

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2020.0001.003

采用权重粒子群算法的照明控制

何 乐, 郭家虎*, 陈 晨, 赵 翔, 蒋博伟

(安徽理工大学 电气与信息工程学院, 淮南 232001)

摘 要:针对传统建筑照明系统中存在不能同时兼顾大面积照明环境舒适性及节能性的两大问题,引入了权重粒子群算法(Particle Swarm Optimization, PSO),并将其应用到照明控制系统中;首先通过采用多个传感器采集照度信息,随之将信息输入算法中,通过算法进行优化处理,最后系统自动寻出最优的光通量组合方式;算法可帮助场所内部照度分布均匀,在提升建筑光环境舒适度的同时也可大幅度降低照明损耗,提高能源利用效率;通过 DIALux evo 软件仿真验证,实验结果表明方案切实可行。

关键词:照明控制;粒子群优化算法;照度;光通量;光环境舒适度

中图分类号:TM923

文献标志码:A

文章编号:1672-058X(2020)01-0014-05

0 引 言

能源问题是全球的首要问题,科技的快速发展导致电力资源消耗急剧增加。随着绿色建筑和智能建筑的倡导,照明已成为优化节能的首要目标。相关研究表明,中国的照明用电量约占全社会用电量的 15%,是一个大型建筑能源消费者^[1]。长期的亮灯状态不仅缩短了灯具的正常使用寿命还浪费了我国大量的电力资源;在能耗成本增加的同时,照明效果往往不尽人意,而智能照明的快速发展在很大程度上解决了这一问题。

国外对于建筑光环境舒适度和智能照明控制系统的研究比较早。Mateja Trobec Lah 等^[2]实现了基于照明系统的模糊 PID 串级控制,将规范照度和实际照度偏差转化为百叶窗开度。Shenqiu Zhang 等^[3]提出当自然采光不能满足照度需求时,通过 PID 控制器调节人工光源,进行差值补偿。但 PID 控制和模糊控制均具有一定的滞后性,很难实时快速地调节室内照度。

近年来,国内在建筑光环境舒适度和智能照明控制系统的研究也取得了一定的成果。赖思恩等^[4]设计的照明控制系统,结合射频标签技术和传感器网络采集相关数据,基于用户需求使用粒子群算法处理数据,调节人员附近灯具的亮度。肖辉等^[5]以矩阵分析和控制理论为基础提出一种照明控制模型,控制调节室内照度,以达到理想的室内光环境。其控制范围都是区域控制,很难精确到每一盏灯具的光通量调节,因此节能效果大打折扣。

以往大部分研究不能对建筑内灯具逐一控制,照度分布不均匀,建筑光环境舒适度差。而且随着每天太阳角的变换,自然光不会均匀分布在室内的每一个角落,人们期望阳光充足的地方光源可以减弱,阳光不足的地方,光源也应该适当的增强。试图通过采用 PSO 的照明控制系统来尝试解决以上问题。

1 PSO 数学模型

PSO 是由 Eberhart 和 Kennedy 在 1995 年提出

收稿日期:2019-04-05;修回日期:2019-05-10.

作者简介:何乐(1994—),男,安徽铜陵人,硕士研究生,从事电力变换、建筑能源物联网研究.

* 通讯作者:郭家虎(1974—),男,安徽淮南人,教授,博士,从事电力变换、计算机控制、无线传感网络研究. Email:hn_gjh@

的一种仿生优化算法^[6-7]。其基本原理简单、优化高效、容易实现、具备信息共享能力等优势,因此被广泛应用于各类函数优化问题。而针对照明系统控制,就是其中的一种函数优化。

首先假设需求目标为 (x_0, y_0) ,粒子的当前位置坐标为 (x, y) ,速度为 (V_x, V_y) 。用两者距离 $s = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}$ 来评判当前位置的适应度, s 越小则适应度高,反之适应度低。假设每个粒子均能记住自己的路径,其中最优位置为 pb ,记 c_1 为速度调节常数, r_1 为一个 $[0, 1]$ 间的随机数,速度变化约束为:如果 $x \setminus y > pb$,则 $V_{x \setminus y} = V_{x \setminus y} - r_1 \times c_1$,如果 $x \setminus y < pb$,则 $V_{x \setminus y} = V_{x \setminus y} + r_1 \times c_1$ 。

