

文章编号: 1000-7032(2015)01-0113-08

基于改进人工鱼群算法的 LED 混光方法

栾新源¹, 刘廷章^{1*}, 周壮丽²

(1. 上海大学机电工程与自动化学院 上海市电站自动化技术重点实验室, 上海 200072;

2. 上海亮硕光电子科技有限公司, 上海 201203)

摘要: 为寻求高 LED 颗粒利用率和高光效, 引入了新 LED 组合进行混光, 提出利用改进人工鱼群算法优化 LED 光通量配比, 并设计了一款可调光调色筒灯来验证算法的可行性。引入相对基强化学习算法优化人工鱼种群; 引入柯西分布和正态分布函数作为自适应算子, 优化视域和步长。用积分球测试经优化后的灯具, 数据表明灯具具有很高的颗粒利用率和光效。结果表明本文提出方法切实可行, 具有很高的实用价值。

关键词: 混光; 人工鱼群算法; 优化

中图分类号: TN401

文献标识码: A

DOI: 10.3788/fjxb20153601.0113

LED Color Mixing Design Based on Improved Artificial Fish Swarm Algorithm

LUAN Xin-yuan¹, LIU Ting-zhang^{1*}, ZHOU Zhuang-li²

(1. School of Mechatronic Engineering and Automation, Shanghai Key Laboratory of Power Station Automation Technology, Shanghai University, Shanghai 200072, China;

2. Shanghai Liangshuo Photoelectron Co. Ltd., Shanghai 201203, China)

* Corresponding Author, E-mail: liutzh@staff.shu.edu.cn

Abstract: A novel design of LED mixing color based on improved artificial fish swarm algorithm (AFSA) was proposed. In order to improve convergence rate and accuracy of AFSA, opposition-based reinforcement learning was utilized to optimize solution space of AFSA, Normal and Cauchy distribution function were employed as adaptive weight operators to optimize vision field and step-size. The white, amber and blue LEDs were chosen to design LED lamp samples. LED proportions of 4 000 K color temperature among those LEDs were optimized by AFSA and new AFSA in the Matlab. Simulations indicate that improved AFSA has the higher convergence rate and accuracy. After LED lamps were tested by integrating sphere, the results show that the difference between the actual value and simulation calculation value is tiny, and the improved AFSA is effective. The improved AFSA provides a new efficient method for the calculation of LED proportions. Compared with the traditional method, the new method not only saves a significant amount of time, but also achieves higher luminous efficacy for lamps. All these show that the new method is effective and has high practical value.

Key words: color mixing; artificial fish swarm algorithm; optimization

收稿日期: 2014-10-16; 修订日期: 2014-11-12

基金项目: 国家自然科学基金(61273190); 上海市科学技术委员会(12dz1143700, 13111102500)资助项目

1 引 言

LED 具有寿命长、节能、环保等优点^[1-2],随着技术的进步,LED 芯片成本大幅下降,LED 灯正迅速被应用于各种场所,如家庭照明、医院照明、道路照明等。在 LED 的一些应用领域中,色温是一个重要的指标。在道路照明中,色温会影响视觉目标的探测和辨别能力,同亮度水平下,合适的色温能提高人眼分辨物体的颜色和细节能力^[3-4]。在医院照明中,文献[5]指出通过光线色温的周期性变化,可以刺激人体松果体的活性,激发人体自身免疫功能。在家庭照明中,色温会影响人的昼夜生物节律^[6],对人的情感也有影响^[7]:低色温光会让人觉得舒适放松,而高色温能提高人眼分辨能力。

相对于传统光源,LED 光源响应速度快、体积小、容易组合使用,故而更容易实现调光调色^[8-12]。但现有的混光方法,虽然最终光的色温相同,但整灯の出光效率大不相同,LED 颗粒的利用效率也有差异。在整灯材料中,光源所占成本最高。提高整灯の出光效率和 LED 颗粒利用率能够节省能源并有效降低灯的成本。

人工鱼群算法(Artificial fish swarm algorithm, AFSA)是一种受鱼群行为启发的群智能优化算法^[13],其通过模仿鱼群的觅食、聚集、追尾和随机等行为,在解空间中寻找最优解。人工鱼群算法具有算法简单、全局搜索能力强、可以直接使用目标函数作为适应度函数、能很快获得近似解的优点,然而也存在解精度不高和在算法后期收敛速度慢的缺点。

