

文章编号: 1001-3806(2015)06-0751-05

# 基于图像处理技术的激光直写导光板网点设计

张 惜, 刘晓东\*

(华中科技大学 光学与电子信息学院, 武汉 430074)

**摘要:** 为了快速高效地设计出输出表面照度均匀的导光板, 采用了基于灰度图像处理技术的导光板网点设计方法, 并利用 TracePro 光学模拟软件对 2 个 LED 单边入射的模型进行了理论分析和模拟验证, 取得了模拟导光板表面照度值。结果表明, 此方法设计的导光板输出照度均匀度可达 86.7%, 符合国际照明委员会(CIE)标准, 经局部修改后均匀度可进一步提高到 91.9%。该方法能够有效地设计出表面照度均匀的导光板。

**关键词:** 激光技术; 导光板; 图像处理技术; 散射网点

中图分类号: TN249 文献标志码: A doi:10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2015.06.004

## Design of net dots in laser direct writing light guide plate based on image processing technique

ZHANG Xi, LIU Xiaodong

(Department of Optical and Electronic Information, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** In order to obtain light guide plate(LGP) with uniform surface illumination efficiently, using the design method based on gray image processing technique and using TracePro software, the model with two unilateral incident light-emitting diodes was analyzed theoretically and verified by simulation. Simulation data of output surface illumination was obtained. The results show that LGP designed by the method presented in this paper can reach 86.7% of illumination uniformity, conforming to the standard of Commission Internationale de l'Éclairage. The illumination uniformity can improved to 91.9% after modifying the gray image locally. This study is helpful for the design of LGP with high illumination uniformity more effectively.

**Key words:** laser technique; light guide plate; image processing technology; scattering netted dots

### 引 言

液晶显示器(liquid crystal display, LCD)由于其辐射低、耗电少、体积小等优良特性逐渐取代了阴极射线管显示器, 成为显示市场的主流。导光板(light guide plate, LGP)作为液晶显示器的重要组件, 对液晶显示器的亮度及均匀度起着决定性的作用<sup>[1]</sup>。导光板基于光学全反射原理, 利用在聚甲基丙烯酸甲酯(polymethyl methacrylate, PMMA)材料上加工的散射网点改变光的传播方向, 实现将从导光板侧面入射的点光源或线光源转化为从正面垂直出射的面光源<sup>[2]</sup>。网点的分布直接影响着出射光的亮度和均匀度<sup>[3-4]</sup>。因此, 优化的散射网点分布算法对于提高 LCD 的亮度和均匀度具有重要的作用。

目前, 导光板散射网点分布算法分为两类: 一类是

规则分布; 一类是乱数分布<sup>[5]</sup>。规则分布按特定的行列分布规律生成散射网点, 设计过程简单易行, 但此种方法设计的导光板很难克服摩尔条纹的问题。乱数分布法形成的散射网点的分布没有特定的规律。目前常用的乱数分布算法为斥力缓和法, 该方法先将整个导光板依据亮度分布划分成多个小区域, 每个小区域的散射网点密度与该区域处的亮度值成反比, 生成初步的散射网点分布模型后再利用斥力缓和法消除散射网点的簇拥现象<sup>[6]</sup>。此种方法需要以每一个网点为中心进行一次斥力缓和操作, 计算量大、效率低、实现困难, 并且容易形成“边界效应”。本文中提出基于灰度图像处理技术的激光直写导光板网点设计方法, 不仅能简便地生成和局部修改网点分布, 而且有效地克服了莫尔条纹和“边界效应”。

### 1 网点填充率函数

为反应导光板网点的分布规律, 引入网点填充率函数  $f(x, y) = s(x, y)/d^2$ , 其中  $s(x, y)$  为  $(x, y)$  处一个散射网点的面积,  $d^2$  为网格面积<sup>[7]</sup>。以两个发光二极管(light-emitting diode, LED)点光源侧背光为例, 建

