

文章编号: 1000-5013(2012)05-0495-04

一种圆形导光板散射网点的设计与仿真

李建功, 郭震宁, 董菁菁, 陈俄振

(华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 根据发光二极管(LED)照度分布函数及导光板中光的传输特性,推导出一种圆形导光板散射网点的计算方法.与传统布点方法相比,该方法可以减少布点过程中 LED 正前方网点删除(减小网点密度)及 LED 之间网点增加(增加网点密度)的步骤,从而减少实际背光模组网点设计过程的改版次数.利用 VBA 编程生成网点,通过 Speos 光学软件对一个圆形背光模组进行模拟仿真,结果显示可以获得一个均匀分布的照度图.

关键词: 圆形导光板;发光二极管;散射网点;传输特性;照度

中图分类号: TN 312. 8 **文献标志码:** A

发光二极管(LED)背光模组是为非发光性显示器件提供亮度充足且分布均匀的照明光源,由于其发光效率高、功耗低、寿命长、无污染等优点,广泛应用于液晶显示器、照明等领域.现在市面上的背光模组主要是矩形结构,圆形导光板的出现弥补了市场上对圆形超薄广告灯箱,圆形指示牌、圆形平板灯、装饰照明等一些特殊照明领域的需求.随着 LED 发光效率的提高,各种形状的导光板将被应用于 LED 照明产品^[1].导光板作为 LED 背光模组的重要组成部分,它的作用是控制光的散射方向,以提高亮度和均匀性.常用的侧光式背光模组就是利用导光板将由光源从导光板侧面耦合入的光转化为从正面均匀输出的光,其网点的排布规律很大程度上影响着输出光的均匀度和亮度^[2].本文根据 LED 照度公式推导出了圆形导光板的网点分布方法,并且通过软件模拟获得了均匀的照度分布图.

1 导光板中光的照度分布

1.1 单颗 LED 的发光照度模型^[3]

理想情况下,一个 LED 光源就是一个朗伯发射体,LED 的光强分布是观察角的余弦函数.然而,实际情况是 LED 的发光强度分布与其封装形式、芯片形状有关.发光强度的实际近似分布可以表示为观察角余弦的 m 次方函数,即

$$I(\theta) = I_0 \cos^m \theta.$$

(1)

式(1)中: θ 为观察角; I_0 为轴向方向的发光强度; $I(\theta)$ 是与轴向方向夹角为 θ 的方向的发光强度; m 值是由芯片相对于 LED 封装透镜曲率中心的距离而定,如果芯片的位置在曲率的中心,那么 $m \approx 1$,光源为一个近似理想的朗伯发射体.

由照度的定义,可以推导出单颗 LED 照度的分布公式为

$$E(r, \theta) = \frac{I_0}{r^2} \cos^m \theta.$$

(2)

式(2)中: $E(r, \theta)$ 指轴向上距离 LED 长度为 r ,与轴向方向夹角为 θ 处的照度.

1.2 圆形阵列 LED 的发光照度分布

在仪器仪表显示中,圆形阵列 LED 的排列是最为常见的,式(2)可以近似表示 LED 在导光板中的

收稿日期: 2011-12-03

通信作者: 郭震宁(1958-),男,教授,主要从事光电子材料与器件的研究. E-mail: znguo2003@yahoo. com. cn.

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(2010J01338);福建省科技计划重点项目(2009H0034);福建省发改委发明创造扶持基金资助项目(FC200905)

照度分布情况^[4]. 假设 LED 是理想朗伯发光体, 取 m 为 1.

通过圆上任一单颗 LED(记为 A), 推导其在圆形导光板上任一点 B 处的照度分布, 如图 1 所示. 圆上 LED 的坐标为 $(\rho \cos \theta, \rho \sin \theta)$, 圆的半径为 $OA = \rho$, AB 的距离为 $\sqrt{(\rho \cos \theta - x)^2 + (\rho \sin \theta - y)^2}$. 设 φ 为 AB 和 OA 的夹角, 则单颗 LED 在圆形导光板上某一点的照度 E 可以表示为

$$E(x, y) = \frac{I_{\text{LED}}}{|AB|^2} \cos \Phi = \frac{I_{\text{LED}} [(\rho \cos \theta - x)^2 + (\rho \sin \theta - y)^2 + \rho^2 - x^2 - y^2]}{2\rho [(\rho \cos \theta - x)^2 + (\rho \sin \theta - y)^2]^{3/2}}. \tag{3}$$