本文利用改进的人工鱼算法来优化 LED 混光配比,设计了一种高效的可调光调色筒灯。为提高整灯发光效率和 LED 颗粒利用率,选择了一种新的 LED 颗粒组合方式。引入相对基强化学习(Opposition-based reinforcement learning)算法优化人工鱼种群,引入正态分布(Normal distribution)函数和柯西分布(Cauchy distribution)函数作为自适应算子优化人工鱼群算法的视域和步伐长度。

2 LED 混光

2.1 LED 混光理论

颜色的色度用参数 x, y 描述,参数 Y 描述颜

色的亮度或流明值,这种描述方法称为 CIE xyY 色彩空间描述法。图 1 标出了颜色与色度之间的关系。还有一种用使用 X, Y, Z 激励值描述颜色的 CIE XYZ 色彩空间,从 CIE 标准观测方程^[14]延伸而来。在这个色彩空间里,不同种类 LED 的 X, Y, Z 激励值可以直接相加,表征激励值的提高。

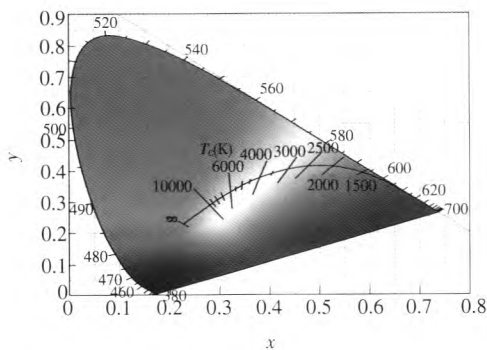


图 1 CIE 1931 xy 色度图,包含色温信息。

Fig. 1 CIE 1931 xy chromaticity diagram, also showing the chromaticities of black-body light sources of various temperatures, and lines of constant correlated color temperature.

XYZ 和 xyY 两个色彩空间可以通过式(1)相互转换^[15]。这里 i 表示 LED 的种类。如果 LED 总的种类数是 n ($n > 2$),混光方程可以用式(2)表示。 $X_{\text{mix}}, Y_{\text{mix}}, Z_{\text{mix}}$ 是混光后的激励值。色坐标 $(x_{\text{mix}}, y_{\text{mix}})$ 和流明值 Y_{mix} 是预设的目标值,即用户需要的光颜色和光通量。

$$\begin{cases} x_i = \frac{X_i}{X_i + Y_i + Z_i} \\ y_i = \frac{Y_i}{X_i + Y_i + Z_i} \\ z_i = (1 - x_i - y_i) \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} X_i = \frac{Y_i}{y_i} x_i \\ Y_i = Y_i \\ Z_i = \frac{Y_i}{y_i} (1 - x_i - y_i) \end{cases}, \quad (1)$$

$$\begin{cases} X_{\text{mix}} = \sum_{i=1}^n X_i \\ Y_{\text{mix}} = \sum_{i=1}^n Y_i \\ Z_{\text{mix}} = \sum_{i=1}^n Z_i \end{cases}, \quad (2)$$

从式(1)、(2)可推导出:

$$\begin{cases} x_{\text{mix}} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i Y_i}{y_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i Y_i}{y_i} + \sum_{i=1}^n Y_i + \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{y_i} (1 - x_i - y_i)} \\ y_{\text{mix}} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i Y_i}{y_i} + \sum_{i=1}^n Y_i + \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{y_i} (1 - x_i - y_i)} \\ Y_{\text{mix}} = \sum_{i=1}^n Y_i \end{cases}.$$

(3)

通常参与混光的 LED 种类选择好之后, 每种 LED 的色坐标(x_i, y_i)就基本确定下来, 则式(3)就演变成高维方程组, 通过求解方程组可以得到

表 1 LED 色坐标及光通量参数
Table 1 LED group chromatic coordinate and luminous flux

LED	x	y	$(1-x-y)/y$	x/y	光通量/电流
白色	0.376 4	0.4554	0.369 3	0.826 5	131 lm/350 mA
琥珀色	0.68	0.3198	0.000 6	2.126 3	75 lm /400 mA
蓝色	0.120 8	0.0705	11.470 9	1.713 5	28 lm /350 mA
混光目标	0.38	0.377	0.644 6	1.008	Y_{mix}

