

采用遗传算法的可见光通信 LED 阵列分布优化

傅玉青

(华侨大学 工学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 采用遗传算法快捷、准确地优化发光二极管(LED)阵列结构,使其在接收器上(目标平面)的光照分布均匀.推导 LED 阵列的照度分布函数,以光照函数标准差与平均差的比值构建一个适应度函数,以此衡量目标平面的光照分布均匀度.获得光照分布最优时的 LED 阵列结构数据后,应用 MATLAB 对几何模型进行仿真.仿真结果表明:目标平面的照度均匀度达到 97.4%,验证了所提算法的有效性与可行性.

关键词: 发光二极管;阵列;遗传算法;光照度;可见光通信

中图分类号: TN 401 **文献标志码:** A

可见光通信(VLC)是近几年迅速发展起来的一种新型无线通信方式^[1-5].VLC 通过在发光二极管(LED)灯中植入芯片,让 LED 灯变成无线访问接入点(AP),利用 LED 发出的肉眼看不到的高速明暗闪烁信号传输信息,达到通信的目的.在使用 LED 的 VLC 系统中,为了在整个室内区域获得一致的通信效果和灯光照明,防止盲区的出现,要求 LED 光源发出的光照度均匀分布.然而,单个 LED 的照度分布近似于朗伯分布,无法满足均匀分布的要求.二元光学可以改变单个 LED 输出的照度分布^[6-7],但单个 LED 输出功率有限,将影响其传输质量和传输距离.因此,有必要将多个 LED 灯按一定方式排列,以获得均匀的照度分布^[8-9].相关研究人员采用不同的研究模型对 LED 的圆形分布、方形分布、环形分布、菱形分布、球面分布等进行了分析^[10-14].但这些传统分析方法都是基于理论计算的方法,运算过程复杂且繁琐.遗传算法(GA)是一种借鉴生物界自然选择思想和自然遗传机制的全局随机搜索算法,是一种自适应的迭代寻优过程,可用于对多目标、非线性等问题的优化^[15-20].遗传算法随机初始化一个种群,以该初始种群作为初始迭代点,通过随机选择、交叉和变异的遗传操作,产生一群新的更适应环境的个体,使群体进化到搜索空间中越来越好的区域.本文采用遗传算法优化 LED 阵列分布,以获得较均匀的照度分布.

1 LED 阵列分布数学模型

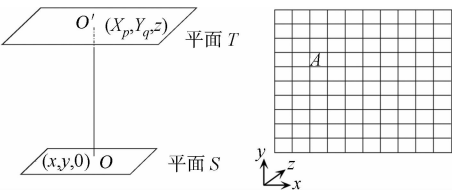
LED 照明系统及目标平面 T,如图 1 所示.LED 灯随机分布在平面 S 上,目标平面 T 呈 M×N 格分布.两平面之间的垂直距离为 z.每个 LED 灯的照度分布可近似为朗伯分布.

设平面 S 上 LED 灯坐标(x,y,0)到达平面 T 上点 A 坐标(X_p,Y_q,z)的照度^[12-15]为

$$E(X_p,Y_q,z)=I_0z^{m+1}[(X_p-x)^2+(Y_q-y)^2+z^2]^{-(m+3)/2}.$$

(1)

式(1)中:I₀是视角为 0°方向的光强度;m 是光源的辐射模式,与半光强度角 θ_{1/2}(发光强度下降到轴向



(a) LED 照明系统 (b) 平面 T
图 1 LED 照明系统及平面 T 示意图

Fig. 1 Schematic diagram of LED illumination and T-plane

强度值一半时,发光方向与光轴之间的夹角,通常由生产商提供)有关,其计算公式^[1,10-15]为

$$m = \frac{\ln 2}{\ln(\cos \theta_{1/2})}, \tag{2}$$

则所有 LED 灯到达点 A 的总光照度为

$$E(X_p, Y_q, z) = \sum_{i=1}^n I_0 z^{m+1} [(X_p - x_i)^2 + (Y_q - y_i)^2 + z^2]^{-(m+3)/2}. \tag{3}$$

式(3)中: $(x_i, y_i, 0)$ 为第 i 个 LED 灯在平面 S 的坐标; n 为 LED 灯的总数.

