文章编号：1000-7032(2018)08-1123-05

环境因素对单色红外 LED 器件探测性能影响分析

莫长涛，郇　帅，王光明*，吕　加，文晶姬，徐志丹，张黎丽，王　明
（哈尔滨商业大学 基础科学学院，黑龙江 哈尔滨　150028）

摘要：单色红外 LED 器件的发射功率受传输距离、光源工作电流及工作频率等因素的影响，各因素均应视为非平稳变化的影响因素。通过实验标定和曲线拟合建立其影响模型，可以进一步通过生物地理学优化算法进行多参量系统优化，直接确定最佳参量条件。利用生物地理学优化算法是一种全局性优化算法，极适合综合处理不同物理机制的各种外界因素变化对单色红外 LED 器件的发射功率的影响。该方法可以解决纸张水分测量技术的瓶颈问题，提高其测量精度。

关　键　词：单色 LED 光源；红外；生物地理学优化算法；水分；纸张
中图分类号：TS736　　**文献标识码：**A　　**DOI：**10.3788/fgxb20183908.1123

Influence of Environmental Factors on The Detection Performance of Monochromatic Infrared LED Devices Optimization Algorithm

MO Chang-tao, HUAN Shuai, WANG Guang-ming*, LYU Jia,
WEN Jing-ji, XU Zhi-dan, ZHANG Li-li, WANG Ming
(*Harbin University of Commerce*, *Harbin* 150028, *China*)
* *Corresponding Author*, *E-mail*: 734506394@*qq.com*

Abstract: The transmitting power of monochromatic infrared LED device is affected by such factors as transmission distance, operating current of light source and operating frequency, and all factors should be considered as the influencing factors of non-steady change. Through the experimental calibration and curve fitting to establish its impact model, we can further optimize the multi-parameter system through the biogeography optimization algorithm to directly determine the optimal parameter conditions. The use of biogeography optimization algorithm is a global optimization algorithm, which is very suitable for the comprehensive treatment of different physical mechanisms of various external factors on the monochromatic infrared LED device transmit power. The method can solve the bottleneck problem of paper moisture measurement technology and improve the measurement accuracy.

Key words: monochrome LED light source; infrared; biogeography optimization algorithm; moisture; paper

1　引　　言

单色红外 LED 器件广泛应用于红外测量领域，它的发射功率受光源传输距离、光源工作电流、工作频率及各种外在工作环境因素的影响，直接影响其在各种工作环境下的测量结果。采用生物地理学优化算法结合一定量标准试验数据系统处理单色 LED 光源传输距离、光源工作电流、工

收稿日期：2017-12-11；**修订日期：**2018-03-25
基金项目：黑龙江省自然科学基金(A2015019)资助项目
Supported by Natural Science Foundation of Heilongjiang Province(A2015019)

作频率及各种工作环境因素的影响,可以对各种测量系统造成的误差进行系统的处理和补偿,提高测量系统的精度。本文以单色 LED 红外光源纸张水分测量系统为背景,综合处理不同物理机制的各种外界因素变化对单色红外 LED 器件的发射功率的影响。该方法可以解决纸张水分测量技术的瓶颈问题,提高其测量精度。

目前,国内造纸行业一般采用卤素灯光源纸张水分测量仪。卤素灯光源需要通过滤光片来输出测量纸张水分所需的红外线,其发光过程中红外线的产生效率很低,影响了仪器测量的准确性。为了获得更高强度的红外线就必须提高卤素灯的功率,同时附加大量其他装置维持其正常工作[1-4]。本研究中采用以单色 LED 红外光源作为红外水分仪最重要的核心部分,提高了测量用红外线的产生效率,同时采用生物地理学优化算法进行多参量系统优化,直接确定最佳参量条件。该方法极大地简化了设备结构且使用便捷[5]。

2 单色红外 LED 器件最佳参数

2.1 最佳功率模型

实验中采用俄罗斯进口单色红外 LED 器件,该器件是少量定做产品。在水分测量仪的应用实验中,通过实验数据确定最佳参数,使其达到最佳输出功率,提高水分仪的测量精度,并为后续应用时选择最佳参数提供坚实的理论基础。

