure diagram (after optimization)

图 5. TIR 透镜通过延伸轮廓曲线 3 及相应 TIR 透镜 3D 结构图(优化结构)

4. 优化设计与优化效果

优化 TIR 透镜通过延伸轮廓曲线 3, 减少了直接照射到出射面上的光线数目, 从而提高了 TIR 透镜的能量收集率。其中在曲线 3 上建立数学模型, 如图 5 所示, 其中, θ_1 是原点 O 处点光源发出光线 OP 与 x 的夹角, θ_1 与 θ_2 分别是光线在曲线 2 上 P 点的入射角和折射角, θ_3 是 PQ 在曲线 3 上 Q 点的入射角, α 是为了便于模具插入和拉出设计的小拔模角度, α 为 10° 。光线经 Q 点反射平行出射。

图 6(a)和图 6(b)所示分别为单颗 LED 经过优化 TIR 透镜后受照面的光斑图以及发光强度分布图。从

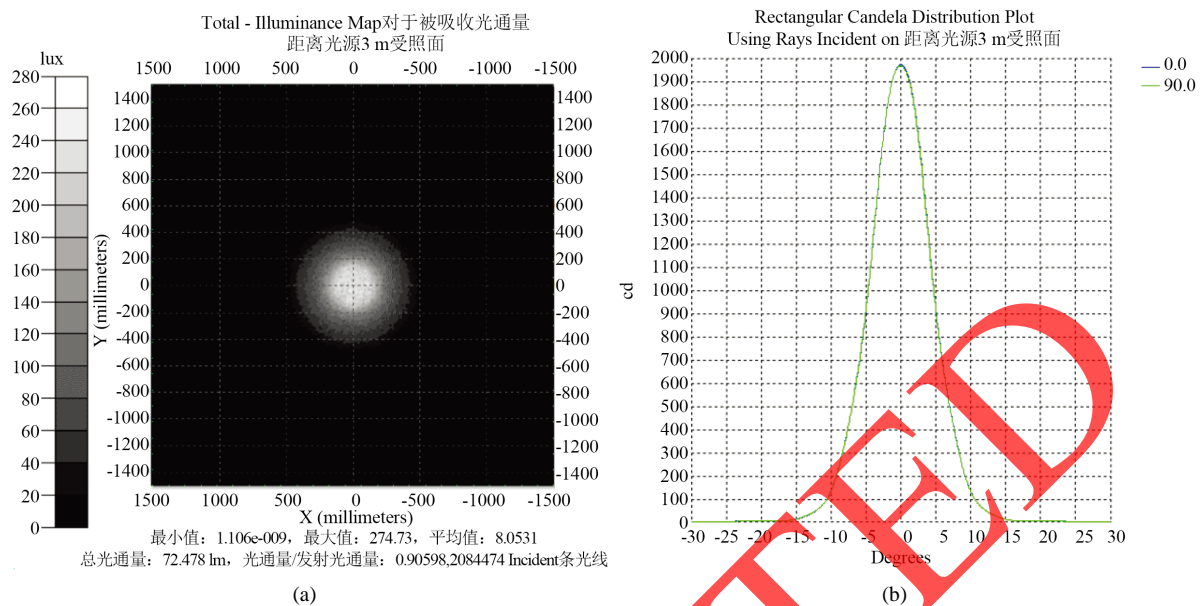


Figure 6. The optical properties of the optimized structure TIR lens ((a) the illuminance diagram of a single LED through a TIR initial structural lens; (b) the light intensity distribution diagram of a single LED through a TIR initial structural lens)

图 6. 优化后 TIR 透镜效果图((a) 单颗 LED 经过优化 TIR 透镜后受照面的光斑图, (b) 单颗 LED 经过优化 TIR 透镜后发光强度分布图)

图 6(a)中可以看出, 光斑面积仍维持在 1 m 左右, 最大光照度为 274.73 lux, 相较初始 TIR 透镜, 能量收集率提升至 90.60%。从图 6(b)中可以看出, 光源光束角亦未发生明显改变。综上分析, 优化 TIR 透镜达到了有效准直光源、高能量收集率的设计要求。