为了优化 LED 阵列分布,取 CV(RMSE) 为适应度函数,描述目标平面照度的均匀性. CV(RMSE) 为均方根误差的变化系数^[14],即

$$f(x_1, y_1; \cdots; x_i, y_i; \cdots; x_n, y_n) = \frac{\sigma}{\bar{E}}. \tag{4}$$

式(4)中: \bar{E} 定义为目标平面的光照度平均值,即

$$\bar{E} = \frac{1}{M \times N} \sum_{p=1}^M \sum_{q=1}^N E(X_p, Y_q, z). \tag{5}$$

σ 是目标平面光照度的标准差,可表示为

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{p=1}^M \sum_{q=1}^N [E(X_p, Y_q, z) - \bar{E}]^2}. \tag{6}$$

式(4)的适应度函数是各 LED 灯的坐标函数. 为了得到均匀的照度分布,要求取适应度函数的最小值,即通过遗传算法优化 LED 分布,让目标平面的光照度最均匀.

2 遗传算法设计

在遗传算法中,模拟自然选择的过程主要通过适应度函数实现. 个体适应度的大小决定其继续繁衍或消亡,适应度高的个体被复制到下一代的可能性高于适应度低的个体. 采用式(4)作为适应度函数,以各 LED 灯在平面 S 的坐标为函数.

采用遗传算法优化 LED 分布,主要有以下 3 个步骤^[20-21].

步骤 1 初始化群体集. 设置迭代次数、交叉概率、变异概率;在初始范围内,对种群进行随机初始化;构造适应度函数(式(4)).

步骤 2 循环. 对种群进行选择、交叉、变异的遗传操作;计算适应度大小,评价个体的优劣;迭代次数增加 1 次.

步骤 3 当适应度函数达到满意值或达到最大迭代次数时,停止算法,输出优化后的 LED 坐标;否则,返回步骤 2.

遗传算法的流程图,如图 2 所示.

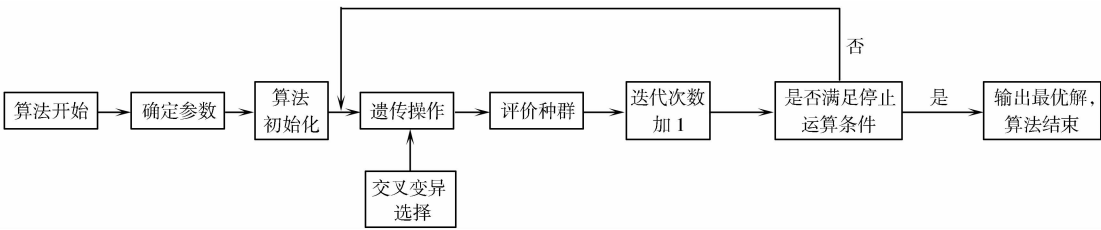


图 2 遗传算法的流程图
Fig. 2 Flow diagram of genetic algorithm

3 结果与分析

应用遗传算法对 LED 阵列分布进行优化,平面 T 为 $30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$;平面 S 为 $20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$;平面 T 与平面 S 的距离为 3 m ;垂直方向的发光强度 I_0 为 32.69 cd ;半功率角 $\theta_{1/2}$ 为 54° ;阵列中 LED 数为 54;假设所有 LED 灯的发射角度和轴向光照度都相同.

遗传算法初始化参数和截止条件:迭代数为 150;种群大小为 25;交叉率为 0.9;变异率为 0.001;收敛条件 (FFV) 为 0.01. 第 51 代时, $FFV=0.008$, 达到了算法运行停止条件, 这个数值小于预先设定的值. 优化后的 LED 阵列分布, 如图 3 所示.

