

文章编号:1671-6833(2013)03-0014-04

# 基于改进粒子群算法的智能照明控制策略研究

冯冬青, 潘 磊

(郑州大学 电气工程学院, 河南 郑州 450001)

**摘要:** 为了提高照明系统节能和舒适兼顾的综合性能, 研究了室内照明的自然光利用和照明灯具最佳组合的智能控制策略. 根据太阳高度角以及窗户的方位角计算人眼所处位置的太阳高度角, 建立了窗帘调节模型, 通过调节电动窗帘的位置来满足人眼舒适性的要求. 当自然光照不足需要人工补光时, 利用改进的粒子群算法求解出最佳的灯具亮度组合, 实现舒适和节能的综合最优. 最后通过实际的办公室模型进行了模拟仿真, 验证了控制策略的有效性.

**关键词:** 智能照明; 太阳高度角; 舒适性; 改进的粒子群算法

**中图分类号:** TP273

**文献标志码:** A

**doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2013.03.004

## 0 引言

照明系统的设计需要考虑系统的节能舒适性, 综合利用太阳光和人工光已经成为智能照明领域研究的热点问题<sup>[1-4]</sup>. 目前国内外照明界提出的控制策略主要包括时间表控制策略、昼光(自然光)控制策略、维持光通量控制策略、明暗适应策略、局部光环境控制策略(按个人要求调整光照)、平衡照明日负荷曲线控制策略等<sup>[5]</sup>. 其中, Wang等<sup>[3]</sup>研究了利用模糊控制算法调控窗帘的开启. Yin等<sup>[4]</sup>研究了PWM调光、定时调光和自适应调光等多种调光模式. 但是将粒子群算法应用于控制太阳光和人工光的研究却很少. 笔者将粒子群算法引入到室内智能照明中, 并对其进行了改进, 通过合理地利用太阳光和人工光, 实现节能和舒适的综合最优.

首先, 考虑人眼舒适性, 根据相关参数计算出太阳高度角的变化. 在太阳高度角较大时, 调节窗帘的长度以遮挡直射的太阳光, 从而保证人眼的舒适性, 同时保证人员不在的区域充分利用太阳光. 当人所在区域的照度不能满足需求时, 调节灯具的亮度进行人工补光. 在灯具亮度的调节过程中采用改进的粒子群算法对控制策略进行优化, 在满足照度的情况下, 使得灯具的能耗最小, 达到舒适和节能的综合最优. 最后, 通过实际的办公室

模型进行了模拟仿真, 验证了控制策略的有效性.

## 1 模型的建立

### 1.1 窗帘模型的建立

太阳的位置决定了太阳射来的方向, 太阳的位置由太阳高度角和太阳的方位角决定. 太阳高度角 $h$ 以及太阳方位角 $A$ 的计算如式(1)、(2).

$$h = \arcsin(\sin\varphi\sin\sigma + \cos\varphi\cos\sigma\cos t); \quad (1)$$

$$A = \arccos\left(\frac{\sin h \sin\varphi - \sin\sigma}{\cos h \cos\varphi}\right); \quad (2)$$

$$\sigma = 23.45 \sin\left(\frac{360(284 + n)}{360.25}\right). \quad (3)$$

式中: $\varphi$ 表示该地区的纬度, 北纬为正, 南纬为负; $\sigma$ 表示太阳的纬度; $t$ 表示时间角度,  $t$ 等于 $15^\circ$ 与距离正午时间小时数的乘积; $n$ 表示一年的第 $n$ 天.

窗户的方位角 $\omega$ 的取值如下: 在正南方窗户方位角为 $0^\circ$ , 在正东方窗户方位角为 $90^\circ$ . 从人的角度看到的太阳高度角 $h_1$ 由式(4)计算.

$$h_1 = \arctan\left(\frac{\tanh h}{\cos(A - \omega)}\right). \quad (4)$$

下面举例分析, 窗帘模型如图1所示, 窗户底端距地面高度以及桌面离地高度均为 $d_1$ , 最近的办公桌距离窗户 $d_2$ , 窗帘的总长度为 $y$ , 窗帘实际开启长度 $y_1$ 的调节模型如式(5).