根据实验测量结果,结合测量系统中各物理量的物理意义及关系,可以进行曲线拟合来确定纸张水分测量系统输出结果的基本数学模型。测量系统输出功率由输出电压读取,是测量纸张水分的最终读取结果,是测量系统的各个关键参数的最优值确定的基本依据。因此,确定测量系统输出电压与测量系统各主要输入参量的数据关系,是测量实验与物理意义相吻合的重要依据。系统输出电压与输出光强成正比,可以作为输出光强的结果度量,该结果与测量系统输入光脉冲的基本参量有关,也与输入光探头与待测纸面间的距离有关。而测量系统输入光脉冲的强度与输入电流成正比,光脉冲的频率与输入频率相当。因此,测量系统最佳功率模型由 3 个最佳参数决定,分别为最佳供电电流、最佳工作距离及最佳供电频率。结合介质光吸收的基本物理过程与实验测量数据,构架本实验中的基本数学模型如下[6]:

$$U = a_1 I \cdot f^2 \cdot \mathrm{e}^{-(a_2 l + a_3 f)}, \tag{1}$$

其中,U 为测量系统输出电压,I 为测量系统输入电流,f 为输入频率,l 为输入光探头与待测纸面间的距离;a_1 为测量系统输入电流的影响系数,a_2 为输入光探头与待测纸面间的距离的影响系数,a_3 为输入频率的影响系数。根据光吸收基本原理,系统输出光强应与输入光强成正比,U 与 I 的正比关系符合该原理;根据光衰减基本原理,系统输出光强应与光线衰减距离呈负指数关系,U 与 l 的负指数关系符合该原理;系统输出光强与输入光脉冲频率的关系较为复杂,依据实验数据拟合结果,可以基本确定二者关系。式(1)即为最佳功率选择的依据。

2.2 最佳功率算法

本研究将应用生物地理学优化算法对单色红外 LED 器件的功率进行优化,进而确定最佳功率。生物地理学优化算法(Biogeography-Based Optimization,BBO)为一种新型基于群体的随机搜索算法,它主要通过迁移和变异算子对群体实行进化。在 BBO 中,将物种的栖息地对应优化个体,栖息地的适应指数(Habitat suitability index,HIS)对应个体的适应度值,将适应指数变量(Suitability index variables,SIVs)对应个体的变量。HIS 较高的栖息地,即为优秀的个体。基于每个个体的适应度值排序定义其包含的物种数目 k,根据物种数 k 获得个体的迁入率 λ_k 和迁出率 μ_k[7-8]为:

$$\lambda_k = I\left(1 - \frac{k}{S_{\max}}\right), \tag{2}$$

$$\mu_k = \frac{Ek}{S_{\max}}, \tag{3}$$

其中,$S_{\max}$ 为所有个体对应物种数目的最大值,I 和 E 分别为最大的迁入和迁出率。当个体适应度值较大时,即优秀的个体,包含的物种数目 k 较多,进而个体的迁入率较小,而迁出率较大,它将提供优秀的个体变量(SIVs)与其他迁入率较大的个体进行共享,来提高这些个体的适应度值,使其向优秀个体转化。

随着物种的不断迁移,各栖息地的物种数将不断地变化,在时间 t 到 $t + \Delta t$ 内物种计数概率 P_s 的变化率为

$$P_s = \begin{cases} -(\lambda_s + \mu_s)P_s + \mu_{s+1}P_{s+1}, & S = 0 \\ -(\lambda_s + \mu_s)P_s + \lambda_{s-1}P_{s-1} + \mu_{s+1}P_{s+1}, & 1 \leqslant S < S_{\max} - 1, \\ -(\lambda_s + \mu_s)P_s + \lambda_{s-1}P_{s-1}, & S = S_{\max} \end{cases} \tag{4}$$

当栖息地物种数目等于 $S_{\max}$ 时，各栖息地计数概率 P_s 是一个关于平衡点（$\lambda = E$时对应的点）对称的函数，两侧个体存在的概率都很小，即有更多的可能性向优秀个体转化。以此为基础，设计变异率 m_i 为

$$m_i = P_{\text{mute}}\left(1 - \frac{P_i}{P_{\max}}\right), \tag{5}$$

当个体计数概率 P_i 较小时，变异率较大，使其可能变异成适应度较高的个体。相反地，对于计数概率较大的个体，则有很小的机会突变到其他个体，从而保存优秀个体，确保了群体的收敛性。

