

室内可见光通信发光二极管阵列发射性能的研究

刘浩杰 蓝天 倪国强

**Research on the light emitting diode array launching performance for indoor visible light communication**

Liu Hao-Jie Lan Tian Ni Guo-Qiang

引用信息 Citation: Acta Physica Sinica 63, 238503 (2014) **DOI:** 10.7498/aps.63.238503

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.238503>

当期内容 View Table of Contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/volumn/home.shtml>

---

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

新型发光二极管透镜产生局域空心光束

何西, 杜团结, 吴逢铁

2014, 63(7): 074201. 全文: [PDF](#) (2464KB)

基于缺陷光子晶体结构的 GaN 基发光二极管光提取效率的有关研究

岳庆炆, 孔凡敏, 李康, 赵佳

2012, 61(20): 208502. 全文: [PDF](#) (4993KB)

GaN 基高压直流发光二极管制备及其性能分析

曹东兴, 郭志友, 梁伏波, 杨小东, 黄鸿勇

2012, 61(13): 138502. 全文: [PDF](#) (5218KB)

量子阱垒层掺杂变化对双波长 LED 调控作用研究

刘小平, 范广涵, 张运炎, 郑树文, 龚长春, 王永力, 张涛

2012, 61(13): 138503. 全文: [PDF](#) (1807KB)

选择性 p 型量子阱垒层掺杂在双波长发光二极管光谱调控中的作用

陈峻范广涵张运炎

2012, 61(8): 088502. 全文: [PDF](#) (420KB)

## 室内可见光通信发光二极管阵列发射性能的研究\*

刘浩杰 蓝天<sup>†</sup> 倪国强

(北京理工大学光电学院, 光电成像技术与系统教育部重点实验室, 北京 100081)

(2014年6月23日收到; 2014年7月26日收到修改稿)

提出了一种基于 Lambert 辐射模型的发光二极管光源阵列发射天线光照度计算模型, 对室内可见光通信发射天线进行了优化设计. 分析了光源的空间分布形式、光源间距、光源中心光束与系统光轴夹角以及空间分布层间距等因素对光照度均匀性的影响. 通过仿真模拟和分析, 得到了圆形阵列天线在照度均匀性和通信传输信号稳定性方面都优于相同光源数目的矩形阵列天线, 并且提高了 10% 左右; 同时得出了在满足室内照明情形下, 发光二极管阵列发射天线照度均匀度随光源间距及光源中心光束与系统光轴夹角的增加均呈现出先增加后减小的变化趋势, 因此, 光源间距和光源中心光束与系统光轴夹角均存在最优值; 照度均匀度随空间分布层间距的减小而增加, 并给出了  $5\text{ m} \times 5\text{ m} \times 3\text{ m}$  普通房间内发射天线阵列设计参数的最优值, 使发射性能得到了优化, 同时节省光源数 13%, 降低了成本. 这些研究为发射天线系统的设计提供了理论依据, 具有实用价值.

**关键词:** 室内可见光通信, 发光二极管, 发射天线, 光照度均匀性

**PACS:** 85.60.Jb, 42.79.Sz, 42.72.Bj, 42.60.Jf

**DOI:** 10.7498/aps.63.238503

## 1 引言

室内可见光通信 (visible light communication) 技术是随着白光发光二极管 (light emitting diode, LED) 照明 [1,2] 技术的发展而兴起的无线光通信技术. 与传统的有线传输 (如光纤通信 [3]) 相比, 可见光通信具有发射功率高、无电磁干扰、节约能源等优点, 并作为一种前沿通信技术, 在世界范围内得到了广泛关注和研究 [4-6]. 可见光通信发射系统需要满足室内照明和通信双重要求. 室内通信信号强度的大小与光照度成正比, 因此, 良好的通信和室内照明舒适度均需室内光照度均匀分布. 2003年, 日本的 Komine 和 Nakagawa [7] 对 LED 可见光无线通信系统中传输信道、噪声来源以及接收信号信噪比空间分布等进行了分析和研究, 明确了基本的单元 LED 光源的功率参数; 王度阳等 [8] 对 LED 内部

结构进行了研究分析, 并通过模拟计算, 使 LED 的发光均匀性得到明显改善; 文献 [9] 研究表明对激光通信中光学发射天线进行光束整形, 可以得到理想输出光场分布; Moreno 等 [10-12] 给出了 LED 阵列分布形式及相应形式下近场和远场的光强分布的理论分析, 但是未能给出室内环境下发射天线的优化设计; 丁德强等 [13] 提出了一种 LED 发光模型, 分析了在该模型下多阵元发射天线的 LED 布局对系统接收功率的影响, 但并未给出在一般 LED 发光模型 (即 Lambert 辐射模型) 下的分析. 本文提出了基于 Lambert 发光模型的 LED 发射天线新的光照度计算模型, 并对其发射性能进行了研究, 对发射阵列天线的 LED 排布形式、光源间距、光源中心光束与系统光轴夹角、层间距等参数进行了详细的分析和优化设计, 从而达到了室内照明国家标准, 降低了室内光照度起伏, 提高了天线传输信号的稳定性.

