

文章编号: 2095-2163(2023)12-0046-04

中图分类号: TM923.4

文献标志码: A

紧凑型光管色彩混合系统研究

陈建锋, 丁 召, 杨 晨

(贵州大学 大数据与信息工程学院, 贵阳 550025)

摘要: 本文设计了一种色彩混合系统,由上位机控制程序、基于 ARM 架构的 STM32 单片机、导光管和红绿蓝三色 LED 构成。模型设置方形导光管结构以混合红绿蓝三色光强;软件基于上位机控制程序开发单片机的 PWM 输出程序和用户图像页面以驱动 LEDs;优化基于蒙特卡罗射线追踪法对光管的长度进行优化,以实现良好的光照均匀性。实验中将各部件进行有机结合,并对其混色性能和光照均匀性进行测试。结果表明,该系统具有出色的混色能力并具有良好的光照均匀性。

关键词: 导光管;混色;均匀性

Research on a compact light pipe color mixing system

CHEN Jianfeng, DING Zhao, YANG Chen

(College of Big Data and Information Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: This paper presents the design of a color mixing system composed of a host computer control program, an ARM-based STM32 microcontroller, light guides, and red-green-blue (RGB) LED lights. In the hardware aspect, a square light guide structure is implemented to mix the intensities of red, green, and blue light. In the software aspect, the microcontroller's PWM output program and GUI are developed based on the host computer control program to drive the LEDs. In terms of optimization, the length of the light guide is optimized using the Monte Carlo ray tracing method to achieve uniform illumination. In the experiment, various components are organically combined, and their color-mixing performance and illumination uniformity are tested. The results show that the proposed system has excellent color mixing capabilities and good illumination uniformity.

Key words: light pipe; color mixing; uniformity

0 引言

色彩混合是一种将不同色彩或不同波长的光混合在一起的照明技术,其目的是产生全新色度或者光谱波长分布的复色光源。由于单色 LED 光源具有低成本、低热量和高使用寿命等优点,因此基于 LED 的色彩混合技术在色度学、智能照明和太阳光模拟器等领域得到了广泛的应用。

在色度学领域,将多色 LED 混合在一起,利用各种满反射器、光学镜头和导光管等器件,可以实现各种高显色指数的高质量光源。2011 年 Ching-Cherng 等人^[1]基于导光管、漫射器和全内反射透镜等设计了一种新型的色彩可调灯,该灯可以有效的混合来自 RGB LED 的光线,可在改变光的颜色或色

温中得到有效的应用。2015 年,Anne 等人^[2]基于多个反射镜和全内反射透镜混合多色 LED 的光线,能有效地进行色彩混合和实现良好的颜色均匀性。2016 年,Hsiang-Chen 等人^[3]利用反射器原理延长光学结构辐照距离的方法,并基于该方法设计了一款全反射色温可调 RGB LED 手电筒。该手电筒的色均匀度为 0.004 2,色温可调范围为 2 000 ~ 6 500 K。

在智能照明领域,通过互联网、嵌入式等技术调控多色光源强度,可为不同环境提供特定光照。2021 年,陈苗等人^[4]基于 STM32 微处理器、红光 LED 和蓝光 LED 构建了一个 LED 智能照明系统,用以解决铁皮石斛培养过程中,光源不能自主调整光照颜色和光照强度等问题。2018 年,为满足智能

基金项目: 国家自然科学基金(61604046);贵州大学人基合(2012)。

作者简介: 陈建锋(1997-),男,硕士研究生,主要研究方向:光电系统。

通讯作者: 杨 晨(1982-),男,博士,教授,主要研究方向:用于半导体检测的光电系统、基于深度学习的医学图像处理、高光谱系统及图像处理。Email: eliot.c.yang@163.com

收稿日期: 2023-08-29

照明市场需求, 陈志飞等人^[5]基于单片机和 WIFI 模块为核心设计了一个智能 RGB-LED 照明系统, 该系统能实现不同情景下的智能调光调色。2017 年, 曹文越^[6]利用色度学三基色配色原理, 基于单片机构建了智能 LED 调光设计, 该设计能实现光的全彩调节, 满足不同需求的多样化智能照明。

在太阳光模拟器领域, 通过调控不同波段(即不同颜色)的光源, 可以模拟自然光进行各种样品的测试。2014 年, Michael 等人^[7]基于数模转换(DAC)和晶体管设置多色 LED 驱动电路, 以产生类自然光对非晶硅太阳能电池进行电流电压测量。2019 年, Eduardo 等人^[8]使用 Arduino 微控制器对多色 LED 进行控制, 以模拟太阳光对小型太阳能电池进行快速测试。