作者简介: 张 惜(1988-), 女, 硕士研究生, 现从事激光加工制造技术方面的研究。

\* 通讯联系人。E-mail: lxdwuhan888@163.com

收稿日期: 2014-09-12; 收到修改稿日期: 2014-11-03

立模型,如图 1 所示。

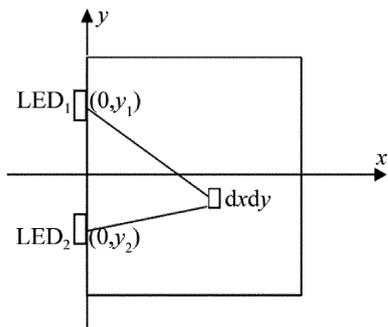


Fig. 1 Model of two-LED edge-light

设导光板的出射光亮度为恒定值  $B$ , 则通过微元  $dx dy$  后, 光通量的变化  $d\varphi(x, y)$  为:

$$d\varphi(x, y) = -B dx dy \quad (1)$$

对(1)式积分得:

$$\varphi(x, y) = - \iint B dx dy \quad (2)$$

由分析知, 通过导光板  $(x, y)$  处截面  $A$  的传导光通量越大、 $(x, y)$  处散射网点越密集, 则导光板出射面的出射光通量越大、亮度越高。因此可知,  $B$  正比于光通量函数  $\varphi(x, y)$  及网点分布律函数  $f(x, y)$ , 即:

$$B = k k_1 \varphi(x, y) f(x, y) \quad (3)$$

式中,  $k$  表示导光板出射面光亮度与下表面光亮度的比例系数,  $k_1$  表示导光板下表面光亮度与  $\varphi(x, y) f(x, y)$  的比例系数。

由(1)式~(3)式得:

$$f(x, y) = \frac{1}{a - b \left| \sqrt{x^2 + (y_1 - y)^2} + \sqrt{x^2 + (y_2 - y)^2} \right|} \quad (4)$$

当光源、导光板结构以及导光板输出光亮度  $B$  一定时,  $a$  和  $b$  均为确定的值。由(4)式可知, 为得到均匀恒定的输出光亮度, 离光源越远导光板网点填充率函数越大, 散射网点越密集, 这与实际情况是相符的。实际中, 光线在导光板中传播的过程中不断被散射网点散射而输出, 使得在导光板中传播的光通量不断减小, 因此需要增加散射网点的数目, 才能保证输出光通量的恒定。

(4)式可扩展为  $n$  个 LED 单边侧入射的情况:

$$f(x, y) = \frac{1}{a - b \left| \sum_{i=0}^n \sqrt{x^2 + (y_i - y)^2} \right|} \quad (5)$$

式中,  $a$  和  $b$  为与光源、导光板结构以及导光板输出光亮度  $B$  有关的常量,  $y_i$  为第  $i$  个 LED 的  $y$  坐标。当  $n$  值较大时, 可近似为线光源单边侧入射, 此时  $y$  方向上网点分布均匀, 只需考虑  $x$  方向:

$$f(x, y) = 1/a - bx \quad (6)$$

## 2 基于灰度图像处理技术的激光直写导光板网点设计算法

现有的导光板网点设计算法——均匀分布法和斥力缓和法, 都是以单个网点为处理对象进行设计及微调, 因此算法的效率低、执行时间长, 并且容易出现网点交叠的情况。与现有算法不同, 本文中所提出的基于灰度图像处理技术的网点设计算法, 将反映网点分布规律的密度函数值矩阵视为计算机中存储的一幅数字图像, 并以整幅图像为处理对象, 利用数字半色调技术, 将网点分布对应于二值图像中的 0 值分布<sup>[8-9]</sup>。本算法首先利用导光板网点填充率函数理论公式绘制灰度图, 然后利用数字半色调技术将所得多灰度图像二值化, 即可获得导光板网点分布。具体步骤如下:

(1) 在导光板对应区域内均匀选取  $K \times L$  个点, 将每一个点的坐标值  $(x, y)$  代入(4)式, 并将函数值存于  $K \times L$  阶矩阵  $Z$  中。

(2) 设定一个 256 级的灰度表, 并将  $\min(Z(i, j))$  与灰度值 0 对应,  $\max(Z(i, j))$  与灰度值 255 对应, 则  $\min(Z(i, j)) < Z(i, j) < \max(Z(i, j)) (i = 0:K, j = 0:L)$  依次与 0 ~ 255 之间的灰度值对应, 由此得到的矩阵表现为一幅 256 级的灰度图像, 如图 2 所示, 每个像素点处图像灰度值的大小直接反映导光板相应位置处网点密度的大小。图 2a 为(4)式所对应的灰度图, 图中每一个网格中点的网点填充率函数值代表该网格中网点的分布情况。为便于图像局部修改及二值化, 需要将图 2a 做平滑处理得到图 2b, 图 2b 从整体上反映了网点的分布规律。