然后假设粒子之间可以相互交流,均能分享自己的历史最优位置,其中群体的最优位置记为 gb ,记 c_2 为速度调节常数, r_2 为一个 $[0, 1]$ 间的随机数。速度在经过一次约束后,还必须进行二次约束:如果 $x \setminus y > gb$,则 $V_{x \setminus y} = V_{x \setminus y} - r_2 \times c_2$,如果 $x \setminus y < gb$,则 $V_{x \setminus y} = V_{x \setminus y} + r_2 \times c_2$ 。

由计算机模拟显示,当 c_1/c_2 较大时,所有粒子快速反应,聚焦到需求目标;相反,粒子则缓慢散落在需求目标周围。通过以上模拟发现,粒子群体可以快速找到上述简单函数的最优点。基于模型逐步演变出粒子群算法,通过后期不断的验证完善,最终确定粒子群算法的基本公式如下:

$$V_i(t+1) = V_i(t) + c_1 r_1 [pb_i(t) - x_i(t)] + c_2 r_2 [gb_i(t) - x_i(t)] \quad (1)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + V_i(t+1) \quad (2)$$

但是基本公式在实际应用中与理想优化效果并不相符,因此又提出一种改进算法,将惯性权重 ω 引入速度迭代公式,其基本公式演化为

$$V_i(t+1) = \omega V_i(t) + c_1 r_1 [pb_i(t) - x_i(t)] + c_2 r_2 [gb_i(t) - x_i(t)] \quad (3)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + V_i(t+1) \quad (4)$$

虽然引入惯性权重 ω 后,迭代公式复杂程度并没有大幅度增加,但是实际优化效果与理想优化效果更加相符,因此带权重的 PSO 被广泛使用,其粒子位置更新示意图如图 1 所示。

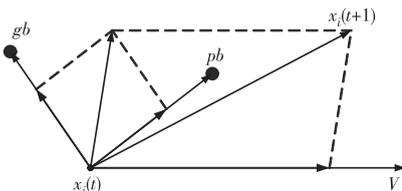


图 1 粒子位置更新示意图

Fig. 1 Particle location update diagram

2 基于 PSO 的照明系统设计

首先,根据《建筑照明设计标准(GB 50034—2013)》^[8]要求(见表 1,注:篇幅所限,选列部分场所),设置室内的照度标准值 E ;当室内部分区域照度高于标准照度时,区域的人工光源应适当减弱;反之,人工光源需要增强。

表 1 GB 50034—2013 照明标准值

Table 1 1 GB 50034—2013 lighting standard value

建筑类型及场所	高度/m	照度标准值/lx	
起居室	0.75	300	
住宅建筑	卧室	0.75	150
	餐厅	0.75	150
一般商店营业厅	一般商店营业厅	0.75	300
	一般室内商业街	地面	200
	商用建筑	高档商店营业厅	0.75
高档室内营业厅	高档室内营业厅	地面	300
	收款台	台面	500
	办公建筑	普通办公室	0.75
高档办公室		0.75	500
会议室		0.75	300
接待室、前台		0.75	200

由优化目的构建系统适应度函数 $f^{[9-12]}$;主要有工作面照度符合标准以及降低能耗。由工作面实际照度 E_i 与工作面标准照度 E 的误差不超过 10%,构建照度舒适度函数,如式(5);由于灯具能耗 G 与灯具光通量 g_i 具有一定的线性关系,因此用光通量的总和表示能耗函数,如式(6)。构建系统适应度函数 f ,如式(7);从式(7)中可以得知,在照度误差不超过 10%的情况下,系统适应度函数的值越大越节能。

$$\left| \frac{E_i - E}{E} \right| \leq 10\% \quad (5)$$

$$G = \sum_{i=1}^n g_i \quad (6)$$

$$f = \begin{cases} \left| \frac{E_i - E}{E} \right| \leq 10\% \\ \frac{1}{G} \end{cases} \quad (7)$$

接着,将 PSO 优化后得到的照度组合分配到每

一盏灯具,使用 PWM 控制技术进行调光。因为 LED 灯具的平均电流与 PWM 脉冲的占空比成线性正比关系,且 PWM 易于控制,所以采用 PWM 调光技术具有较好的调光效果,调光的范围也比较大。一般要求开关频率大于 100 Hz,以避免调光过程中造成肉眼可见的闪烁效应。