\* 国家重点基础研究发展计划 (批准号: 2013CB329202) 资助的课题.

<sup>†</sup> 通讯作者. E-mail: [lantian@bit.edu.cn](mailto:lantian@bit.edu.cn)

## 2 阵列LED接收光照度理论模型

白光LED的照射模型可以用Lambert辐射模型来模拟. 当LED照射到接收平面时, 该平面上的照度分布为

$$E(r, \alpha) = \frac{I_0}{r^2} \cos^m \alpha, \quad (1)$$

式中,  $I_0$  为点光源中心光束发光强度,  $\alpha$  为光源出射光线与中心光束之间的夹角,  $r$  为光源与接收面上任意一点间距,  $m = -\ln 2 / \ln(\cos \alpha_{1/2})$ , 为Lambert模数. 将照度分布转换到直角坐标系中, 得到空间任意一点的照度分布:

$$E(x, y, z) = \frac{z^m I_0}{\left[ (x - X)^2 + (y - Y)^2 + (z - Z)^2 \right]^{\frac{m+2}{2}}}, \quad (2)$$

式中,  $E(x, y, z)$  为LED阵列在接收面任意一点  $(x, y, z)$  处的光照度,  $(X, Y, Z)$  为点光源  $S$  空间坐标,  $(x, y, z)$  为接收面上任意一点坐标. LED阵列的光照度分布遵循叠加原理, 即

$$E(x, y, z) = \sum_{i=1}^N E_i(x, y, z) = \sum_{i=1}^N \frac{z^m I_0}{\left[ (x - X_i)^2 + (y - Y_i)^2 + (z - Z_i)^2 \right]^{\frac{m+2}{2}}}, \quad (3)$$

式中,  $E_i(x, y, z)$  为第  $i$  个LED光源在点  $(x, y, z)$  处的光照度,  $(X_i, Y_i, Z_i)$  为第  $i$  个LED光源空间坐标,  $N$  为LED阵列中光源LED的总个数.

考虑到LED芯片的散热性能, 单芯片LED无法达到很大功率, 不能满足室内照明要求, 因此需采用多LED光源阵列. 阵列天线主要对LED的横向和纵向分布进行了设计. 横向分布形式有圆形和矩形等, 纵向分布即为立体空间分布. 图1为圆环阵列天线布局示意图, LED均匀分布在半径为  $d_l$  ( $l = 1, 2, \dots, L; d_L = 0$ ) 的圆环上,  $l$  表示圆环的层数, 共有  $L$  层. 第  $l$  层分布的LED数目为  $N_l$  ( $N_L = 1$ ), 第  $l$  层圆环上的各LED的高度为  $h_l$ , 层间距  $(h_{l+1} - h_l)$  相等均为  $H$ . 第  $l$  层圆环上的各LED中心光束与系统光轴(即  $z$  轴正方向)之间夹角均为  $\theta_l$ , 第  $l$  层圆环上第  $n$  ( $n = 1, 2, \dots, N_l$ ) 个LED位置的水平角为  $\varphi_{n,l}$ . 当层间距  $h_{l+1} - h_l = 0$  时, 即为平面阵列天线.

如图1所示的坐标系, 第一层圆环中心为坐标原点, LED阵列中第  $l$  层圆环上第  $n$  ( $n = 1, 2, \dots,$

$N_l$ ) 个LED的空间坐标为  $(d_l \cos \varphi_{n,l}, d_l \sin \varphi_{n,l}, h_l)$ , 所以LED阵列在空间所产生的光照度公式为

$$E(x, y, z) = \sum_{l=0}^L \sum_{n=1}^{N_l} E_{n,l}(d_l \cos \varphi_{n,l}, d_l \sin \varphi_{n,l}, h_l) = \sum_{l=0}^L \sum_{n=1}^{N_l} z^m I_0 \left\{ \left[ (x - d_l \cos \varphi_{n,l})^2 + (y - d_l \sin \varphi_{n,l})^2 + (z - h_l)^2 \right]^{\frac{m+2}{2}} \right\}^{-1}, \quad (4)$$

式中  $E_{n,l}(d_l \cos \varphi_{n,l}, d_l \sin \varphi_{n,l}, h_l)$  为第  $l$  层圆环上第  $n$  个LED在空间产生的光照度.