把表 1 中参数代入到式(3), 可得:

$$\begin{cases} 0.0207Y_w - 2.4687Y_A + 9.6753Y_B = 0 \\ -0.4567Y_w + 0.4744Y_A + 11.5319Y_B = 0 \\ Y_{\text{mix}} = Y_w + Y_A + Y_B \\ \max Y_{\text{mix}}(Y_w, Y_A, Y_B), \\ \text{s. t.} \\ Y_w \in [0, 104\ 8] \\ Y_A \in [0, 525] \\ Y_B \in [0, 56], \end{cases}$$

(4)

其中, Y_w 、 Y_A 和 Y_B 分别是白色、琥珀色和蓝色 LED 的光通量值。式(4)是包含 3 个变量的方程组, 解有取值范围。通过手工反复计算, 求出最大出光值 Y_{mix} 为 1 208. 134 4 lm。将用这个值作为目标值来验证优化算法的搜索精度。式(4)可以视为含限制条件的最优化问题, 可以用优化算法求极值。

LED 结温过高不但会引起色坐标漂移, 而且还降低出光效率, 缩短寿命^[1, 17]。这里选择高导热系数铝基板做散热板, 灯具选择铸铝做外壳。图 2 是布局好的 LED 的铝基板, 其中用英文标明了 LED 种类。

参与混光的各种 LED 的光通量值 Y_i 。如果混光后的总输出光通量值 Y_{mix} 是一个待定值, 则 Y_i 将会有多个解。虽然色温相同, 但是 Y_{mix} 越大, 整体出光就越多, 光源就越经济。故而, 求解 Y_{mix} 的问题, 可以视为带限定条件的求最大值优化问题。

2.2 LED 混光种类选择

文献[10-12]提出用红、绿、蓝三色和用冷、暖色 LED 进行混光的方法。这里再引入使用白色、琥珀色、蓝色 3 种 LED 进行混光的方法^[16]。为验证改进人工鱼群算法的优化效果, 我们设计了用 8 颗白色、7 颗琥珀色和 2 颗蓝色欧司朗大功率 LED 作为光源的筒灯。设定待混出的光的色温为 4 000 K。颗粒的详细参数如表 1 所示。

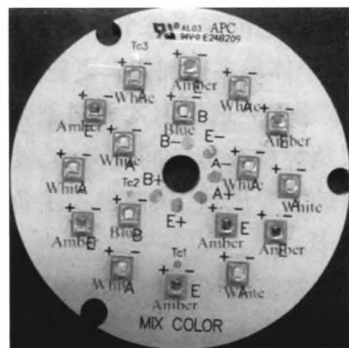


图 2 LED 颗粒的布局
Fig.2 LED arrays layout

3 人工鱼群算法

3.1 人工鱼群算法分析

人工鱼群算法通过随机函数随机产生人工鱼种群, 然后通过模仿鱼群的觅食、聚集、追尾和随机行为搜索最优解^[13]。然而, 用随机函数产生的人工鱼种群在解空间中有可能分布不均匀, 这直接影响算法收敛速度, 甚至搜索不到全局最优解。觅食行为是人工鱼的基本行为, 可描述为:

$$X_{il\ next} = \begin{cases} X_i + \text{Random}(\text{Step}) \frac{X_j - X_i}{\|X_j - X_i\|} & \text{if } Y_i < Y_j, \\ X_i + \text{Random}(\text{Step}) & \text{else} \end{cases} \quad (5)$$

式中 $(X_j - X_i) / \|X_j - X_i\|$ 指示人工鱼移动方向。常量 Step 和随机数决定移动步伐大小。 $X_{il\ next}$ 有时也会被随机移动步伐更新,这是算法逃脱局部

最优解的有力手段。聚集和追尾行为可用式(6)和(7)来描述:

$$X_{il\ next} = \begin{cases} X_i + \text{Random}(\text{Step}) \frac{X_c - X_i}{\|X_c - X_i\|} & \text{if } \frac{Y_c}{n_f} > \delta Y_i, \\ \text{prey}() & \text{else} \end{cases} \quad (6)$$

$$X_{il\ next} = \begin{cases} X_i + \text{Random}(\text{Step}) \frac{X_{\max} - X_i}{\|X_{\max} - X_i\|} & \text{if } \frac{Y_{\max}}{n_f} > \delta Y_i, \\ \text{prey}() & \text{else} \end{cases} \quad (7)$$

这两种行为帮助算法最终锁定最优值。定义函数 prey() 为觅食行为。

在式(5)~(7)中, X_i 是当前鱼的位置, X_j 是鱼的下一位置, Y_c 是当前邻域的中心位置适应度函数值, $Y_{\max}$ 是当前邻域中最大适应度函数值, δ 是当前邻域中人工鱼的拥挤程度, n_f 是当前邻域中人工鱼个数。分析式(5)~(7),可以发现移动步伐的大小对最优解的精度和收敛率都有影响。