收稿日期:2012-11-20; 修订日期:2012-01-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60973094)

作者简介:冯冬青(1958-), 男, 广东佛山人, 郑州大学教授, 主要从事智能控制理论与应用研究, E-mail: dqfeng@

zzu.edu.cn.

$$\begin{cases} y_1=0, & (h_1 < h_{\max}); \\ y_1=y-d_2\tanh h_1, & (h_1 \geq h_{\max}). \end{cases} \quad (5)$$

人看到的太阳高度角小于  $h_{\max}$  较为舒适. 当人看到的太阳高度角小于  $h_{\max}$  时, 窗帘全部开启, 充分利用太阳光; 当人看到的太阳高度角大于等于  $h_{\max}$  时, 如图 1 中  $h_2 > h_{\max}$  时, 调节窗帘的长度遮挡直射的太阳光, 在保证光照舒适性的同时, 充分利用窗台到办公桌之间的太阳光.

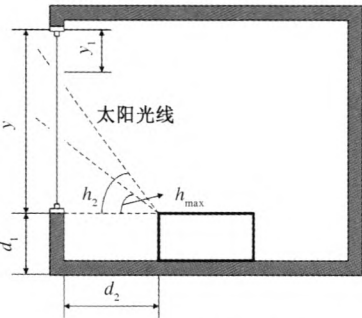


图 1 窗帘模型示意图  
Fig. 1 The sketch of curtain model

1.2 照度模型的建立

以采用近似点光源的灯具为前提, 假设室内各个墙面的反射光所产生的照度对检测点照度的影响很小, 并且每一点的水平照度是由各个灯具在该处产生的水平照度的线性组合. 如图 2 所示, 灯具 A 在 P 点产生的水平照度计算如式(6)<sup>[6]</sup>.

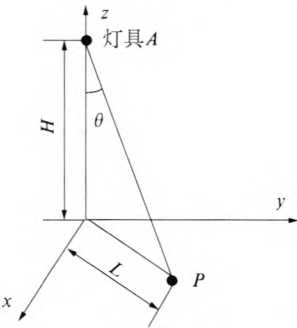


图 2 点光源与 P 点照度计算示意图  
Fig. 2 The sketch of calculation between point light and illumination of P point

$$E=\frac{I(\theta)\cos^3\theta}{H^2}=\frac{I(\theta)H}{(L^2+H^2)^{\frac{3}{2}}}.$$
 (6)

式中:  $I(\theta)$  表示灯具 A 配光曲线  $\theta$  方向的光强, lm;  $E$  表示灯具 A 在 P 位置产生的水平照度, lx;  $H$  表示灯具 A 到 P 点的垂直距离, m;  $L$  表示灯具 A 与 P 点的水平距离, m.

办公室灯具以及办公桌分布如图 3 所示.

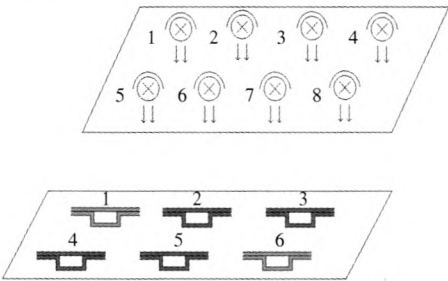


图 3 办公室灯具以及办公桌分布示意图  
Fig. 3 The distribution sketch of office lamp and office table

灯具的最大亮度为 4 500 lm, 灯具内部可以实现 0 ~ 4 500 lm 的多级调光, 实验中将灯具分 4 500 级调光. 办公室长 8 m, 宽 5 m, 办公桌面与灯具的垂直高度  $H$  为 3 m, 1 ~ 8 号灯具与 1 ~ 6 号办公桌面的水平距离  $L$  如表 1 所示. 用  $I_1 \sim I_8$  表示灯具 1 ~ 8 的亮度,  $E_1 \sim E_6$  表示 1 ~ 8 号灯具在 1 ~ 6 号办公桌面产生的水平照度, 则灯具在 1 ~ 6 号办公桌面产生的水平照度模型如式(7).