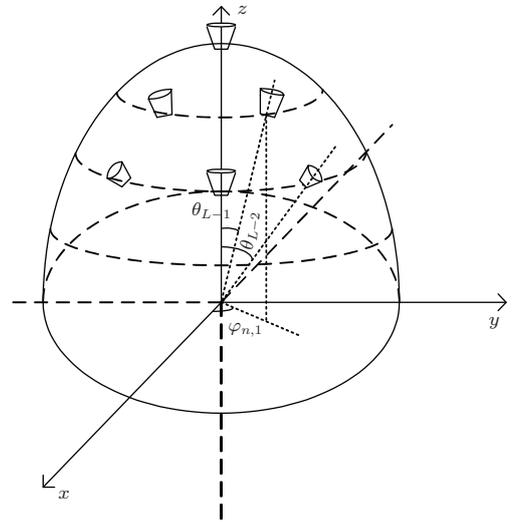


图1 圆环阵列天线示意图

光照度分布均匀性可用照度均匀度来衡量. 照度均匀度定义为: 照度均匀度 = 最小照度值/平均照度值. 照度均匀度理想情况下达到最大值1, 其数值越大, 光线分布越均匀, 视觉感受越舒适. 光通信系统的最终目的是传输信号, 因此足够的信号强度和良好的分布稳定性会减弱对接收端探测性能的要求, 从而降低探测器成本和接收系统复杂度. 在无线光通信传输中, 可采用照度差异率  $k$  来表示信号覆盖的均匀性. 照度差异率  $k$  公式定义为

$$k = (\max(E) - \min(E)) / \max(E), \quad (5)$$

式中  $E$  表示光照度. 由(5)式不难看出, 当接收面上的信号均匀性最好时,  $k$  取得最小值0; 当不同位置间接收到的光信号均匀性越差时,  $k$  越接近于1.

### 3 阵列LED的分布对发射性能影响的仿真及分析

假设房间大小为5 m × 5 m × 3 m (长 × 宽 × 高), 观察平面位于离地面0.85 m 的高度. 当LED阵列发射光源分布为平面分布, LED阵列数目为8时, 为了计算和分析方便, 每一个小阵列单元简化为单个LED芯片. 下面分析阵列光源空间分布形式、光源间距、光源中心光束与系统光轴夹角θ等因素对室内光照度分布的影响, 并用Matlab进行仿真模拟.

#### 3.1 LED光源空间分布形式对光照度均匀性的影响

##### 1) LED光源圆形排列分布

8个LED光源圆形对称分布, 如图2所示. 8个光源的位置坐标分别为  $A(\frac{\sqrt{2}}{2}a, 0, 0)$ ,  $B(0, \frac{\sqrt{2}}{2}a, 0)$ ,  $C(-\frac{\sqrt{2}}{2}a, 0, 0)$ ,  $D(0, -\frac{\sqrt{2}}{2}a, 0)$ ,  $A'(\frac{a}{2}, \frac{a}{2}, 0)$ ,  $B'(-\frac{a}{2}, \frac{a}{2}, 0)$ ,  $C'(-\frac{a}{2}, -\frac{a}{2}, 0)$ ,  $D'(\frac{a}{2}, -\frac{a}{2}, 0)$ , 圆形分布半径  $d = \frac{\sqrt{2}}{2}a$ , 其中  $a$  是该圆形内接正方形的边长, 为一常数, 可用  $a$  来衡量相邻光源间距. 设  $A$  点LED光源出射光束照射到接收面上任意一点  $P(x, y, z)$ , 该出射光线与光源中心光束夹角为  $\alpha_1$ , LED光源中心光束与系统光轴的夹角为  $\theta$ , 根据数学知识, 可得

$$\begin{aligned} \cos \alpha_1 &= \frac{(\sin \theta, 0, \cos \theta) \cdot (x - \frac{\sqrt{2}}{2}a, y, z)}{r_1} \\ &= \frac{\left(x - \frac{\sqrt{2}}{2}a\right) \sin \theta + z \cos \theta}{\sqrt{\left(x - \frac{\sqrt{2}}{2}a\right)^2 + y^2 + z^2}}, \end{aligned} \quad (6)$$

式中  $r_1$  为  $P$  点到  $A$  点光源的距离.

由光照度(4)式, 得出  $A$  点LED光源在接收面上的光照度分布公式为

$$E_1 = \frac{I_0 \cos \alpha_1}{r_1^2}$$

$$= I_0 \frac{\left(x - \frac{\sqrt{2}}{2}a\right) \sin \theta + z \cos \theta}{\left(\sqrt{\left(x - \frac{\sqrt{2}}{2}a\right)^2 + y^2 + z^2}\right)^3}, \quad (7)$$

同理, 可得其他LED光源在接收面上的光照度分布, 根据独立光源照度叠加原理, 可推出接收面上总的光照度为

$$E = \sum_{i=1}^8 \frac{I_0 \cos \alpha_i}{r_i^2}, \quad (8)$$

式中,  $\alpha_i$  为第  $i$  个LED光源出射光线与光源中心光束夹角,  $r_i$  为接收面上任意点  $P$  与第  $i$  个LED光源之间距离.