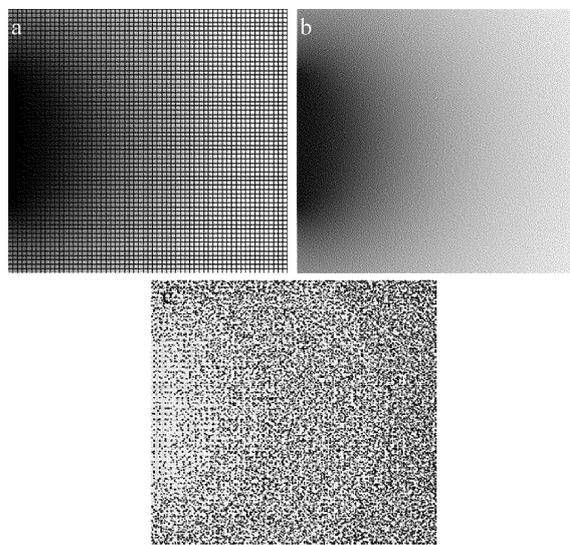


Fig. 2 Gray-scale image of net dot filling ratio function

a—original image b—smooth processing c—digital halftone processing

(3) 将图 2b 二值化得到图 2c。对于只有 0 和 1 二值的黑白图像, 可以通过黑点(0 值)的浓密来体现

多级灰度图像的不同灰度值。在相同大小网格内黑点(0 值)越密集,从视觉上表现出来灰度值越小,黑点越稀疏表现出来的灰度值越大<sup>[10]</sup>。由网点分布律函数值与灰度值的对应关系可知,黑点(0 值)的分布规律对应于网点的分布规律,所有 0 值的位置即为需要加工网点的位置,用 0,1 二值控制激光器的开、关两态,即可实现导光板的直写<sup>[11]</sup>。

在 TracePro 光学模拟软件中建立 LED 光源及导光板模型,将网点分布数据输入模型,并进行光线追迹得导光板输出照度分布图<sup>[12]</sup>。图 3 为均匀网点分布的导光板输出表面照度分布图,图 4 为本文中方法设计的网点分布的导光板输出表面照度图。定义照度均匀度为最小照度与平均照度的比值。基于图 3 采用 16 点测量法可得一组数据: $8.2 \times 10^6 \text{ lux}$ ,  $7.4 \times 10^6 \text{ lux}$ ,  $5.0 \times 10^6 \text{ lux}$ ,  $7.8 \times 10^6 \text{ lux}$ ,  $4.9 \times 10^6 \text{ lux}$ ,  $8.0 \times 10^6 \text{ lux}$ ,  $12.2 \times 10^6 \text{ lux}$ ,  $9.4 \times 10^6 \text{ lux}$ ,  $7.1 \times 10^6 \text{ lux}$ ,  $5.5 \times 10^6 \text{ lux}$ ,  $7.0 \times 10^6 \text{ lux}$ ,  $8.5 \times 10^6 \text{ lux}$ ,  $7.0 \times 10^6 \text{ lux}$ ,  $6.0 \times 10^6 \text{ lux}$ ,  $7.2 \times 10^6 \text{ lux}$ ,  $8.5 \times 10^6 \text{ lux}$ , 其平均值为  $7.5 \times 10^6 \text{ lux}$ , 照度均匀度为 65.3%。基于图 4 采用 16 点测量法可得一组数据: $3.1 \times 10^7 \text{ lux}$ ,  $3.2 \times 10^7 \text{ lux}$ ,  $3.7 \times 10^7 \text{ lux}$ ,  $3.4 \times 10^7 \text{ lux}$ ,  $2.8 \times 10^7 \text{ lux}$ ,  $2.6 \times 10^7 \text{ lux}$ ,  $3.0 \times 10^7 \text{ lux}$ ,  $3.1 \times 10^7 \text{ lux}$ ,  $3.1 \times 10^7 \text{ lux}$ ,  $3.0 \times 10^7 \text{ lux}$ ,  $2.9 \times 10^7 \text{ lux}$ ,  $3.1 \times 10^7 \text{ lux}$ ,  $3.1 \times 10^7 \text{ lux}$ ,  $2.8 \times 10^7 \text{ lux}$ ,  $2.9 \times 10^7 \text{ lux}$ ,