式(3)中: I_{LED} 为 LED 的发光强度. 如果圆形导光板所需的 LED 的个数为 N 时, 照度 E 在导光板的分布可以表示为

$$E(x, y) = \sum_{n=1}^N \{ \rho^2 + [\rho \cos (\frac{2\pi n}{N}) - x]^2 + [\rho \sin (\frac{2\pi n}{N}) - y]^2 - x^2 - y^2 I_{\text{LED}} \} \times \{ [\rho \cos (\frac{2\pi n}{N}) - x]^2 + [\rho \sin (\frac{2\pi n}{N}) - y]^2 \}^{3/2} / 2\rho. \tag{4}$$

式(4)中: ρ 为圆形导光板的半径; N 为 LED 的个数.

2 圆形导光板散射网点分布计算

LED 发出的光经过导光板散射网点时发生散射, 破坏了光在导光板中的全反射, 使得光从上表面射出, 所以导光板上表面的出射光与导光板的散射网点有密切关系. 图 2 为散射网点分布示意图. 定义导光板底面散射网点填充率函数^[5-7]为

$$f(x, y) = \frac{s(x, y)}{d^2}. \tag{5}$$

式(5)中: $s(x, y)$ 为 (x, y) 处一个散射网点的面积; d^2 为网格的面积.

图 3 为导光板中光的传播示意图. 从图 3 可知: LED 发出的光从导光板入光端耦合进入导光板, 在导光板上下表面来回全反射向后传导; 当光遇到散射网点时, 破坏其全反射, 从而部分散射光从上表面透射出导光板, 成为输出光. 这部分输出光亮度应正比于下底面散射网点的填充密度. 设网点 (x, y)

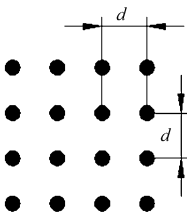


图 2 散射网点分布示意图
Fig. 2 Schematic diagram of scattering netted dots distribution

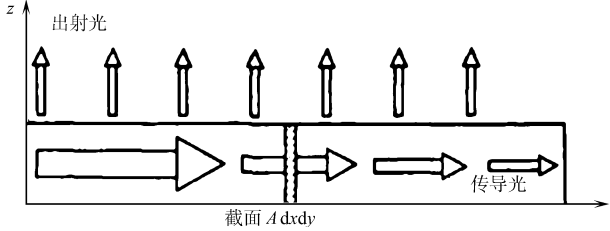


图 3 导光板中光传导示意图
Fig. 3 Schematic diagram of light transmission in the light guide plate

对应的导光板表面的亮度为 $B(x, y)$, 由散射网点散射的光的亮度为 $B_1(x, y)$ ^[5-7], 则有

$$B(x, y) = k B_1(x, y). \tag{6}$$

式(6)中: k 为比例系数.

当光源和导光板尺寸一定时, B_1 应正比于 (x, y) 处散射网点的填充率函数, 且正比于射到 (x, y) 处网点上的传导光的亮度, 而射到 (x, y) 处下网点的传导光的亮度可看成正比于该点的照度 $E(x, y)$, 即

$$B_1(x, y) = k_1 E(x, y) f(x, y). \tag{7}$$

式(7)中: k_1 为一个不变的常数. 由式(5), (6)可得

$$B(x, y) = k k_1 E(x, y) f(x, y). \tag{8}$$

由式(5), (8), 可得

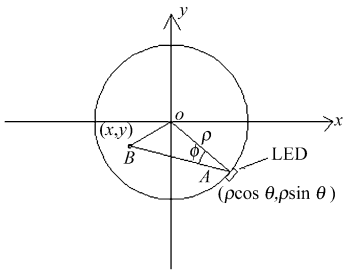


图 1 单颗 LED 在圆形导光板的照度分布
Fig. 1 Illuminance distribution of a single LED in round light guide plate

$$f(x,y)=\frac{B(x,y)}{kk_1E(x,y)}, \quad s(x,y)=\frac{d^2B(x,y)}{kk_1E(x,y)}. \tag{9}$$

由式(9)可知:当导光板表面光亮度 $B(x,y)$ 设定为所需要的值时,导光板底面 (x,y) 处的网点大小与光源在该点的照度成反比.