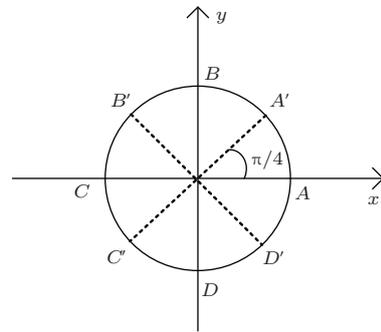


图2 LED圆形分布结构

##### 2) LED光源矩形排列分布

LED光源传统分布形式即为矩形分布, 8个LED光源矩形分布如图3所示, 相邻两个LED光源间距等于  $a/2$ , 各LED光源坐标为  $a(\frac{a}{2}, 0, 0)$ ,  $b(0, \frac{a}{2}, 0)$ ,  $c(-\frac{a}{2}, 0, 0)$ ,  $d(0, -\frac{a}{2}, 0)$ ,  $a'(\frac{a}{2}, -\frac{a}{2}, 0)$ ,  $b'(\frac{a}{2}, \frac{a}{2}, 0)$ ,  $c'(-\frac{a}{2}, \frac{a}{2}, 0)$ ,  $d'(-\frac{a}{2}, -\frac{a}{2}, 0)$ . LED光源中心光束与系统光轴的夹角同样为  $\theta$ , 接收面上的光照度分布同样可用光照度(8)式求解.

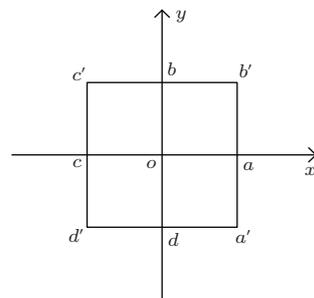


图3 LED矩形分布结构

设单个LED光源中心光束发光强度  $I_0 = 1 \text{ cd}$ , 观察面距地面  $0.85 \text{ m}$ , 光源中心光束与系统光轴夹角  $\theta = \pi/6$ , 用Matlab编程仿真可得光源阵列分别为圆形分布和矩形分布时, 在相邻光源不同间距情形下, 光照度随接收面上不同位置的变化曲线如图4和图5所示. 光源的对称分布使得光照度在接收面上也为对称分布, 因此只需考虑光照度沿接收面  $x$  轴方向变化 (即  $y=0$ ) 即可. 从图4和图5可以看出, 不论是圆形分布还是矩形分布, 均在房间中心区域 (即  $x = 0, y=0$ ) 内, 光照度最大, 离中心区域越远, 光照度越小. 随着间距的增大, 曲线更趋平缓, 均匀性得到增加. 但当分布半径继续增加时, 光照度均匀性下降. 对比图4与图5可以看出, 相同情形下, 光源圆形分布时的光照度分布均匀性优于矩形分布. 由图4可以看出, 在  $a = 1.7 \text{ m}$  左右, 即圆形分布半径大约为  $\sqrt{2}a/2 = 1.2 \text{ m}$ , 光照度较为均匀, 尤其在  $-1.2 \sim 1.2 \text{ m}$  范围内曲线趋于平坦, 照度均匀度比较大, 达到  $96.8\%$ ; 而照度差异率  $k$  很小, 仅为  $3.9\%$ .

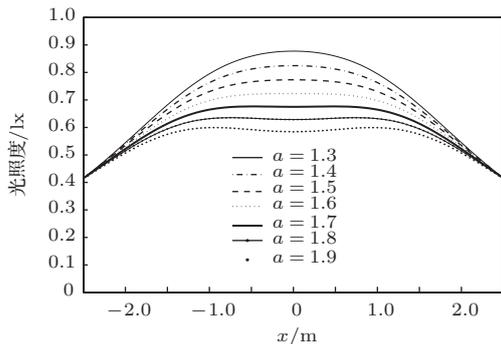


图4 LED圆形分布光照度曲线

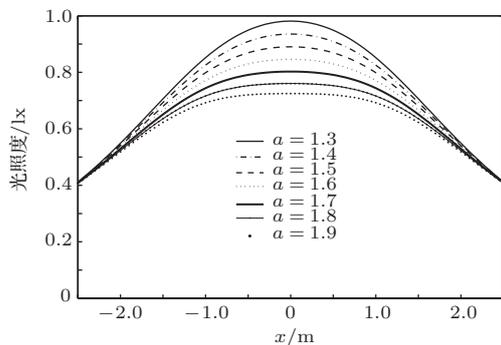


图5 LED矩形分布光照度曲线

图6给出了当  $\theta = \pi/6, a = 1.7 \text{ m}$ , 接收面上  $y = 0$  时, LED阵列光源分别为圆形分布和矩形分布下的光照度分布曲线. 当LED阵列光源为圆形

分布时, 照度均匀度为  $0.7$ , 达到室内工作区照明标准; 当LED阵列光源为矩形分布时, 照度均匀度为  $0.6$ . 前者比后者的照度均匀度提高了  $10\%$ , 所以阵列光源圆形分布时的光照度均匀性优于矩形分布. 照度均匀分布可减轻视觉疲劳, 照度差异率  $k$  为  $38.6\%$ , 而矩形分布时的照度差异率  $k$  为  $49\%$ , 前者差异率低于后者差异率  $10\%$  左右, 因此, 圆形分布的信号覆盖均匀性优于矩形分布.

不难得出, 在照度均匀度和照度差异率上, 圆形分布形式都优于矩形分布.