由粒子群算法优化后的照明控制系统,期望节能效果显著的同时,建筑内照度分布更加均匀,建筑光环境舒适度得到改善,其系统如图 2 所示。

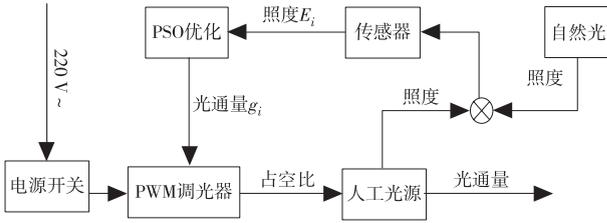


图 2 照明控制系统图

Fig. 2 Lighting control system diagram

PSO 在文中的具体描述为:在一个 n 维(n 盏灯具)的目标搜索空间中,种群是由 40 个粒子(每个粒子为一组光通量,30 ~ 50 个粒子寻优效果较好)组成的,其中当前一组光通量(位置)为 $x_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$,光通量的变化量(速度)为 $V_i(V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{in})$,第 i 个寻优迭代过程中能耗最小的光通量组合(个体最优解)为 $p_i(p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{in})$,在种群寻优迭代过程中能耗最小的光通量组(群体最优解)合为 $g_i(g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{in})$ 。每个粒子当前光通量变化量与光通量的迭代更新公式如式(8)和式(9)所示。

$$V_i(t+1) = \omega V_i(t) + c_1 r_1 [p_i(t) - x_i(t)] + c_2 r_2 [g_i(t) - x_i(t)] \quad (8)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + V_i(t+1) \quad (9)$$

其中: t 为迭代次数; $x_i(t)$ 为灯具在 t 迭代时刻的一组光通量; $V_i(t)$ 为灯具在 t 迭代时刻光通量的变化量; $p_i(t)$ 为第 i 个光通量组合到 t 迭代时刻的最优光通量组合; $g_i(t)$ 为所有灯具光通量组合到 t 迭代时刻的最优光通量组合,体现出粒子间相互学习的能力; c_1, c_2 为加速系数,通常为常数; r_1, r_2 是两个在 $[0, 1]$ 均匀分布的随机数。

粒子根据当前的光通量变化、自身历史最优光通量和群体历史最优光通量确定粒子下一次的光通量变化,体现出粒子的学习能力;粒子依据下一次迭代的光通量变化和当前最优光通量更新下一次的最优光通量。流程如图 3 所示。

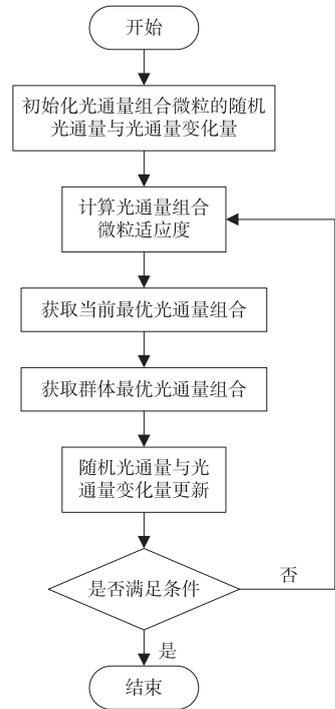


图 3 PSO 优化流程图

Fig. 3 PSO optimization flow chart

3 仿真分析

以 15 m × 9 m × 3.3 m 简单办公场所为例,具体位置为淮南(东经 117°0',北纬 32°33',海拔 40 m)利用 DIALux evo 软件进行照明仿真。场所包括门 1 扇、窗户 8 个,共 9 个自然采光点;根据《建筑照明设计标准(GB 50034—2013)》,室内采用 72 W 的 LED 人工光源 15 个,每个人工光源的最大光通量为 6 500 lm;根据国际照明委员会标准,设置自然光照为 8 000 lx;时间为上午 10 点。基于以上条件,分析了其自然照度和人工照度结合情况下,工作水平面(0.8 m)的照度情况,如图 4 所示。