表 1 灯具与办公桌水平距离表  
Tab. 1 the table of the horizontal distance between lamp and office table m

桌号	灯具号							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.2	1.2	2.6	4.5	1.5	1.5	2.8	4.8
2	2.6	1.2	1.2	2.6	2.8	1.5	1.5	2.8
3	4.5	2.6	1.2	1.2	4.8	2.8	1.5	1.5
4	1.5	1.5	2.8	4.8	1.2	1.2	2.6	4.5
5	2.8	1.5	1.5	2.8	2.6	1.2	1.2	2.6
6	4.8	2.8	1.5	1.5	4.5	2.6	1.2	1.2

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \\ E_4 \\ E_5 \\ E_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1 & f_1 & f_2 & f_3 & f_4 & f_4 & f_5 & f_6 \\ f_2 & f_1 & f_1 & f_2 & f_5 & f_4 & f_4 & f_5 \\ f_3 & f_2 & f_1 & f_1 & f_6 & f_5 & f_4 & f_4 \\ f_4 & f_4 & f_5 & f_6 & f_1 & f_1 & f_2 & f_3 \\ f_5 & f_4 & f_4 & f_5 & f_2 & f_1 & f_1 & f_2 \\ f_6 & f_5 & f_4 & f_4 & f_3 & f_2 & f_1 & f_1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \\ I_7 \\ I_8 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

式中:  $f_1=0.133\ 6$ ;  $f_2=0.062\ 466$ ;  $f_3=0.019\ 33$ ;  $f_4=0.116\ 5$ ;  $f_5=0.055\ 175$ ;  $f_6=0.016\ 221$ .

2 改进的粒子群算法

粒子群算法<sup>[7-8]</sup>是一种进化计算技术, 由 Eberhart 博士和 Kennedy 博士于 1995 年提出. 粒子群优化算法的基本思想是通过群体中个体之间的协作和信息共享来寻找最优解. 粒子群算法的优势

在于简单、容易实现,并且没有过多参数的调节,目前已被广泛应用于神经网络训练、参数优化、系统建模等领域<sup>[9-10]</sup>. 笔者对粒子群算法进行了改进:传统的粒子群算法是对所有的个体进行智能搜索,而笔者将 3/4 个体进行智能搜索,1/4 个体进行随机搜索. 随机搜索是指在解空间内随机搜索,这样可以保证粒子的多样性,避免陷入局部最优. 粒子更新的速度与位置计算如式(8)、(9).

$$v_i = \omega v_i + c_1 \xi(p_i - x_i) + c_2 \eta(g_i - x_i); \quad (8)$$

$$x_i = x_i + \Delta V_i; \quad (9)$$

$$\omega = \omega_{\max} - \left( \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{k_{\max}} \right) \cdot k. \quad (10)$$

式中: $v_i$ 表示当前所有灯具亮度变化的速度组合; $\omega$ 表示惯性因子, $\omega$ 的计算如式(10),迭代初期较大的惯性因子使算法保持了较强的全局搜索能力,而迭代后期较小的惯性权重有利于算法进行更精确的局部搜索; $\xi, \eta$ 是 $[0, 1]$ 区间内均匀分布的随机数; $p_i$ 表示某一灯具亮度组合经历的最佳值; $g_i$ 表示群体中所有灯具亮度组合经历的最佳值; $x_i$ 表示当前灯具的亮度组合; $\omega_{\max}$ 表示惯性因子最大值; $\omega_{\min}$ 表示惯性因子最小值; $k_{\max}$ 表示粒子群迭代的最大次数; $k$ 表示粒子群当前的迭代次数.