5. 总结与展望

以数学建模法建立 TIR 透镜初始结构, 受照面上光斑直径约为 1m, 光束角为 9.67°, 最大光照度为 275.27 lux, 能量收集率达到了 87.241%。以试错法对初始 TIR 透镜进行优化, 受照面上光斑直径、光束角和最大光照度未明显改变, 能量收集率达到了 90.6%。受照面上的光束角边缘处可检测到的光信号功率均为 13.37 μW 左右, 可以被 PIN 光电探测器接收到。所以 TIR 设计有利于 VLC 在实际应用中对信号的配置, 让 LiFi 技术能够更好的应用起来[16]。

参考文献

- [1] 迟楠. 可见光通信关键器件与应用[M]. 人民邮电出版社, 2015.
- [2] Tanaka, Y., Haruyama, S. and Nakagawa, M. (2000) Wireless Optical Transmissions with White Colored LED for Wireless Home Links. *The IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, IEEE*, 2, 1325-1329. <https://doi.org/10.1109/PIMRC.2000.881634>
- [3] Komine, T. and Nakagawa, M. (2004) Performance Evaluation of Visible-Light Wireless Communication System Using White LED Lightings. *International Symposium on Computers and Communications, 2004. Proceedings. ISCC. IEEE Xplore*, 1, 258-263.
- [4] Komine, T. and Nakagawa, M. (2004) A Study of Shadowing on Indoor Visible-Light Wireless Communication Utilizing Plural White LED Lightings. *International Symposium on Wireless Communication Systems. IEEE*, 36-40.
- [5] Hara, T., Iwasaki, S., Yendo, T., et al. (2007) A New Receiving System of Visible Light Communication for ITS. *Intelligent Vehicles Symposium. IEEE*, 474-479.
- [6] Hao, L.M., O'Brien, D., Faulkner, G., et al. (2008) 80 Mbit/s Visible Light Communications Using Pre-Equalized White LED. *European Conference on Optical Communication. IEEE*, 1-2.

- [7] 罗晓霞. LED 照明系统的优化设计[D]. 中国科学院研究生院(长春光学精密机械与物理研究所), 2011.
- [8] Chaves, J. and Collares-Pereira, M. (2010) Etendue-Matched Two-Stage Concentrators with Multiple Receivers. *Solar Energy*, **84**, 196-207. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.10.022>
- [9] Winston, R. and Gordon, J.M. (2005) Planar Concentrators near the Etendue Limit. *Optics Letters*, **30**, 2617-2619. <https://doi.org/10.1364/OL.30.002617>
- [10] Davies, P.A. (1994) Edge-Ray Principle of Nonimaging Optics. *Journal of the Optical Society of America A*, **11**, 2627-2632. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.11.002627>
- [11] Gordon, J.M. and Ries, H. (1993) Tailored Edge-Ray Concentrators as Ideal Second Stages for Fresnel Reflectors. *Applied Optics*, **32**, 2243-2251. <https://doi.org/10.1364/AO.32.002243>
- [12] Sun, L., Jin, S. and Cen, S. (2009) Free-Form Microlens for Illumination Applications. *Applied Optics*, **48**, 5520-5527. <https://doi.org/10.1364/AO.48.005520>
- [13] Smith, J.A., Lin, T.L. and Ranson, K.L. (1980) The Lambertian Assumption and Landsat Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **46**, 1183-1189.
- [14] 林雪琴. 大功率白光 LED 道路照明系统的设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2010.
- [15] 韩敏, 叶正南, 康廉洁, 等. 基于 TIR 结构的矩形区域照明 LED 透镜的设计[J]. *应用光学*, 2016, 37(5): 668-672.
- [16] 丁德强, 柯熙政, 李建勋. VLC 系统的光源布局设计与仿真研究[J]. *光电工程*, 2007, 34(1): 131-134.

RETRACTED

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5450, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: oe@hanspub.org