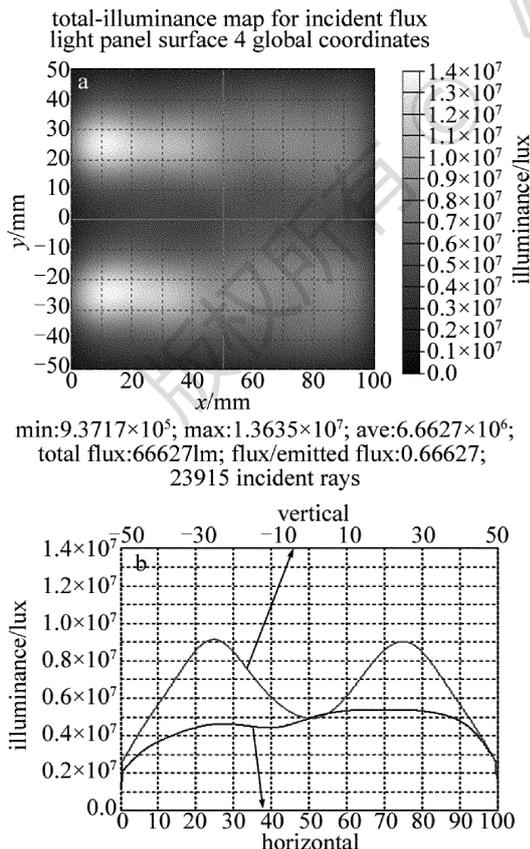


Fig. 3 Diagram of LGP's output surface with net dots distributed evenly

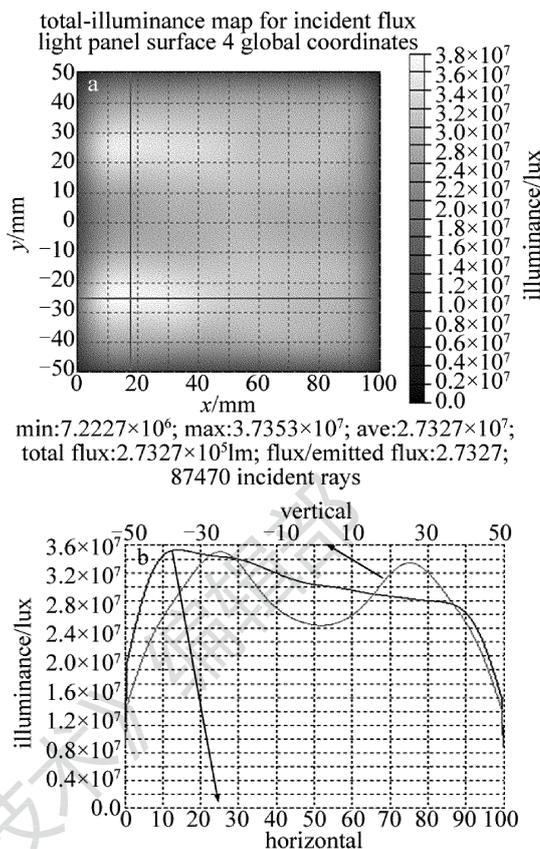


Fig. 4 Diagram of LGP's output surface with net dots designed by the method based on digital image processing technique

$3.0 \times 10^7 \text{ lux}$ , 其平均值为  $3.0 \times 10^7 \text{ lux}$ , 照度均匀度为 86.7%。对比图 3 和图 4 可知,由本算法得到的网点分布能够显著改善照度不均匀的现象,根据国际照明委员会标准,照度均匀度大于 80% 及为合格产品<sup>[13]</sup>。

### 3 灰度图像局部修改算法

在对均匀度要求严格的情况下,可通过对图像相应部位进行局部处理以进一步提高照度均匀度。分析图 4 可知,图中照度大于平均值的区域输出的光通量大于平均值,在输入光通量一定的情况下,只能通过减小网点密度来减小输出光通量,对应于图 4b 中相应区域的灰度值应该减小。同理,图 4 中照度值较小的区域,对应于图 4b 中相应区域的灰度值应该增大。由于灰度图像在计算机中表现为整数类型的矩阵,矩阵中的元素值为图像的灰度值,对图像的局部修改即为对矩阵局部元素值的修改<sup>[14]</sup>。为保证修改后图像的平滑性,修改区域从边界到中心要有渐变的过渡。局部修改算法如下:(1)选取需要修改的区域,记录所选区域的横、纵像素值分别为  $M$  和  $N$ ,将所选区域图像存于  $M \times N$  阶矩阵  $T_{M \times N}$  中;(2)建立  $M \times N$  阶矩阵序列  $T_r$  ( $r$  为整数,且  $0 \leq r \leq \frac{1}{2} \min(M, N)$ ),  $T_r$  按如下规律生成: $T_0(i, j) = 1$  ( $i = 1 : M, j = 1 : N$ ),  $T_1(i, j) = 1$  ( $i =$