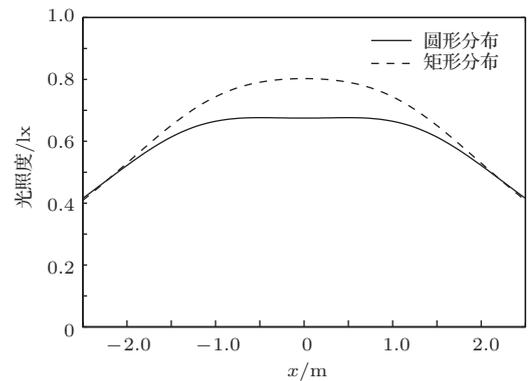


图6 当  $\theta = \pi/6, a = 1.7 \text{ m}$ , 接收面上  $y = 0$  时, LED阵列光源为圆形分布和矩形分布下的光照度分布

### 3.2 光源中心光束与系统光轴夹角对光照度均匀性的影响

图7所示为LED光源圆形分布,  $a = 1.7 \text{ m}$  时, 接收面上的光照度分布随光源中心光束与系统光轴夹角  $\theta$  变化的三维图. 图7(a)—(d)分别为  $\theta = 0, \pi/6, \pi/4, \pi/3$  时的光照度分布. 从图7中可以看出, 由于靠近房间边缘区域的光照度急剧下降, 所以将观察面缩小为  $-1.5 \text{ m} < x < 1.5 \text{ m}, -1.5 \text{ m} < y < 1.5 \text{ m}$  进行对比. 由图7可见, 随  $\theta$  角的增大, 4个不同  $\theta$  角下的照度均匀度分别为  $0.83, 0.93, 0.92, 0.71$ , 相应均方差为  $0.08, 0.018, 0.022, 0.06$ . 因此, 从  $\theta = 0$  开始, 随  $\theta$  角的增大, 照度均匀度先增加后减小, 均方差先减小后增加. 由此可得, 随  $\theta$  角的增大, 光照度均匀性提高; 当  $\theta$  角增大到一定角度后, 随  $\theta$  角的增加, 光照度均匀性开始下降. 在此情形下, 光源中心光束的最优角度约为  $\pi/6$ .

当LED光源为平面分布时, 随着光源中心光束与系统光轴夹角在一定范围内增大, 光照度均匀性提高, 光源中心光束与系统光轴夹角达到一定角度后, 光照度均匀性开始下降.

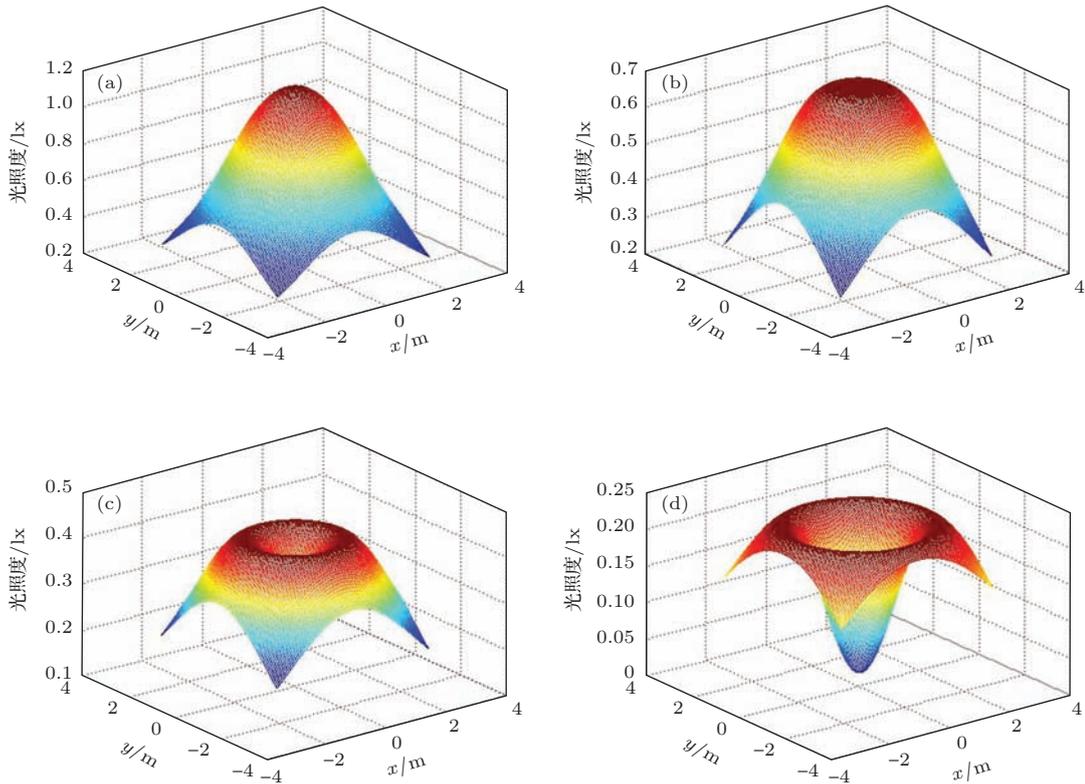


图7 LED光源圆形分布,  $a = 1.7$  m时, 光照度随光源中心光束与系统光轴夹角 $\theta$ 的变化 (a)  $\theta = 0$ ; (b)  $\theta = \pi/6$ ; (c)  $\theta = \pi/4$ ; (d)  $\theta = \pi/3$

### 3.3 层间距对光照度均匀性的影响

当LED光源阵列为立体空间分布时, 不同层间距将会对接收面上的光照度均匀性产生影响.