目前,印刷的网点图案大多采用圆形^[8],故设圆形网点的半径为 $r(x,y)$,则有 $s(x,y)=\pi r^2(x,y)$. 经整理可得

$$r(x,y)=d\sqrt{\frac{B(x,y)}{\pi kk_1E(x,y)}}. \tag{10}$$

根据导光板的尺寸,设定 LED 的数量 N 和常数 d,k,k_1 ,即可得到网点的大小分布.

3 模拟仿真结果与分析

以一个圆形背光模组为例进行模拟验证,导光板的直径和厚度分别为 60,4 mm,材料选 PMMA,光源选用 4 颗贴片式 LED,表面设置为理想朗伯发光体,反射片设置为反射率为 0.9 的镜面反射,胶框设置为反射率为 0.7 的朗伯散射.图 4 为背光模组的 3D 模型结构图,圆形导光板周围均匀分布 4 颗 LED.模型包括:反射片,Housing,导光板,LED,导光板的上面为一个虚拟照度接收面.

根据导光板的尺寸,设定网格的长度 d 为 1 mm,常数 π,k,k_1 及亮度 B 可以看做一个常数 a . 式(10)简化为

$$r(x,y)=a\sqrt{\frac{1}{E(x,y)}}. \tag{11}$$

通过软件合理地选择常数 a ,即可得到均匀分布的照度图.图 5 为网点大小在 Matlab 中的 3 维图形,图 6 为导光板网点分布示意图.图 5 中:纵轴 r 代表网点半径大小.从图 5,6 可以看出:网点分布大致分为两个区域,一个是离导光板圆心较近的内圆区域,网点大小变化比较平缓,另一个是绕圆周的外圆区域,网点大小呈波浪状起伏变化,在 LED 之间的网点点径比较大,在 LED 前面的网点点径比较小.

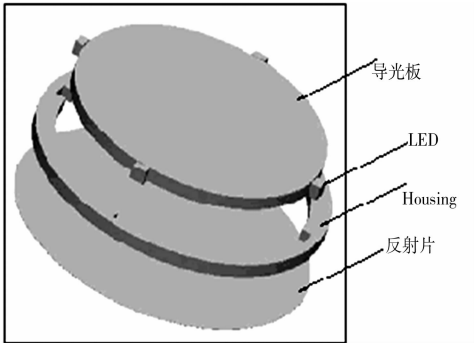


图 4 圆形背光模组 3D 模型
Fig. 4 3D model of round backlight module

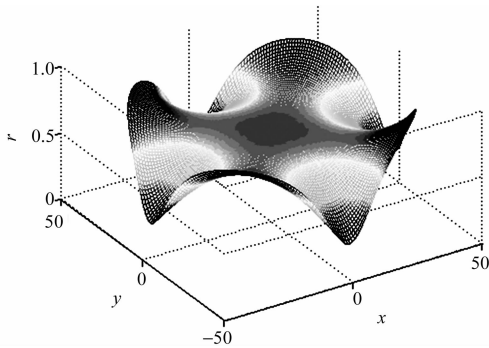


图 5 网点点径大小分布图
Fig. 5 Netted dots radius distribution

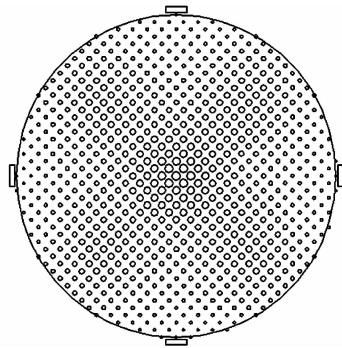


图 6 网点点分布示意图
Fig. 6 Schematic diagram of netted dots distribution

从整体分布来看,在 LED 正前方的网点分布呈现从小到大的变化趋势,而在 LED 之间的网点分布呈现从大到小再到大的变化趋势^[9].这样的网点分布趋势是符合实际经验的,与传统的布点方法相比,该方法减少了 LED 正前方网点删除(减小网点密度),以及 LED 之间网点增加(增加网点密度)的步骤,从而可以减少实际背光模组网点设计过程的改版次数.因为 LED 为点光源,如果不进行上述步骤处理,会在入光侧形成亮点和暗区.