3.2 改进人工鱼群算法

相对基强化学习算法^[18]已在机器学习领域得到广泛应用。它同时考虑个体的完全相反的两种行为,使得个体最多得到2次更新,从而加速探索,加快收敛速度。这里引入相对基强化学习算法优化人工鱼种群在解空间的分布,使得初始种群拥有更好的适应度值,从而使人工鱼群算法有更高的收敛率。

设 a, b 为解空间的下限和上限。初始化时,随机地产生 n 条人工鱼 $x_i, x_i \in [a, b] \ i \in [1, n]$ 。 x_i 的相反点定义为 $\tilde{x}_i$:

$$\tilde{x}_i = a + b - x_i \quad i \in [1, n], \quad (8)$$

利用式(8)逐一计算每个人工鱼的相反鱼 $\tilde{x}_i$,形成相反鱼群。 Y 是适应度函数,比较 $Y(x_i)$ 和 $Y(\tilde{x}_i)$,保留大的个体形成新的种群 x_j 。过程可描述为

$$x_j = \begin{cases} x_j & Y(x_j) > Y(\tilde{x}_j) \\ \tilde{x}_j & Y(x_j) < Y(\tilde{x}_j) \end{cases} \quad j \in [1, n]. \quad (9)$$

文献[13]研究表明:视域越小,觅食行为和随机行为较为突出,越可能找到局部最优解;视域越大,聚集和追尾较为突出,越可能找到全局最优

解。移动步伐增大,迭代次数会减小;移动步伐减小,解的精度会有所提高。因此,我们引入一个3参数 Lorentzian 函数来改进固定视域为自适应视域:

$$f(x; x_0, \gamma, I) = I \left[\frac{\gamma^2}{(x - x_0)^2 + \gamma^2} \right], \quad (10)$$

Lorentzian 函数是柯西分布函数形式之一,这里用它作为自动更新算子,其中 I 是波峰值。视域如式(11)所示,进行自适应更新。在算法初始阶段,视域值比较大,利于全局最优值的搜索及加快收敛速度;在算法后期,较小的视域利于提高解的精度。然而,视域值过小,算法容易陷入局部最优值。

$$\text{Visual}_{\text{next}} = \text{Visual}_i * f(4 * \text{gen}/\text{GEN}; 0, 2, 1), \quad (11)$$

这里 gen 是迭代代数,GEN 是最大迭代代数,Visual_i 是当前视域值,Visual_{next} 是下一个视域值。

为平衡迭代速度和解精度,我们引入正态分布函数作为自适应权重算子改进移动步伐。函数如式(12)所示,是变形的正态分布函数^[19]:

$$g(x) = e^{-\pi x^2}, \quad (12)$$

步长会如式(13)所示,进行自适应更新。在算法迭代初期,正态分布算子的下降速度比线性算子要慢,这有利于加快迭代速度;在算法迭代后期,正态分布算子下降快,有利于提高解精度。

$$\text{Step}_{\text{next}} = \text{Step}_i * g(\text{gen}/\text{GEN}). \quad (13)$$

因为视域并不是越小越好^[13],所以视域的下降速度需要慢一些。式(11)采用的柯西分布函数 $f(x; 0, 2, 1)$ 曲线和式(13)采用的正态分布函数 $g(x)$ 曲线绘制在图3中。同时,图3中添加了线性函数 $y = 1 - x$ 。在3条曲线中,柯西分布函数

下降速度最慢,适合作为视域自适应算子;正态分布函数前慢后快,适合作为步长自适应算子。

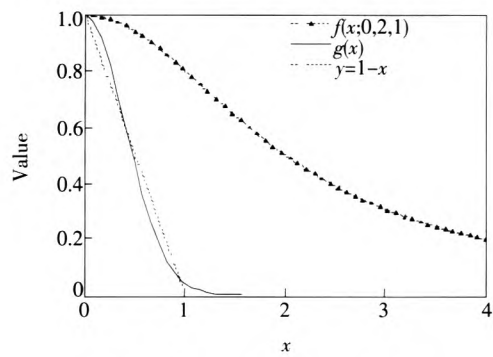


图 3 分布函数与线性函数图
Fig. 3 Function $f(x; 0, 2, 1)$, $g(x)$ and $y = 1 - x$.