利用 MATLAB 对 LED 阵列分布进行仿真, 归一化光照度的三维及二维分布, 如图 4 所示. 图 4 中: I 为归一化的光照度. 由图 4 可知: 应用遗传算法对 LED 阵列分布优化后, 光照度均匀性非常好, 均匀度达到 97.4%. 这个值与优化结果 FFV 量级非常吻合, 说明数值优化是可行的.

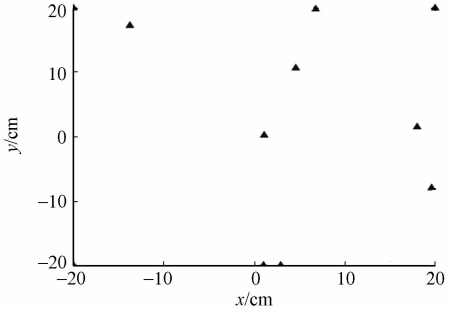
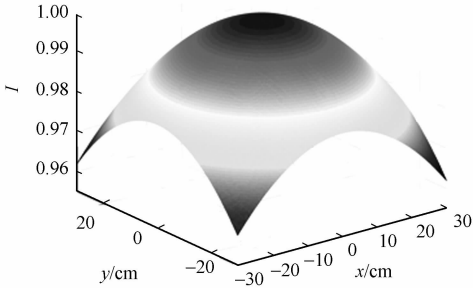
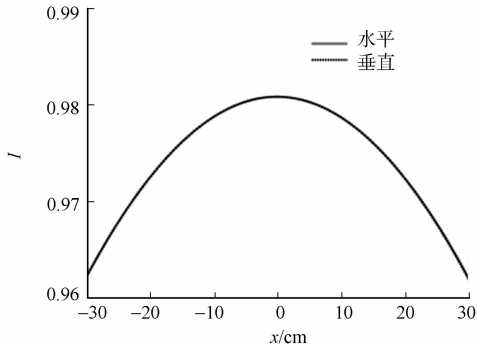


图 3 优化后的 LED 阵列分布
Fig. 3 Optimized distribution of LED array



(a) 三维分布



(b) 二维分布

图 4 归一化的光照度分布
Fig. 4 Normalized irradiance distribution

4 结 束 语

构造一个以所有 LED 灯坐标为函数的适应度函数, 表征 LED 光源在目标平面的光照度均匀程度. 利用遗传算法对 LED 阵列分布进行优化, 将优化结果进行仿真. 仿真结果表明: 目标平面的照度均匀度达到 97.4%, 可以满足可见光通信和照明要求. 采用这种数值优化算法可借助计算机实现自动优化设计, 并可应用于不同光照度的 LED 灯的优化.

参 考 文 献:

[1] TANAKA Y, HARUYAMA S, NAKGAWA N. Wireless optical transmissions with white colored LED for wireless home links[C] // Proceedings of the 11th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, London; IEEE Press, 2000; 1325-1329.

[2] MINH H L, O'BRIEN D, FAULKNER G, et al. High-speed visible light communications using multiple-resonant equalization[J]. IEEE Photon Technol Lett, 2008, 20(14): 1243-1245.

[3] KWOHYUNG L, HYUNCHEOL P, JOHN R B. Indoor channel characteristics for visible light communications[J]. IEEE Comm Lett, 2011, 15(2): 217-219.

[4] CHIEN H Y, YEN L L, CHI W C. Realtime white light phosphor-LED visible light communications (VLC) with compact size[J]. Opt Express, 2013, 21(22): 26192-26197.

[5] KOMINE T, LEE J H, HARUYAMA S, et al. Adaptive equalization for indoor visible-light wireless communication systems communications[C] // Asia-Pacific Conference on IEEE, Perth; IEEE Press, 2005; 294-298.