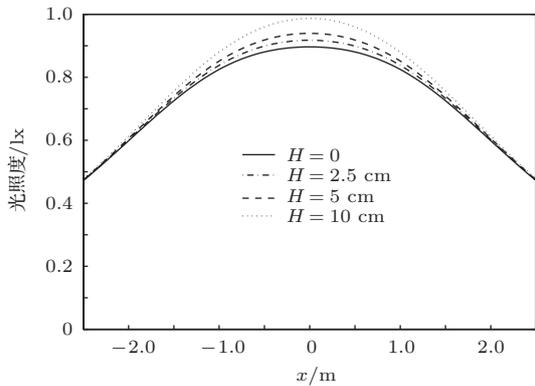


图8 层间距不同时, 圆形分布的三层LED光照度曲线

设每层LED光源阵列均采用圆形分布形式, 结构如图1所示. 假定三层的LED个数分别为1, 4, 8, 层间距均为 $H$ ,  $a = 1.7$  m. 第一层圆形分布半径为 $\sqrt{2}a/2$ , LED个数为8个, 光源中心光束与系统光轴夹角为 $\pi/3$ ; 第二层圆形分布半径为 $\sqrt{2}a/4$ , LED个数为4个, 光源中心光束与系统光轴夹角为 $\pi/6$ ; 第三层为单个LED光源, 位于光轴上, 接收平

面位于距离坐标原点的高度为 $z = 2.15$  m, 接收面上的光照度分布随层间距 $H$ 的变化如图8所示.

由图8可以看出, 当层间距 $H$ 增加时, 光照度有所增加, 但是均匀性有所下降. 光源分布为平面分布(即 $H = 0$ )时, 与立体分布(即 $H \neq 0$ )相比, 接收面上的光照度分布较为平缓, 光照度起伏性较小, 均匀性较好.

### 3.4 优化设计方案

依据上面所得的优化设计理论, 提出了在 $5\text{ m} \times 5\text{ m} \times 3\text{ m}$  (长 $\times$ 宽 $\times$ 高)大小的房间内LED阵列天线所采用的一种优化设计方案. LED阵列天线采用三层圆形平面分布形式, 层间距 $H = 0$ . 第一层为8个LED光源, 均匀分布在半径为 $d_1$ 的圆形平面上, 每个LED光源中心光束与系统光轴的夹角为 $\theta_1$ ; 第二层为4个LED光源, 均匀分布在半径为 $d_2$ 的圆形平面上, 每个LED光源中心光束与系统光轴的夹角为 $\theta_2$ ; 第三层为单个LED光源, 光源中心光束与系统光轴夹角为 $0$  rad, 结构如图9所示.

由光照度公式可知, 房间内接收面上的光照度分布将受到圆形半径 $d_1$ ,  $d_2$ 及光源中心光束与系

统光轴夹角  $\theta_1, \theta_2$  的影响. 圆形半径的大小即可反映LED光源间距的大小. 图10给出了光照度分别随  $d_1, d_2, \theta_1$  和  $\theta_2$  变化的分布. 由图10可看出,  $d_1, d_2, \theta_1$  和  $\theta_2$  分别存在最优值, 使得光照度均匀分布. 为了更准确地得到光照度均匀性最好时的结构参数, 采用经典优化算法中的非线性规划算法进行了综合分析. 利用(8)式和照度均匀度公式, 可得出三层LED阵列圆形分布时的照度均匀度公式, 运用非线性规划算法, 借助Matlab计算工具, 理论分析得出了当  $d_1 = 2.3 \text{ m}, \theta_1 = 0.94 \text{ rad}, d_2 = 1 \text{ m}, \theta_2 = 0.63 \text{ rad}$  时, 照度均匀度达到最大, 约为0.99, 相应均方差最小, 约为0.02, 上述理论值与图10所示的数值基本一致. 由此看出, 照度均匀度接近最

优值1, 并且均方差最小时, 接收面上光照度均匀性达到了最优, 如图11所示.