3.3 改进人工鱼群算法流程

改进人工鱼群算法 (Improved artificial fish swarm algorithm, IAFSA) 实施过程如下:

Step 1: 初始化。随机产生 50 条人工鱼, $x_i = \{x_1, x_2, \dots, x_{50}\}$ 。利用式(8)和(9)产生新的 50 条人工鱼种群, $x_j = \{x_1, x_2, \dots, x_{50}\}$ 。初始视域设为 100, 步长为 5, 拥挤水平为 0.618, 最大尝试次数为 20, 最大迭代代数数为 50。

Step 2: 在人工鱼种群中找出适应度值最大的人工鱼 x_j , 将 x_j 及其适应度值 $Y_{\max}$ 更新至布告板上。

Step 3: 人工鱼执行聚集、追尾及觅食行为。视域更新如式(11)所示, 步长更新如式(13)所示, 鱼群行为更新如式(5)~(7)所示。将得到的最大适应度值 $Y(x_i)$ 与布告板上的值相比, 若大于布告板上的值, 则用该人工鱼及其适应度值取代布告板上的值。

Step 4: 判断是否到达最大迭代次数或满足其他终止条件。只要满足其中一项终止条件, 跳转到 Step 5; 否则跳转到 Step 3, 进入下一次迭代。

Step5: 返回最优解。

4 结果与讨论

4.1 算法仿真结果及分析

算法在 Matlab R2009a 中运行 30 次, 仿真运算结果如表 2 所示。定义算法达到设定精度, 称之为收敛。这里定义搜索最优值 $Y_{\max}$ 与目标值 $Y_{\min}$ 差值小于 10^{-4} 为收敛。从表 2 可看出, 改进人工鱼群算法达到 100% 收敛率, 原始算法有 1 次未达到收敛。改进人工鱼群算法在 30 次运行

中达到设定精度时的平均迭代次数是 3.33 代, 而原始算法平均迭代次数是 7.31 代。改进人工鱼群算法最快迭代 1 代达到收敛, 如图 4 所示。

表 2 仿真结果

Table 2 Simulation results

算法	收敛率/ 30 次	收敛平均 迭代代数	收敛时 标准偏差	收敛时 最多代数
AFSA	97%	7.31	7.05	28
IAFSA	100%	3.33	1.79	8

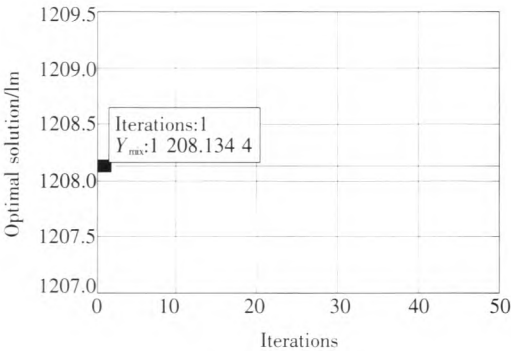


图 4 最优解变化图

Fig. 4 Changing of the improved AFSA optimal solution

将 29 次收敛时算法所耗费的迭代代数绘制在图 5 中。图 5 中横轴是运行的次序号, 纵轴是此次收敛所花的迭代代数。可以看出, 方块符号线所代表的改进人工鱼群算法明显比三角符号线所代表的原始算法稳定, 代数标准偏差小。