[6] DING Yi, LIU Xu, ZHENG Zhenrong, et al. Freeform LED lens uniform illuminations[J]. Opt Express, 2008, 16(17): 12958-12966.

[7] KIM B, KIM H, KANG S. Reverse functional design of discontinuous refractive optics using an extended light source for flat illuminance distributions and high color uniformity[J]. Opt Express, 2011, 19(3): 1794-1807.

[8] 刘浩杰, 蓝天, 倪国强. 室内可见光通信发光二极管阵列发射性能的研究[J]. 物理学报, 2014, 63(23): 238503(1-8).

[9] 赵芝璞, 季凌燕, 沈艳霞, 等. 基于 PSO 粒子群算法的 LED 照明系统光照均匀性研究[J]. 发光学报, 2013, 34(12):

1677-1682.

[10] MORENO I, AVENDAÑO-ALEJO M, TZONCHEV R I. Designing light-emitting diode arrays for uniform near-field irradiance[J]. Appl Opt, 2006, 45(10): 2265-2272.

[11] MORENO I, MUÑOZ J, IVANOV R. Uniform illumination of distant targets using a spherical light-emitting diode array[J]. Opt Eng, 2007, 46(3): 033001(1-7).

[12] YANG Hongming, BERGMANS J W M, SCHENK T C W, et al. Uniform illumination rendering using an array of LEDs: A signal processing perspective[J]. IEEE Signal Proces, 2009, 57(3): 1044-1057.

[13] WHANG A J W, CHEN Y Y, TENG Y T. Designing uniform illuminance systems by surface-tailored lens and configurations of LED arrays[J]. J Disp Technol, 2009, 5(3): 94-103.

[14] QIN Zong, WANG Kai, CHEN Fei, et al. Analysis of condition for uniform lighting generated by array of light emitting diodes with large view angle[J]. Opt Express, 2010, 18(16): 17460-17476.

[15] SU Zhouping, XUE Donglin, JI Zhicheng. Designing LED array for uniform illumination distribution by simulated annealing algorithm[J]. Opt Express, 2012, 20(S6): A843-A855.

[16] WU N H, CHAN K C. A genetic algorithm based approach to optimal fixture configuration comput[J]. Ind Eng, 1996, 31(3/4): 919-924.

[17] KRISHNAKUMAR K, MELKOTE S N. Machining fixture layout optimization using the genetic algorithm[J]. Int J Mach Tool Manu, 1999, 40(4): 579-598.

[18] KULANKARA K, SATYANARAYANA S, MELKOTE S N. Iterative fixture layout and clamping force optimization using the genetic algorithm[J]. J Manufacturing Science and Engin, 2002, 124(1): 119-125.

[19] KAYA N. Machining fixture locating and clamping position optimization using genetic algorithms[J]. Comput Ind, 2006, 57(2): 112-120.

[20] HAMED I M. Intelligent fixture design through a hybrid system of artificial neural network and genetic algorithm [J]. Artif Intell Rev, 2005, 23(3): 295-311.

[21] RAJENDRAN I, VIJAYARANGAN S. Optimal design of a composite leaf spring using genetic algorithms[J]. Comput Struct, 2001, 79(11): 1121-1129.

Research on LED Array for Illumination Uniformity in Visible Light Communication Based on Genetic Algorithm

FU Yuqing

(College of Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: For obtaining uniform distribution of illumination on the receiver plane (target), the genetic algorithm is used to accurately and quickly optimize the light emitting diode (LED) array. LED array illumination distribution function is derived. A fitness function with the ratio of standard deviation and mean difference of the illumination function is built. The optimal distribution of LED array by applying the light distribution uniformity on the target plane is then achieved. Finally, the geometric model is simulated by using MATLAB. The simulation results show that the illumination uniformity on the target plane reached 97.4% and indicate that the proposed algorithm is feasibility and effectiveness.

Keywords: light emitting diode; array; genetic algorithm; illumination distribution; visible light communication

(责任编辑：钱筠 英文审校：吴逢铁)