3　最佳功率算法仿真计算与分析

利用生物地理学优化算法的优化途径可以对单色红外 LED 器件最佳功率进行优化计算。生物地理学优化算法通过优化设置诸多适应指数变量 SIVs，对栖息适应指数 HIS 进行优化，该优化算法完全可以移植到单色红外 LED 器件最佳功率的优化过程中。单色红外 LED 器件最佳功率可视为 HIS 指数，可以由供电电流、工作距离及供电频率 3 个 SIVs 指数进行优化。计算值设置如下：物种数量 100，最大迁入率和迁出率 $E = I = 1$，迭代终止值 100，$F = 0.5$，$CR = 0.5$。由 BBO 算法获得的最大功率仿真结果如图 1 所示。可以看出，BBO 算法可以在 30 次迭代中获得输出最大功率，这表明 BBO 算法对于解决单色红外 LED 器件最佳功率优化问题是有效的。

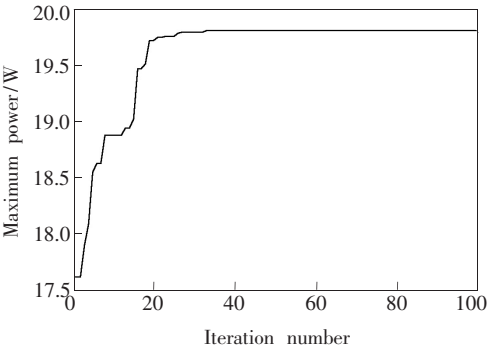

图 1　BBO 算法最大功率仿真结果

Fig. 1　Maximum power obtained by BBO/DE

4　实验结果

通过实验数据的代入并计算确定输出电压在测量灵敏度最高状态下的系统影响系数应为 $a_1 = 13\ 306.32$，$a_2 = 0.001\ 3$，$a_3 = 0.011\ 4$，该模型边界条件为 $l = 5 \sim 75$ mm；$f = 0.3 \sim 1.5$ kHz；$I = 20 \sim 200$ mA。通过最佳功率算法并将模型边界条件代入计算，可确定纸张水分测量系统最佳输入参数应为 $f = 345$ Hz，$I = 200$ mA，$l = 13.0$ mm。该结果与该模型边界条件基本吻合，可以说明为实现高灵敏度测量，本实验所确定的测量系统输入参数值基本合理。

实验中，单色红外 LED 发出的单色红外光经过照射到被测纸张后，由硫化铅探测器测量其透射光强度，后经信号放大及数据处理系统计算得出被测纸张的水分含量。为确保纸张水分传输特性的精度，实验中制作出不同含水量的纸样，然后用称重法对其标定。实验数据如表 1 所示。

表 1　样品测量数据

Tab. 1　Sample measuring data

70 g Paper	Scale water proportion/%	Measure water proportion/%	Measure water proportion/%	Measure water proportion/%	Measure mean value of water proportion/%	Deviation σ/%
1	3	3.12	3.18	3.15	3.15	0.15
2	4	4.20	4.06	4.16	4.14	0.14
3	5	5.28	5.15	5.20	5.21	0.21
4	6	6.14	6.36	6.21	6.24	0.24
6	7	6.95	6.72	6.80	6.82	-0.18
7	8	7.91	7.96	7.93	7.93	-0.07
8	9	9.21	9.18	9.24	9.21	0.21

表1(续)

70 g Paper	Scale water proportion/%	Measure water proportion/%	Measure water proportion/%	Measure water proportion/%	Measure mean value of water proportion/%	Deviation σ/%
9	10	10.33	10.25	10.10	10.23	0.23
10	11	10.63	11.01	10.90	10.85	-0.15
11	12	11.25	11.93	12.10	11.76	-0.24
12	10	10.36	9.98	10.40	10.25	0.25
13	11	11.18	10.62	10.90	10.9	-0.10
14	12	11.47	11.98	11.82	11.76	-0.24
15	13	12.92	12.55	12.89	12.78	-0.22
16	14	13.27	14.23	13.92	13.81	-0.19
17	15	14.81	15.11	14.98	14.97	-0.03
18	16	16.13	16.20	16.28	16.20	0.20
19	17	16.81	17.40	17.01	17.07	0.07
20	18	18.14	18.06	17.82	18.01	0.01
21	19	19.54	18.63	18.72	18.96	-0.04
22	20	19.87	19.70	19.91	19.82	-0.18
23	21	20.76	20.93	20.82	20.84	-0.16
24	22	21.55	21.90	21.80	21.75	-0.25
25	23	22.81	22.83	22.62	22.75	-0.25
26	24	23.68	23.79	23.86	23.78	-0.22