尽管对于 LED 色彩混合已进行了许多研究, 但在大多数的混光应用场景中, 灯具的尺寸是有限的, 并且通常需要紧凑。因此, 本文基于光管提出了一种用于色彩混合研究的紧凑型光管系统。系统采用方形导光管结构进行光混合, 并基于蒙特卡洛射线追迹法对光管的结构参数进行优化以实现紧凑的目的; 开发了一个图形化的控制软件, 用于单片机的 PWM 输出程序对系统输出的色彩和光强进行调控; 结合导光管结构和控制系统进行光源系统搭建, 对其光混合能力进行测试。

1 系统设计

色彩混合系统整体结构主要由带图形化控制软件的上位机(PC)、STM32 微处理器、多色 LED 和光导管等 4 部分构成。首先, 基于上位机开发 STM32 的 PWM 程序, 以驱动多色 LED 光源, 使其按照预期强度进行发光; 其次, 将多色 LED 光源发出的光导入到光导管进行混合, 并使其光照尽可能均匀。

1.1 PWM 程序开发

在当前的工作中, 基于开发了上位机(PC)和 STM32 微处理器开发了用于调控 LED 发光强度的 PWM 输出程序, 在该程序中, 首先加载预设参数用于占空比到实际电压之间的转换等操作, 其次调动图形化控制页面的参数用于单片机 PWM 的设计, 最后驱动 PWM 模块用于 LED 供电。在该程序中, 只需在输入控件输入预设的电压, 就能实现相应的光强输出。为更直观地表示出 LED 两端电压(即 LED 光强), 将占空比转换为相应的电压数值, 在单片机中默认其峰值电压为 3.3 V, 该电压会根据占空比的大小, 等效于相应的模拟电压。

1.2 蒙特卡洛光线追迹法开发

蒙特卡洛法(Monte Carlo Method, MCM)是一种以概率理论为基础的随机模拟方法。在光学领域, 蒙特卡洛法被应用于光线追迹模拟, 其基本思想是计算场景中具有不同方向的单个光线的传播。当光线与场景中的物体相互作用时, 会基于折射率数据和物体表面的形态进行折射计算, 并相应地调整光线参数。这个过程一直持续到光线被吸收或离开场景。在此情况下, 光线追踪器会记录终止参数, 然后使用另一条光线重新开始该过程。蒙特卡洛光线追迹的基本流程如图 1 所示, 其仿真过程的 3 个要素为光源、系统几何模型与探测器。

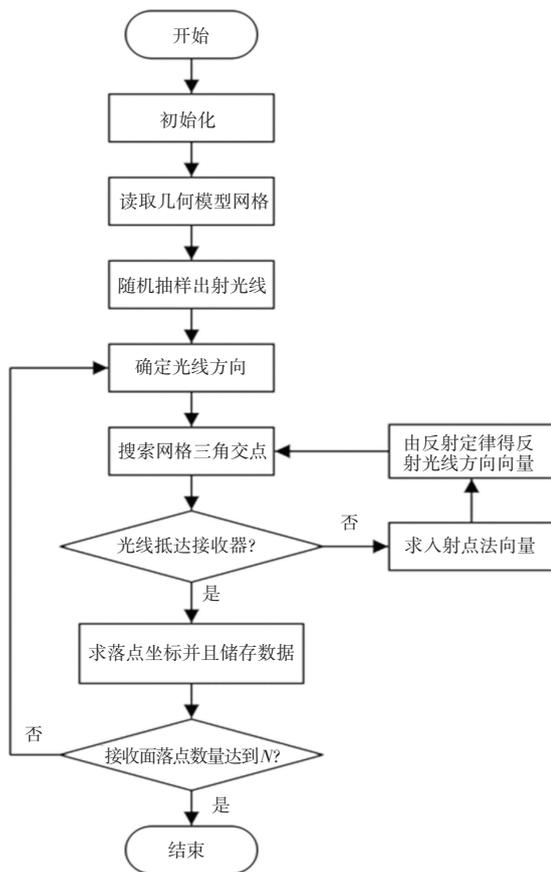


图 1 蒙特卡洛光线追迹流程图

Fig. 1 Monte Carlo ray tracing flow chart

对于光源而言, 蒙特卡洛光线追踪有正向与逆向两种方式。无论采用哪种方式, 均假设光线起始于某个光源。以理想点光源为例, 通常假设其体积可以忽略。所有同源光线都源自三维坐标空间中的某一点, 且沿任意方向发散的光线均匀分布, 每条光线的辐照能量相等。

对于系统几何模型来说, 当一条光线从光源发出后将沿直线传播, 直到与光路中的某个元件相遇。

这个过程与计算机图形学中对三维目标的建模相同,光线追踪法中对某一元件的描述也常采用三维网络(3D Mesh)的方式,其中,网格的基本构成成分为三角形。在数学描述上,用于描述三角形空间坐标的合集。光线从光源发出后将沿直线传播,直到与光路中的某个元件相遇。