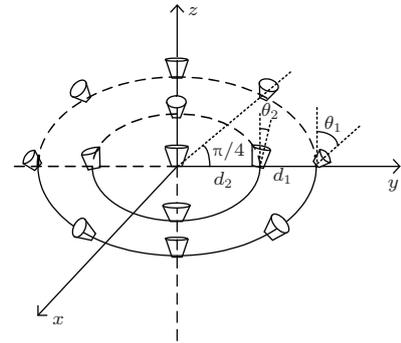


图9 三层LED阵列圆形平面分布

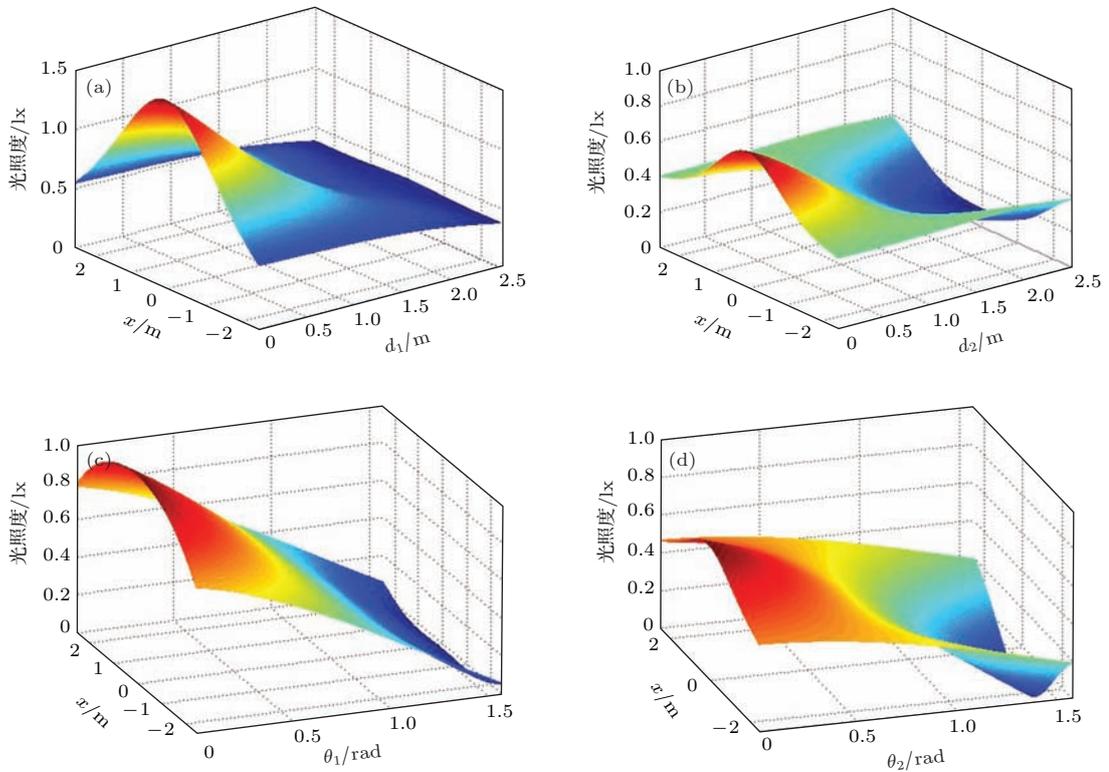


图10 不同情况下, 三层LED阵列圆形平面分布时光照度的分布 (a) 光照度随  $d_1$  的变化; (b) 光照度随  $d_2$  的变化; (c) 光照度随  $\theta_1$  的变化; (d) 光照度随  $\theta_2$  的变化

实际应用中, 为了满足室内照明要求, 一般需采用多个LED芯片代替上述分析中的单芯片LED, 从而阵列天线中的每一个小单元由多个LED光源组成. 若LED中心发光强度为1 cd, 在  $5 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 3 \text{ m}$  (长  $\times$  宽  $\times$  高) 大小的房间内, 为了达到工作区室内照明的国家标准300 lx, 三层圆形分布阵列天线的每个阵列小单元需要至少  $28 \times 28$  个LED, 而矩形分布阵列天线的每个阵列小单元需至少  $30 \times 30$  个LED. 因此, 在三层阵列天线中, 圆

形分布的LED数目比矩形分布节省了13%左右. 按照每个LED功率20 mW计算, 每个房间12 h即可节约电量约362 kW·h. 所以, 圆形分布的阵列天线不仅提高了照明均匀性和通信信号稳定性, 而且在达到室内照明国家标准的同时, 节省了LED光源数目, 节约了经济成本. 在大型场所(如商场, 机场等)中, 可通过分割区域使用本文所提出的优化设计方案, 进而得到很好的照度均匀性和通信稳定性. 同时, 由于需要更多的LED光源, 采用该分布

更能凸显其优势.