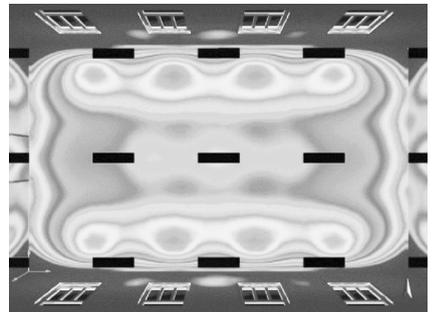


图 4 全局照度分析

Fig. 4 Global illumination analysis

在不改变自然光照及灯具的情况下,经过粒子群优化算法后的照度分析如图 5 所示。

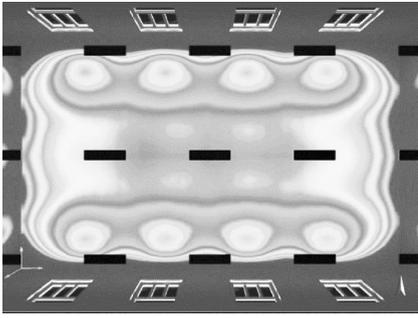


图5 PSO优化后全局照度分析

Fig. 5 Global illumination analysis after PSO optimization

比较图4和图5,可以发现。图4灯具下方照度接近甚至超过1 000 lx,明显偏高,远远超出我国标准所制定的照明标准;靠近窗口的区域照度比建筑中间的区域照度要高,基本达到600 lx及以上;而贴近门和无窗墙的临近区域照度明显不足500 lx;建筑内部平均照度为623 lx,照度不均匀,起伏波动较大,建筑光环境舒适度低,长时间处于这种光环境中会引起眼睛的各种不适。经PSO优化后,图5的照度分布更加均匀和稳定,灯具下方照度明显下降,临近区域因组合光的原因并没有明显差距;距离窗口近的区域人工光源提供的照度明显降低;门和无窗墙的临近区域人工光源提供的照度会适当加强。建筑物内部平均照度为501 lx,工作区域照度分布均匀且符合《建筑照明设计标准》,没有明显的照度激增或骤降,有效提升了建筑光环境舒适度。

仿真分析中,在房间内选取15个探测点,其优化前后的人工光源光通量以及房间内总照度如图6所示。从图6可以看出:优化后的人工光源光通量有所下降,达到节能目的;优化后的房间内总照度明显下降且更加平稳,达到提升建筑光环境的目的。

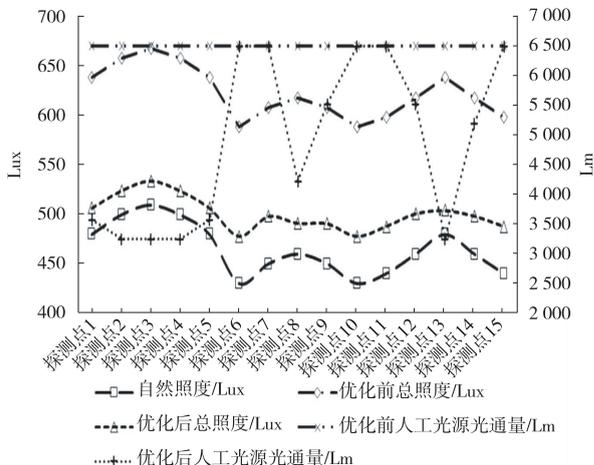


图6 探测点数据图

Fig. 6 Probe point data map

4 结 语

提出了一种基于粒子群优化算法的建筑节能照明系统。系统借助DIALux evo考虑了建筑结构对室内采光、照明的影响,同时结合建筑物内部光传感器采集的数据,实现感知室内自然光与人工光源综合的光照强度动态变化。而且根据系统可以从多个维度对建筑物的照明能耗进行分析,对于智能照明的现状以及发展有一定的指导作用。

参考文献 (References):