$2:M-1, j=2:N-1), T_1=0(i, j \text{ 取其它值}), T_r(i, j) = 1(i=r+1:M-r, j=r+1:N-r), T_r(i, j) = 0(i, j \text{ 取其它值})$ 。图 5 为  $6 \times 6$  矩阵的矩阵序列  $T_0 \sim T_3$ ; (3) 运用模板序列  $T_r$  修改选择区域图像  $T$  的灰度值  $T = \sum k_r T_r (k_r \text{ 为常数})$ 。本文中算法不仅可以通过合理设置  $k_r$  的大小来实现灰度值的均匀的过渡, 而且可以通过选择  $k_r$  的正负来控制灰度值的增大和减小, 使得灰度图像的局部修改更加自由<sup>[15-16]</sup>。图 6a 中两黑色矩形区域为利用此算法在图 2b 上选取的与图 4 中照度较大部分相对应的区域, 将其灰度值减小得到图 6b。

$T_0$	1	1	1	1	1	1	$T_1$	0	0	0	0	0	0
	1	1	1	1	1	1		0	1	1	1	1	0
	1	1	1	1	1	1		0	1	1	1	1	0
	1	1	1	1	1	1		0	1	1	1	1	0
	1	1	1	1	1	1		0	1	1	1	1	0
	1	1	1	1	1	1		0	0	0	0	0	0
$T_2$	0	0	0	0	0	0	$T_3$	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
	0	0	1	1	0	0		0	0	0	0	0	0
	0	0	1	1	0	0		0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0

Fig. 5 Matrix sequence of  $6 \times 6$

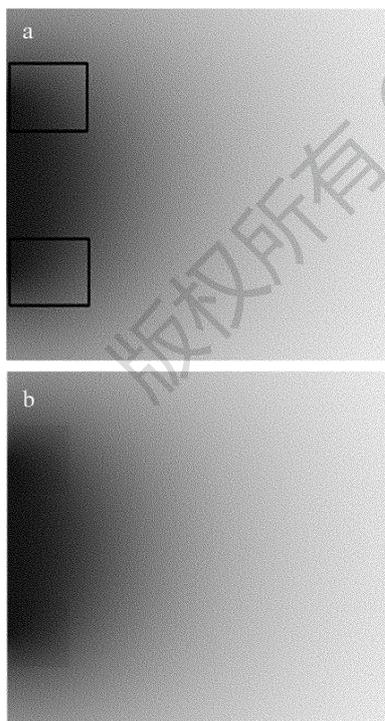


Fig. 6 Local modification figure of gray-scale image  
a—local selection b—local modification