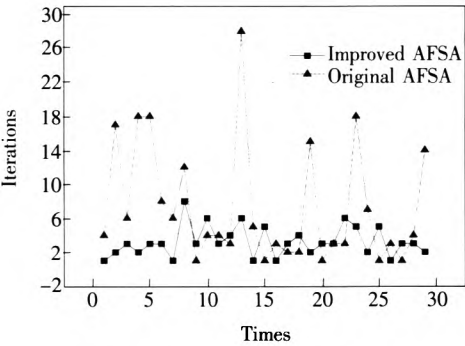


图 5 收敛时耗费迭代代数对比

Fig. 5 Comparison of iteration number between improved AFSA and the original

在图 6 中, 点代表原始种群, 圈代表用相对基强化学习算法优化后的种群。很明显优化后种群更靠近最优解, 故而可缩短迭代代数, 更快取得最优解。

根据最优解, 结合式(1)~(3)可计算出 3 种

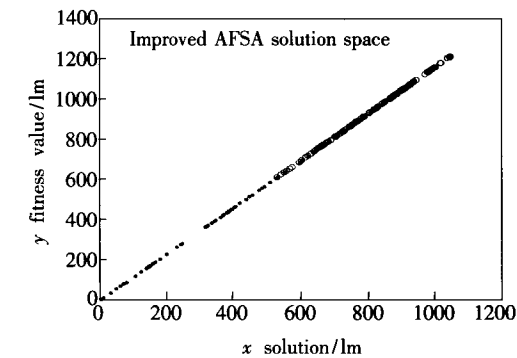


图 6 解对比分布图

Fig.6 Comparison of solutions distribution

LED 光通量值,结果如表 3 所示。

表 3 中 Y_{mix} 表示由改进人工鱼群算法搜索出的最优解光通量值, Y_w 、 Y_A 和 Y_B 分别是白色、琥珀色和蓝色 LED 的最优光通量值。用同样方法,将混光总输出光通量为 604.07 lm 时的 3 种 LED 光通量值算出,结合表 1,计算实际需要光通量与实际可提供光通量的比例,将该比例存储在控制 LED

表 3 LED 比例

	Table 3 Proportion of LEDs		
	最优解/lm	实际可提供/lm	比例
Y_w	1 048.00	1 048.00	100%
Y_A	129.43	525.00	24.65%
Y_B	30.71	56.00	54.83%
Y_{mix}	1 208.13	1 629.00	74.16%

驱动电源的单片机中。单片机采用脉宽调制 (PWM) 方式调光。

实际可提供光通量值 =

单颗在某额定电流时光通量 × 颗数. (14)

4.2 灯具实物测试结果及分析

将制作好的 6 个筒灯放到光学积分球中测试光学参数,结果如表 4 所示。各个灯的目标色温都是 4 000 K。从表中得知,各个灯の色容差小于 7,满足国标 GB24823-2009 普通照明用 LED 模块的性能标准。

表 4 光学积分球测试结果

Table 4 Test result by integrating sphere

筒灯	目标光通量/ lm	实测色温/ K	色容差	显色指数	实测 x	实测 y	实测光通量/ lm	光效/ (lm · W ⁻¹)
1	1 208.13	3 902	2.9	95.1	0.386 2	0.384 1	1 150.62	82.35
	604.07	3 902	3	95.7	0.385 4	0.381 2	586.32	81.60
2	1 208.13	3 997	3.1	93.2	0.383 6	0.388	1 119.68	79.95
	604.07	3 990	2.9	93.2	0.383 8	0.387 6	575.57	79.24
3	1 208.13	3 977	2.9	93.7	0.380 8	0.375	1 119.69	78.46
	604.07	3 977	3.2	93.6	0.380 6	0.374 2	574.20	77.75
4	1 208.13	3 909	2.8	94.9	0.385 7	0.383 3	1 103.48	80.65
	604.07	3 913	2.7	94.7	0.385 5	0.383	561.93	80.25
5	1 208.13	3 939	2.5	93.9	0.385 1	0.385 3	1 168.31	81.06
	604.07	3 951	1.9	94.2	0.384 1	0.383 2	595.08	80.15
6	1 208.13	3 932	2.8	93.8	0.385 7	0.386 5	1 126.32	81.39
	604.07	3 926	2.6	94.1	0.385 5	0.385	576.56	80.44
平均	1 208.13	3 943	2.8	94.1	0.384 5	0.383 7	1 131.35	80.64
	604.07	3 943	2.7	94.3	0.384 2	0.382 4	578.28	79.91

对于期望输出光通量 604.07 lm 与 1 208.13 lm,实际上输出平均值是 578.28 lm 与 1 131.35 lm。实测色温值与目标色温值也有差异。这是因为灯具的扩散板、反射纸和铝基板颜色均会引起光的损耗与色坐标偏移。另外,驱动电源的恒流精度及损耗也会引起光的损耗。最终输出光通量

是目标值的 94%,是一个比较高的数值。另外,在光通量输出平均值分别是 578.28 lm 与 1 131.35 lm 时,实测色温的平均值是相同的,但前者的光效比后者低约 1 lm/W。这说明色温相同时,光通量允许有多个,即式(4)中的 Y_{mix} 有多个解。从图 1 的等色温线可知,相同的色温可以对应多个色

坐标。从节能角度来看,相同色温时,光通量越大,则发光效率、颗粒利用率以及性价比越高,所以寻找最大输出光通量是 LED 光源设计所追求的主要目标。可见,本算法具有较高的实用价值。