- [1] 郑柄松,高飞,郭兴翠.我国照明用电量的调查分析[J].中国照明电器,2016(10):18—22
ZHENG B S, CAO F, GUO X C. Survey Analysis of Lighting Power Consumption in China [J]. China Light & Lighting, 2016(10):18—22 (in Chinese)
- [2] MATEJA T L, BORUT Z, JO Ž P. Daylight Illuminance Control with Fuzzy Logic [J]. Solar Energy, 2005, 80(3):102—210
- [3] ZHANG S Q, BIRRU D. An Open-Loop Venetian Blind Control to Avoid Direct Sunlight and Enhance Daylight Utilization [J]. Solar Energy, 2012, 86(3):201—210
- [4] 赖思恩.基于物联网的智能楼宇舒适性节能照明系统研究[D].杭州:浙江理工大学,2014
LAI S E. An Intelligent Comfort Lighting System Based on Internet of Things [D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2014 (in Chinese)
- [5] 肖辉,陈小双,彭玲,等.基于天然采光的办公建筑健康光环境研究[J].照明工程学报,2015,26(1):6—10
XIAO H, CHEN X S, PENG L, et al. Research on Healthy Light Environment of Office Building Based on Natural Lighting [J]. China Illuminating Engineering Journal, 2015, 26(1):6—10 (in Chinese)
- [6] 唐俊.PSO算法原理及应用[J].计算机技术与发展,2010,20(2):213—216
TANG J. Principle and Application of PSO Algorithm [J]. Computer Technology and Development, 2010, 20(2):213—216 (in Chinese)
- [7] 陈超.基于PSO的组合评价算法研究[D].天津:天津大学,2008
CHEN C. Combination Evaluation Algorithm Study Based on PSO [D]. Tianjin: Tianjin University, 2008 (in Chinese)

- [8] 李晓梦,刘美言,于晓旭,等. 基于粒子群优化光谱匹配技术的植物照明光源[J]. 照明工程学报,2016,27(5):78—82
LI X M, LIU M Y, YU X X, et al. Plant Lighting Source Based on Particle Swarm Optimization Spectral Matching Technology[J]. China Illuminating Engineering Journal, 2016, 27(5):78—82(in Chinese)
- [9] 潘磊. 结合天然采光的室内智能照明控制策略研究[D]. 郑州:郑州大学,2014
PAN L. The Research on Control Strategy of Indoor Intelligent Lighting Combined with Natural Lighting [D]. Zhengzhou:Zhengzhou University, 2014(in Chinese)
- [10] 和瑞. 建筑光环境的智能照明控制模型研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2015
HE R. The Intelligent Lighting Control Model Research Based on Architectural Light Environment [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2015 (in Chinese)
- [11] 春江锋. 舒适性节能照明控制策略的研究[D]. 西安:陕西科技大学,2018
CHUN J F. Research on Control Strategy of Comfort and Energy Saving Lighting [D]. Xi'an:Shanxi University of Science and Technology, 2018(in Chinese)
- [12] 张玉杰,李栋,春江锋. 照明系统控制策略的研究与实现[J]. 陕西科技大学学报(自然科学版),2017,35(1):145—150
ZHANG Y J, LI D, CHUN J F. Research and Realization of Control Strategy of Lighting System [J]. Journal of Shaanxi University of Science & Technology, 2017, 35(1):145—150(in Chinese)

Lighting Control Based on Weight Particle Swarm Optimization Algorithm

HE Le, GUO Jia-hu, CHEN Chen, ZHAO Xiang, JIANG Bo-wei

(School of Electrical and Information Engineering, Anhui University of Science and Technology, Anhui Huainan 232001, China)

Abstract: In view of the two problems in the traditional architectural lighting system that cannot take into account the comfort and energy saving of large-area lighting environment at the same time, this paper introduces the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm and applies it to the lighting control system. By using multiple sensors to collect illuminance information, the information is input into the algorithm, and is optimized by the algorithm. Finally, the system automatically finds the optimal combination of luminous flux. The algorithm can help the interior of the site to be evenly distributed, and it can greatly reduce the lighting loss and improve the energy utilization efficiency while improving the comfort of the building light environment. This paper is verified by DIALux evo software simulation, and the experimental results show that the scheme is feasible.

Key words: lighting control; particle swarm optimization algorithm; illumination; luminous flux; light environment comfort

责任编辑:田静

引用本文/Cite this paper:

何乐,郭家虎,陈晨,赵翔,蒋博伟. 采用权重粒子群算法的照明控制[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版),2020,37(1):14—18

HE L, GUO J H, CHEN C, ZHAO X, JIANG B W. Lighting Control Based on Weight Particle Swarm Optimization Algorithm[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2020, 37(1):14—18