而对于探测器的仿真过程中,光线在其传播的整个周期中会与三维空间网格中的三角形反复相交。记录每个三角形中的光线数据会加大程序运行负担。因此,在系统中定义的具有记录功能的具体面,称之为探测器。对于更详细的蒙特卡洛光线追

迹法开发的开发与设计,可以参考文献[9]。

1.3 导光管设计

本工作使用三色 LED 进行混光设计,根据 LED 尺寸预先设置了方形光管的宽和高均为 30 mm,并通过蒙特卡洛射线跟踪法对光管的长度进行优化,实现良好的照明均匀性,光管的光照均匀性会对混色效果产生影响。对于光管而言,在入口边缘的 LED 需要更大的长度以实现光照均匀性^[10]。因此,本文将 LED 放置于光管入口边缘进行蒙特卡洛射线跟踪仿真模拟,得到不同长度光管的均匀性分布(如图 2)。

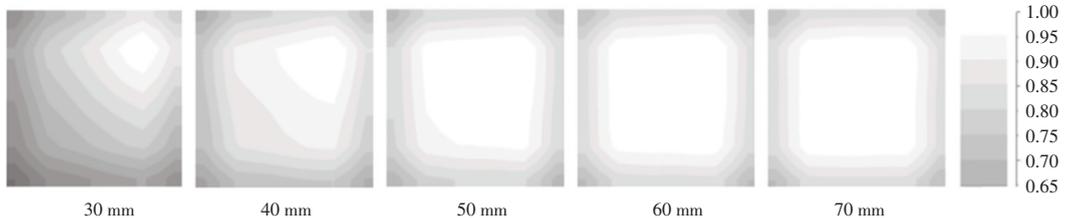


图 2 不同长度光管的光照

Fig. 2 Illumination of light pipes with different lengths

从图中可以看出,当光管长度逐步增加,其均匀性逐步增大,但光管长度到达 60 mm 时,其光照均匀性几乎不再发生变化。然而,从 John^[11]的工作可知,当光管较长时,光线会在其内部进行更多的反射,导致其光学效率的下降,使其输出端的光强下降。因此,为了平衡照明光强与均匀性,系统采用 60 mm 长度光管进行实际结构搭建。

2 实验结果与分析

2.1 实例制作

根据上述的优化结果进行了系统实例的构建。对于多色 LED,将其通过胶水固定在支撑板上,对 LED 的支持板后部进行钻孔,使导线能通过小孔连接至 STM32 单片机上。对于导光管,先使用激光切割技术进行尺寸外壳切割;然后,使用胶水将切割得到的外壳进行组装;最后,将反光膜均匀地粘连到光管内部,使其对 LED 发出的光线进行混合。将 PC、STM32 单片机、多色 LED 和光管进行连接形成最后的实例系统,系统的混色结果将通过测试平面进行显示。

2.2 混色性能测试

首先,对本研究采用的 LED 的光色进行测试,结果如图 3(a)所示。其光色为红、蓝、绿三原色,根据色彩混合原理可知,通过调节这 3 种光色的大小,

可以实现其他任意的颜色。通过上位机程序调节 STM32 单片机的 PWM,本文混合光强产生 4 种其他常见的光颜色(如图 3(b))以展示系统的混色能力。从实验结果可以看出,本研究所提出的结构具有良好的混色能力。

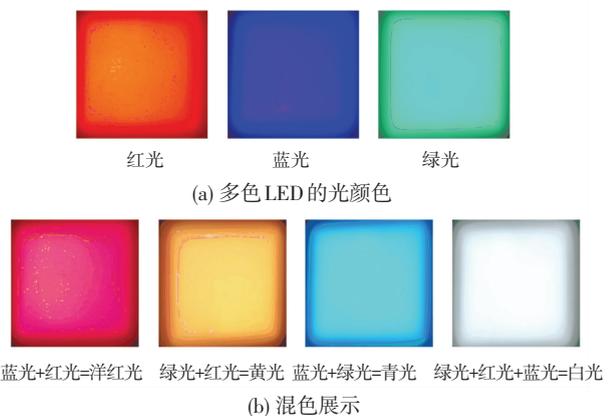


图 3 混色实验

Fig. 3 Color mixing experiment

2.3 光照均匀性测试

对 2.2 节中采集到的所有颜色光的光照进行不均匀性测试,得到的光管系统在测试平面上的实测不均匀性分布如图 4 所示。正如预期的那样,所有波段通道都可以在输出平面的主要区域实现 10% 的不均匀性照明,这一实验结果表现了所提出的色

(下转第 55 页)