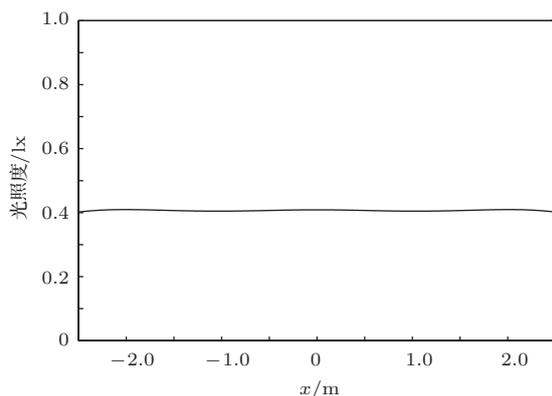


图 11 圆形平面分布的三层 LED 阵列照度均匀度接近最优值 1, 并且均方差最小时, 光照度分布曲线

## 4 结 论

本文提出了一种基于 Lambert 辐射模型的 LED 光源阵列在接收面上光照度分布的计算模型, 分析得出了 LED 光源阵列优化设计方案. 在光源数目一定的情形下, LED 光源的排布方式的不同, 接收面上的照度均匀性不同, 从而影响接收信号的稳定性. 8 个 LED 光源构成的圆形阵列天线在照度均匀性和通信传输信号稳定性方面都优于相同光源数目的矩形阵列天线, 照度均匀度提高了 10%, 照度差异率降低了 10%. 随光源间距及光源中心光束与系统光轴夹角的增加, LED 阵列发射天线照度均匀度均呈现出先增加后减小的变化趋势; 照度均匀度随空间分布层间距的减小而增加. 信号稳定性与光照均匀性成正比, 因此通信传输信号的稳定性有相同的变化趋势. 在  $5\text{ m} \times 5\text{ m} \times 3\text{ m}$  普通房间内, 分析得出了阵列天线各参数的最优值,

提出了优化设计方案, 从而在接收面上得到均匀的光照度分布, 保证了通信信号传输的稳定性, 同时能够节省电量 13% 左右, 节约了成本. 本文 LED 阵列光源中每一个小阵列单元仍是采用传统矩形排列形式的多 LED 芯片, 而每一个小阵列单元内部不同排列形式及不同芯片间距对照度均匀性的影响需要进一步的研究和探索.

## 参考文献

- [1] Li P L, Yang Z P, Wang Z J, Guo Q L 2008 *Chin. Phys. B* **17** 1907
- [2] Wang Z J, Yang Z P, Guo Q L, Li P L, Fu G S 2009 *Chin. Phys. B* **18** 2068
- [3] Pei L, Ning T G, Li T J, Dong X W, Jian S S 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 1630 (in Chinese) [裴丽, 宁提纲, 李唐军, 董小伟, 简水生 2005 物理学报 **54** 1630]
- [4] O'brien D 2009 *Proc. SPIE* **7464** 74640B
- [5] Grubor J, Randel S, Langer K D, Walewski J W 2008 *IEEE J. Light. Technol.* **26** 3883
- [6] Komine T, Nakagawa M 2004 *IEEE Trans. Consum. Electron* **50** 100
- [7] Komine T, Nakagawa M 2003 *IEEE Trans. Consum. Electron* **49** 71
- [8] Wang D Y, Sun H Q, Xie X Y, Zhang P J 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 227303 (in Chinese) [王度阳, 孙慧卿, 解晓宇, 张盼君 2012 物理学报 **61** 227303]
- [9] Liu H Z, Ji Y F 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 114203 (in Chinese) [刘宏展, 纪越峰 2013 物理学报 **62** 114203]
- [10] Moreno I, Avendaño M, Tzonchev R I 2006 *Appl. Opt.* **45** 2265
- [11] Moreno I, Muñoz J 2007 *Opt. Eng.* **46** 033001
- [12] Moreno I, Sun C C 2008 *Proc. SPIE* **7058** 70580R
- [13] Ding D Q, Ke X Z, Li J X 2011 *J. Appl. Sci.* **29** 238 (in Chinese) [丁德强, 柯熙政, 李建勋 2011 应用科学学报 **29** 238]

# Research on the light emitting diode array launching performance for indoor visible light communication\*

Liu Hao-Jie Lan Tian<sup>†</sup> Ni Guo-Qiang

(Key Laboratory of Photoelectronic Imaging Technology and System, Ministry of Education, School of Optoelectronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

( Received 23 June 2014; revised manuscript received 26 July 2014 )

## Abstract

A kind of illumination calculation of array antenna composed of light emitting diode (LED) source based on Lambert radiation model is proposed. This paper puts emphasis on the optimal design for the transmitting antenna of indoor visible light communication. And it also analyzes the influence of the forms of the spatial distribution of the light source, the distance between light sources, and the angle between the center beam of light source and optical axis of the system, as well as the layer spacing of space distribution on illumination uniformity. A circular array antenna is superior to a rectangular array antenna containing the same number of light sources in illumination uniformity and stability of signal transmission, which may increase by 10%. As the distance between light sources and the angle between the center beams of light sources and optical axis keep increasing, the illumination uniformity of array antenna composed of LED source increases first and then starts to drop. As a result, there exist the optimal values in the distance and the angle respectively. Illumination uniformity increases with the decrease of the distance of space distribution. The optimal value of design parameter of transmitting antenna array in a common room has been given, therefore, it optimizes launch performance, saves as much as 13% the number of light source and reduces the cost. These studies for the design of the transmitting antenna system provide a theoretical basis and practical values.

**Keywords:** indoor visible light communication, light emitting diode, transmitting antenna, illumination uniformity

**PACS:** 85.60.Jb, 42.79.Sz, 42.72.Bj, 42.60.Jf

**DOI:** [10.7498/aps.63.238503](https://doi.org/10.7498/aps.63.238503)

---

\* Project supported by the National Basic Research Program of China (Grant No. 2013CB329202).

† Corresponding author. E-mail: [lantian@bit.edu.cn](mailto:lantian@bit.edu.cn)