1~6号办公桌面需求照度为 750 lx,误差允许范围为  $\pm 1\%$ ,在误差允许范围内搜索能耗最小的灯具亮度组合进行调光,用  $f$  表示粒子的适应度,  $1/f$  表示目标函数值(灯具的能耗),粒子的适应度函数如式(11).

$$f = \sum_{i=1}^n \frac{1}{(I_i/10^3)^2}. \quad (11)$$

式中: $I_i$ 表示第  $i$  盏灯具的亮度度值,无量纲; $n$ 表示灯具的个数.

改进的粒子群算法步骤如下:

Step1:初始化一群微粒,包括随机灯具的亮度和速度;

Step2:评价每个微粒的适应度;

Step3:根据新的适应度值更新个体最优  $p_i$  和群体最优  $g_i$ ;

Step4:随机选取 3/4 的粒子根据式(8)、(9)调整灯具亮度变化的速度和位置,其余 1/4 粒子在搜索空间中重新随机赋值;

Step5:未达到结束条件则转 Step2.

### 3 实验仿真

在 MATLAB2012 环境下进行实验仿真,以中午 11:20 为例,其中初始化粒子个数  $M = 500$ ,粒

子迭代次数  $k_{\max} = 50$ ,加速因子  $c_1 = 0.8, c_2 = 0.8$ ,惯性因子最大值  $\omega_{\max} = 0.9$ ,惯性因子最小值  $\omega_{\min} = 0.4$ . 原始的粒子群算法搜索出 1~8 号灯具亮度值分别为 1 026, 325, 448, 1 389, 1 476, 806, 616, 1 234 lm. 开启灯具补光后室内 6 个办公区域的照度分别为 758, 756, 752, 754, 746, 758 lx, 满足照度需求. 改进的粒子群算法搜索出 1~8 号灯具亮度值分别为 1 014, 304, 446, 1361, 1462, 794, 612, 1 226 lm. 开启灯具补光后室内 6 个办公区域的照度分别为 746, 752, 748, 749, 741, 755 lx, 满足照度需求.

原始的粒子群算法以及改进的粒子群算法运行的结果如图 4 所示,从图 4 可以看出,在满足照度需求的情况下,改进的粒子群算法比原始的粒子群算法能更快地搜索出最佳灯具亮度组合,并且改进的粒子群算法搜索出的灯具能耗小,验证了改进粒子群算法的优越性.

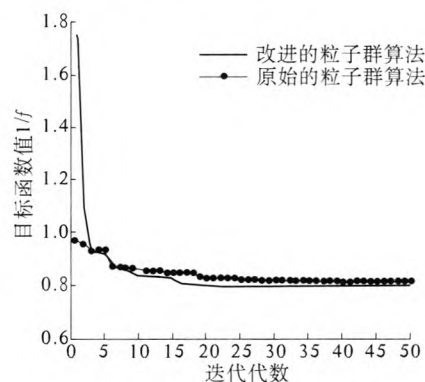


图 4 粒子群优化算法进化示意图

Fig. 4 The sketch of evolution of particle swarm optimization

每隔 5 s 采集灯具亮度值,利用改进的粒子群算法求出一天之内各灯具亮度随时间调整曲线如图 5 所示.

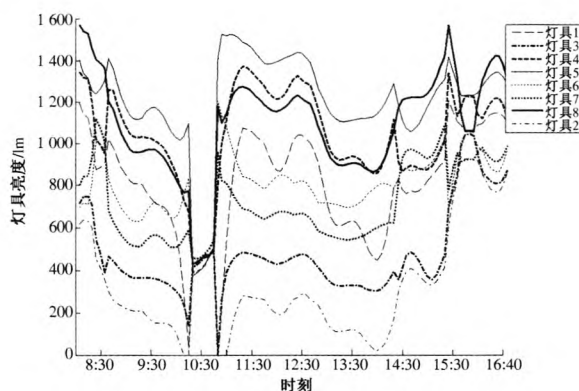


图 5 各灯具亮度调整曲线

Fig. 5 the regulation curves of every lamp's luminance

从图5可以看出,早上8:30到11:00左右,随着自然光照的增强,灯具的开启等级逐渐减小,当11:00左右时,由于人眼所看到的太阳高度角超过上限值,窗帘需要遮挡直射的太阳光,此时室内的自然光强减弱,因此需要增大灯具的开启级别进行补光.同时,每一时刻灯具的最佳的亮度组合保证能耗最小,大大节省了电能.