网点通过 VBA 编程在 Autocad 中布点,然后将网点坐标和半径输出保存为 txt 文档,最后导入 Speos 光学模拟软件进行模拟仿真分析,如图 7(a)所示.图 7(a)显示:在靠近胶框(housing)的照度均匀性要比导光板中心附近的照度均匀性差一些,这是因为没有考虑入光侧导光板对入射光的折射作用.

通过局部网点填充率的调整可以达到均匀的照度分布,即通过模拟结果读取平均照度值及需局部调整的照度值,进行网点填充率的调整.局部调整之后的模拟照度分布,如图 7(b)所示.从图 7(b)可知:照度分布均匀性得到了很大的改善,可达 85%.

4 结束语

根据 LED 照度分布函数,从单颗 LED 模型推导出多颗 LED 圆形导光板散射网点大小的近似分布公式,并通过 Speos 光学软件,对一个圆形背光模组进行了模拟仿真,模拟结果显示可以获得一个均匀分布的照度图.该方法与传统布点方法相比,减少了 LED 正前方网点删除(减小网点密度)及 LED 之间网点增加(增加网点密度)的步骤,从而减少了实际背光模组网点设计过程的改版次数,提高设计效率,节省了生产成本.

参考文献:

[1] 黄明波,郭震宁,黄智炜,等.基于一种圆形 LED 面光源的网点设计及仿真[J].应用光学,2010,31(5):701-704.
[2] 邹跃军,任丁.背光源结构分析及几种提高亮度的途径 [J].液晶与显示,2002,17(6):465-469.
[3] MORENO I, AVENDANO-ALEJO M, RUMEN I, et al. Designing light-emitting diode arrays for uniform near-field irradiance [J]. Applied Optics, 2006, 45(10): 2265-2272.
[4] 纪玲玲,王洪,张威刘,等.一种导光板网点分布的计算方法与仿真[J].现代显示,2010(6):38-41.
[5] 骆健忠,陈哲,张永林,等.侧光平板式导光板散射网点设计及仿真分析[J].液晶与显示,2006,21(3):206-213.
[6] 黄羽中,姜言森,沈奕,等.侧光式 LED 背光源的导光板网点设计[J].应用光学,2008,29(5):689-692.
[7] 鲁琛,方宗豹,申溯,等.传输一散射理论设计 LED 照明导光板的研究[J].激光与红外,2010,40(7):752-756.
[8] 吴桔生,何华,李宏彦,等.导光板散射点的初步设计[J].现代显示,2007(74):36-39.
[9] CHANG Jee-gong, FANG Yu-bin, JU Shin-pon, et al. Random dot generation scheme using molecular dynamics method for illumination design of a round plane LED source light guide[J]. Displays, 2010, 31(1): 44-53.

Design and Simulation of a Round Light Guide Plate Scattering Netted Dots

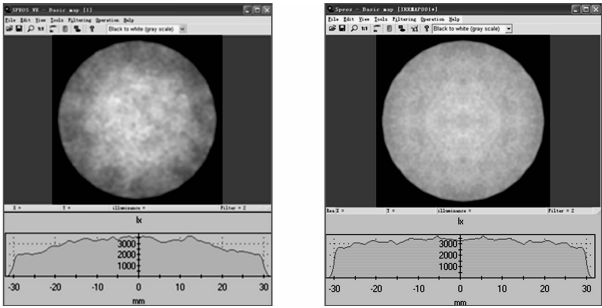
LI Jian-gong, GUO Zhen-ning, DONG Jing-jing, CHEN E-zhen

(College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: According to the light emitting diode (LED) illumination distribution function and the transmission characteristics of light in the light guide plate, a calculation method of scattering netted dots in the round light guide plate is deduced. Comparing the traditional method of netted dots distribution, this method can reduce the steps of deleting the number of netted dots in front of LED (reduce netted dots density) and increasing the number of netted dots between LED (increase netted dots density), so as to reduce the number of revision in actual backlight module netted dots design process. The netted dots are generated using VBA program. A round backlight module is simulated by speos optical software, and the results shows that a uniform illuminance distribution figure can be obtained.

Keywords: round light guide plate; light emitting diode; scattering netted dots; transmission characteristics; illuminance

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 吴逢铁)



(a) 调整前 (b) 调整后
图 7 模拟仿真照度分布图

Fig. 7 Simulation of illuminance distribution