将图 6b 中二值化得到的网点分布数据代入 TracePro 软件, 在相同的 LED 及导光板模型条件下, 模拟

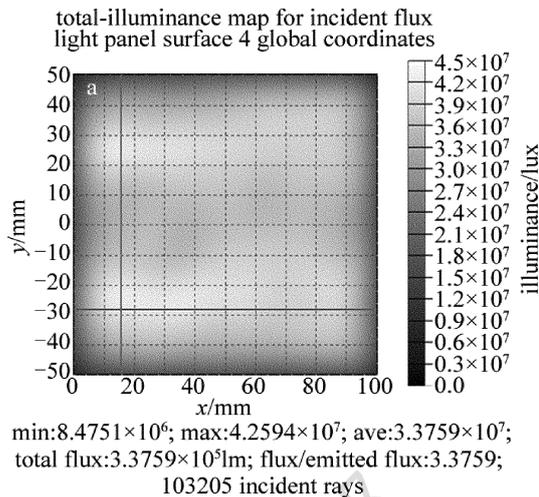


Fig. 7 Diagram of LGP's output surface after processing locally  
分析得到导光板输出照度, 见图 7。基于图 7, 采用 16 点测量法可得到一组数据:  $3.8 \times 10^7 \text{ lux}, 4.2 \times 10^7 \text{ lux}, 4.0 \times 10^7 \text{ lux}, 3.8 \times 10^7 \text{ lux}, 3.6 \times 10^7 \text{ lux}, 3.7 \times 10^7 \text{ lux}, 3.8 \times 10^7 \text{ lux}, 3.4 \times 10^7 \text{ lux}, 3.5 \times 10^7 \text{ lux}, 3.6 \times 10^7 \text{ lux}, 3.8 \times 10^7 \text{ lux}, 3.7 \times 10^7 \text{ lux}, 4.0 \times 10^7 \text{ lux}, 3.9 \times 10^7 \text{ lux}, 3.7 \times 10^7 \text{ lux}, 3.4 \times 10^7 \text{ lux}$ , 其平均值为  $3.7 \times 10^7 \text{ lux}$ , 照度均匀度为 91.9%。对比分析得, 通过对图像进行局部处理可简单快捷地对输出照度均匀度的进一步提高。

#### 4 结论

基于灰度图像处理技术的激光直写导光板网点设计算法与现有的算法相比, 操作更加简单, 局部修改更加灵活, 所得网点分布的输出照度更加均匀, 并且有效地避免了莫尔条纹和“边界效应”问题。同时二值化后的图像可直接控制激光器的开关, 提高了激光直写导光板的效率。通过 TracePro 模拟测试, 用本文中的算法设计出的导光板能够有效地提高导光板出射的亮度和均匀度。

#### 参考文献

[1] ZHI J J, LIANG M Q, CHEN E Zh, et al. Dot-pattern design of LED light guide plate with single edge lighting[J]. China Illuminating Engineering Journal, 2012, 23(3):60-63 (in Chinese).

- [2] LUO J Zh, CHEN Zh, LI F L, *et al.* Design and simulation analysis of scattering netted dots on edge-lighting flat light guide plate [J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2006, 21(3): 206-213 (in Chinese).
- [3] WANG H X, LI J B. Molding technologies of micro-structure on light guide plate of LCD and trends [J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2012, 27(4): 486-492 (in Chinese).
- [4] PARK S R, OH J K. Grating micro-dot patterned light guide for LED backlights [J]. Optics Express, 2007, 15(16): 2888-2899.
- [5] ZHAO H, FANG S P. Generation of dot patterns for light guides using ANFIS [J]. Infrared and Laser Engineering, 2009, 38(s1): 125-129 (in Chinese).
- [6] KANG M W, GUO K X, LIU Z L, *et al.* Studies on the methods of making dot patterns to distribute appropriately [J]. Journal of Guangzhou University (Natural Science Edition), 2010, 9(2): 25-29 (in Chinese).
- [7] HUANG Ch, JIANG Y S, SHEN Y, *et al.* Design of scattering netted dots on light guide plate of edge-lighting LED backlight [J]. Journal of Applied Optics, 2008, 29(5): 689-692.
- [8] ZHANG H B. Quality evaluation of halftone based on visual perception similarity [J]. Journal of Computer Applications, 2011, 31(10): 2750-2752 (in Chinese).
- [9] KATSAVOUNIDIS I, JAY KUO C C. A multiscale error diffusion technique for digital halftoning [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(3): 483-490.
- [10] WANG Y W. The research of digital halftone [D]. Jilin: Jilin University, 2010: 1-6 (in Chinese).
- [11] LIU Zh C, CAO P. Halftone screening and information bidding algorithm based on the location of dots [J]. Journal of Beijing Information Science and Technology University, 2013, 28(6): 25-28 (in Chinese).
- [12] SHI Y Sh, WEI W J, WANG X F. Optical characteristics of LGP for LCD [J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2007, 22(4): 463-467 (in Chinese).
- [13] JIN P, YE H. The application of lighttools in LED backlights design [J]. Advanced Display, 2010, 109(23): 9-12 (in Chinese).
- [14] QIONG S L, QIU M G. Research and implementation of enhancement algorithm for local image [J]. Value Engineering, 2010, 20(1): 110-111 (in Chinese).
- [15] ZHAO L T, WU T, QIAN Q Q, *et al.* Research on image enhancement method based on local information [J]. Journal of Anqing Teachers College (Natural Science Edition), 2019, 19(4): 59-65 (in Chinese).
- [16] WANG W T, YAN X M, ZENG G P. Coding program design based on interactive selected region of interest [J]. Journal of South-Central University for Nationalities (Natural Science Edition), 2009, 28(3): 92-95 (in Chinese).

《激光技术》编辑部

版权所有 ©