定义 LED 颗粒利用率为实际需要光通量与实际可提供光通量的百分比。例如,用户购买一个实际可提供光通量为 1 000 lm 的灯具,实际使用时,如果在某个色温下光通量只有 500 lm,则 LED 颗粒利用率即为 50%,产品性价比很低。表 5 将本文引入的混光方案和三基色 LED 方案^[10]

表 5 3 种混光方法效果的比较

Table 5 Comparison of three kinds of solutions				
方案	色温/K	颗粒利用率	显色指数	光效/ (lm · W ⁻¹)
三基色	3 000	34.89%	—	22.24
冷暖两色	4 000	57.5%	80.87	95
本文	4 000	74.16%	94.1	80.64

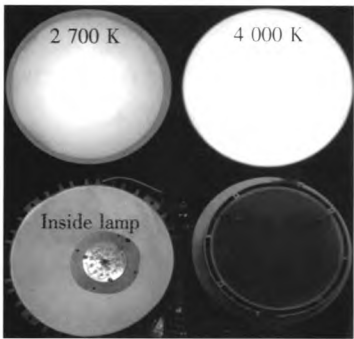


图 7 筒灯实际效果图
Fig. 7 Actual effect of down light lamp

及冷暖两色白光 LED 方案^[12]进行了对比。本文方案的颗粒利用率最高,显色指数及发光效率也很高,调色范围较大,总体上优于另外两种方案。

在图 7 中展现了筒灯在 2 700 K 和 4 000 K 色温时的实际效果。灯杯中白色一圈为反射纸,前面罩中雾状塑料件为扩散板。

改进人工鱼群算法不仅能优化 3 种 LED 参与的混光,还能优化更多种类 LED 参与的混光。LED 种类越多,用手工求解越费时间,越难求出最优解;而改进人工鱼群算法能很快搜索出最优解,优势更加明显。

5 结 论

为迅速找到参与混光的各种 LED 配比,提出利用改进人工鱼群算法搜索配比,并设计了一款可调光调色筒灯来验证算法的可行性。引入相对基强化学习算法优化人工鱼种群,使鱼群更接近最优解,从而加速收敛。引入柯西分布和正态分布函数作为自适应算子,优化视域和步长,兼顾收敛率和最优解精度。算法在 Matlab 中仿真,结果表明,改进算法收敛速度及收敛率都优于原始算法。将优化结果应用到新设计的筒灯中,用光学积分球测试这些灯的光学参数,数据表明实测值与算法仿真值非常接近。与文献[10]和[12]提出的两种混光方法相比,本文方法的 LED 颗粒利用率最高,显色指数和发光效率也很高。本文提出的方法能够节省混光配比计算时间,具有很好的实用价值。

参 考 文 献:

[1] Xiao C D, Liu C J, Liu W D, *et al.* Reliability assessment of LED lamp based on acceleration degradation test [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2014, 35(9):1143-1151 (in Chinese).

[2] Zhao Y H, Fan C J. Design of combined reflectors used in LED street lamps [J]. *Chin. Opt.* (中国光学), 2012, 5(5): 520-524 (in Chinese).

[3] Li X, Jin S Z, Wang L, *et al.* Effect of different color temperature LED sources on road illumination under mesopic vision [J]. *J. Opt. · Laser* (光电子 · 激光), 2011, 22(7):997-999 (in Chinese).

[4] Zhang Q W, Chen Z L, Hu Y K. Study on the influence of Lighting source color temperature on visual performance in tunnel and road lighting [J]. *Chin. Illumin. Eng. J.* (照明工程学报), 2008, 19(2):24-29 (in Chinese).

[5] Lu G Z, Liu Z. LED color temperature adjustable panel Light [J]. *Chin. Hosp. Arch. Equi.* (中国医院建筑与装备), 2012, 9:76-77 (in Chinese).

[6] Morita T, Takura H. Effects of lights of different color temperature on the nocturnal changes in core temperature and melatonin in humans [J]. *Appl. Hum. Sci.*, 1996, 15(5):243-246.