5 结 论

应用本文提出的生物地理学数学模型,能够确定诸多环境因素对单色红外 LED 器件探测性能的影响。将模型中各变量与优化算法中的量相对应,能够实现对多种非线性、非平稳参量的统一优化,可以用于处理各种以红外 LED 器件为核心的测量系统的精度问题。此外,该方法可以推广到其他光电器件,可以用于多个光电器件最佳参数的确定,也可以用于在线检测其他各种薄膜类介质的生产过程。

参 考 文 献:

[1] 王曙光, 唐浩漾. 一种智能纸张厚度计设计[J]. 传感器与微系统, 2015, 4(4):72-74.
WANG S G, TANG H Y. A smart paper thickness gauge design [J]. *Sens. Microsystems*, 2015, 4(4):72-74. (in Chinese)

[2] 邱国平. 检测纸张物理性质时试样处理与试验的环境要求[J]. 纸和造纸, 2016, 35(2):36-38.
QIU G P. Environmental requirements for the handling and testing of specimens when testing the physical properties of the paper [J]. *Paper and Papermaking*, 2016, 35(2):36-38. (in Chinese)

[3] 李玲玲, 柴欣生, 田迎新, 等. 样品预处理结合红外光谱分析鉴定纸张中的硫酸钡[J]. 中国造纸, 2015, 34(4):39-42.
LI L L, CHAI X S, TIAN Y X, *et al.*. Sample pretreatment combined with infrared spectroscopy to identify barium sulphate in paper [J]. *Chin. Papermaking*, 2015, 34(4):39-42. (in Chinese)

[4] 陈全民, 查凌枫, 张建东. TFD-2 纸张手印快速显现系统的实验研究[J]. 中国刑警学院学报, 2016, 1(1):52-54.
CHEN Q M, CHA L F, ZHANG J D. TFD-2 experimental research on quick display system of paper fingerprints [J]. *J. China Crimin. Police College*, 2016, 1(1):52-54. (in Chinese)

[5] 莫长涛, 邰帅, 苏海林. 使用近红外光 LED 光源测量塑料薄膜的厚度[J]. 物理实验, 2016, 36(1):9-13.

MO C T, HUAN S, SU H L. Measure the thickness of the plastic film using a near-infrared LED light source [J]. *Phys. Experim.*, 2016, 36(1):9-13. (in Chinese)

[6] 郇帅，莫长涛. 红外纸张厚度测量中参数选取的模型研究 [J]. 哈尔滨商业大学校报(自然科学版), 2017, 33(4):430-434.
HUAN S, MO C T. Study on paraer selection of infrared paper thickness measurement [J]. *J. Harbin Univ. Commerce (Nat. Sci. Ed.)*, 2017, 33(4):430-434. (in Chinese)

[7] 姜尧志. 水文频率参数估计的生物地理学优化算法 [J]. 人民珠江, 2015, 36(6):55-57.
JIANG Y Z. Biogeography optimization algorithm for hydrological frequency parameter estimation [J]. *Pearl River of The People*, 2015, 36(6):55-57. (in Chinese)

[8] 张新明，尹欣欣，冯梦清，等. 改进的生物地理学算法及其在图像分割中的应用 [J]. 电光与控制, 2015, 22(12):24-28.
ZHANG X M, YIN X X, FENG M Q, *et al.*. Improved biogeography algorithm and its application in image segmentation [J]. *Electro-opt. Control*, 2015, 22(12):24-28. (in Chinese)

莫长涛(1964 -),男,吉林永吉人,博士,教授,2005 年于哈尔滨商业大学获得博士学位,主要从事光电技术和传感器技术的研究。
E-mail: mochangtao@aliyun.com

王光明(1980 -),男,黑龙江哈尔滨人,博士,讲师,2012 年于哈尔滨商业大学获得博士学位,主要从事物理电子学的研究。
E-mail: 734506394@qq.com