#### 4 结论

首先,通过计算人眼所处位置的太阳高度角来调节窗帘的长度以遮挡直射的太阳光,这样就满足了人眼的舒适性的要求.然后,通过运用改进的粒子群算法实现舒适和节能的综合最优.在同时满足照度需求的情况下,改进的粒子群算法比原始的粒子群算法能够较快地搜索出灯具亮度组合,并且灯具能耗较小,验证了改进粒子群算法的优越性.最后,通过实验验证了控制策略的有效性,可应用于智能大厦以及普通的办公室照明.另外,该控制策略在满足智能化以及信息化的同时,实现了电能的节约.

#### 参考文献:

- [1] PAN Meng-shiuan, YEH Lun-wu, CHEN Yen-ann, et al. A WSN-based intelligent light control system considering user activities and profiles[J]. *Sensor Journal*, 2008, 8(10): 1710 - 1721.
- [2] BELLIDO-OUTEIRINO F J. Building lighting automation through the integration of DALI with wireless sensor networks[J]. *Consumer Electronics*, 2012, 58(1): 47 - 52.
- [3] WANG Ya-ning, WANG Zhao-feng. Design of intelligent residential lighting control system based on zig-bee wireless sensor network and fuzzy controller[C]//IEEE International Conference on Machine Vision and Human-machine Interface. Los Alamitos: IEEE computer Society, 2010: 561 - 564.
- [4] YIN Jun, WANG Wei. LED lighting control system based on the zigbee wireless network[C]//International Conference on Digital Manufacturing & Automation. Los Alamitos: IEEE computer Society, 2010: 892 - 895.
- [5] 陈勇旗, 谭冠政. 无线遥控智能照明系统[J]. *电气应用*, 2005, 24(2): 53 - 56.
- [6] 李农, 杨燕. 照明手册[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 84 - 85.
- [7] 曾建潮, 介婧, 崔志华. 微粒群算法[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [8] KENNEDY J, EBERHART R. Particle swarm optimization[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks. Piscataway, NJ: IEEE Press, 1995: 1942 - 1948.
- [9] 田雨波, 潘朋朋. 粒子群算法优化神经网络结构的研究[J]. *现代电子技术*, 2011, 34(2): 100 - 112.
- [10] 徐敏, 袁建洲, 刘四新, 等. 基于改进粒子群优化算法的短期风电功率预测[J]. *郑州大学学报: 工学版*, 2012, 33(6): 32 - 35.

### The Research on the Control Strategy of Intelligent Lighting Based on Improved Particle Swarm Algorithm

FENG Dong-qing, PAN Lei

(School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** In order to enhance performances of energy saving and comfort of a lighting system, some intelligent control strategies are discussed to get the best combination of natural light and lighting fixtures as to indoor lighting. Based on the solar altitude angle and the window azimuth, the solar altitude angle of the position of the human eye can be calculated, and the curtain adjustment model is built here, thus the requirements of eyes comfort will be met by adjusting the position of the electric curtain. When the natural light is insufficient, it is needed to open the lamp to fill light. The best combination of lighting fixtures luminance is solved out by use of the improved particle swarm optimization, hence realizing the comprehensive optimum of comfort and energy-saving. Finally, the effectiveness of strategies of control is verified by the simulation of actual office's model.

**Key words:** intelligent lighting; the solar altitude angle; comfort; improved particle swarm optimization