[7] Kim I T, Choi A S, Jeong J W. Precise control of a correlated color temperature tunable luminaire for a suitable luminous

- environment [J]. *Build. Environ.*, 2012, 57:302-312.
- [8] Guo J, Jin S Z. Design for white light source based on RGB LED illumination module [J]. *Chin. J. Liq. Cryst. Disp.* (液晶与显示), 2009, 24(1):145-149 (in Chinese).
- [9] Mao Z H, Xu S, Li F S, *et al.* Uniform dimming technologies for large-area OLED module [J]. *Chin. J. Liq. Cryst. Disp.* (液晶与显示), 2014, 29(3):403-409 (in Chinese).
- [10] Yan L Q, Yang W Q, Li S Z, *et al.* Dynamic color temperature white lighting source based on red green and blue light emitting diode [J]. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2011, 31(5):0523004-1-7 (in Chinese).
- [11] Dai S C, Guo Z Q, Lv Y J, *et al.* Spectrum optimization of bi-color and tri-color phosphor-converted white LEDs in neutral correlated color temperature system [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2012, 33(8):873-878 (in Chinese).
- [12] Xu D S, Chen X, Zhu X, *et al.* A dimming lighting source based on cold and warm white LEDs [J]. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2014, 34(1):0123004-1-7 (in Chinese).
- [13] Li X L, Shao Z J, Qian J X. An optimizing method based on autonomous animals: Fish swarm algorithm [J]. *System Eng. Theory Prac.* (系统工程理论与实践), 2002, 11:32-38 (in Chinese).
- [14] Harris A C, Weatherall I L. Objective evaluation of color variation in the sand-burrowing beetle *Chaerodes trachyscelides* white (Coleoptera: Tenebrionidae) by instrumental determination of CIE LAB values [J]. *J. Roy. Soc. New Zealand*, 1990, 20(3):253-259.
- [15] Smith T, Guild J. The C. I. E. Colorimetric standards and their use [J]. *Trans. Opt. Soc.*, 1931, 33(3):73-134.
- [16] Luan X Y, Liu T Z. The optimizing design for LED color mixing based on artificial fish swarm algorithm [C]//26th CCDC, Changsha: IEEE, 2014:3093-3097.
- [17] Li D S, Zu L, Zhang Y C, *et al.* Evaluation of reliability for LED lamp based on fuzzy algorithm [J]. *Opt. Precision Eng.* (光学精密工程), 2012, 20(12):2661-2666 (in Chinese).
- [18] Tizhoosh H R. Opposition-based reinforcement learning [J]. *J. Adv. Comput. Intell. Info.*, 2006, 10:579-586.
- [19] Stigler M. A modest proposal: A new standard for the normal [J]. *Am. Statist.*, 1982, 36:137-138.



栾新源 (1979 -), 男, 湖北孝感人, 博士研究生, 2011 年于上海大学获得硕士学位, 主要从事照明智能控制方面的研究。
E-mail: xinyuan.luan@163.com



刘廷章 (1967 -), 男, 山西原平人, 博士, 教授, 1996 年于西安交通大学获得博士学位, 主要从事复杂系统建模与控制、工业节能技术和 LED 照明驱动控制技术的研究。
E-mail: liutzh@staff.shu.edu.cn

《发光学报》网上在线投稿通知

由于学报发展的需要,《发光学报》网站已经建成开通,欢迎广大作者浏览我们的网页并提出宝贵意见,共同建好这个为广大作者和读者进行交流以及展示作者相关科研成果的平台。《发光学报》网页上建有网上在线投稿平台,我们只接收网上在线投稿,欢迎大家使用。如有问题,请与我们联系:

E-mail: fgxbt@126.com, Tel: (0431)86176862, 84613407

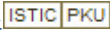
《发光学报》网址: <http://www.fgxb.org>

《发光学报》编辑部

基于改进人工鱼群算法的LED混光方法

作者：[栾新源](#)，[刘廷章](#)，[周壮丽](#)，[LUAN Xin-yuan](#)，[LIU Ting-zhang](#)，[ZHOU Zhuang-li](#)

作者单位：[栾新源, 刘廷章, LUAN Xin-yuan, LIU Ting-zhang \(上海大学机电工程与自动化学院上海市电站自动化技术重点实验室, 上海, 200072\)](#)，[周壮丽, ZHOU Zhuang-li \(上海亮硕光电子科技有限公司, 上海, 201203\)](#)

刊名：[发光学报](#)

英文刊名：[Chinese Journal of Luminescence](#)

年，卷(期)：2015, 36(1)

引用本文格式：[栾新源](#). [刘廷章](#). [周壮丽](#). [LUAN Xin-yuan](#). [LIU Ting-zhang](#). [ZHOU Zhuang-li](#) [基于改进人工鱼群算法的LED混光方法](#)[期刊论文]-[发光学报](#) 2015(1)