光电技术及应用

DOI：10.16818/j.issn1001－5868.2021.01.024

一种基于灰度倾向加权的 Otsu 目标检测法

郭冠峥[1,2]，廖钦楷[1,2]，林志贤[1,2,3*]，林珊玲[2,3]，郭太良[1,2]

（1. 福州大学 物理与信息工程学院，福州 350116；2. 中国福建光电信息科学与技术创新实验室，福州 350116；
3. 福州大学 先进制造学院，福建 泉州 362200）

摘　要： 通过引入灰度倾向参数和梯度谷值系数，提出一种改进的灰度倾向谷强调（GPVE）目标检测方法。灰度倾向参数使阈值更靠近目标灰度，梯度谷值系数使得阈值更靠近波谷。GPVE 法在单双峰情况下都能得到理想的阈值。实验结果表明：Otsu，VE，NVE，WOV 等方法分割得到的平均分割误差 ME 值都在 0.2 以上，而所提方法的 ME 值仅为 0.007，采用该方法提高了图像分割的准确度，分割效果优于 Otsu，VE，NVE，WOV 等方法。

关键词： 电润湿；图像分割；自动阈值；Otsu；梯度谷强调

中图分类号： TP391.41　**文章编号：** 1001－5868(2021)01－0132－04

An Improved Otsu Object Detection Method Based on Grayscale Preference Weighted

GUO Guanzheng[1,2], LIAO Qinkai[1,2], LIN Zhixian[1,2,3], LIN Shanling[2,3], GUO Tailiang[1,2]

（1. College of Physics and Information Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350116, CHN;
2. Fujian Science & Technology Innovation Laboratory for Optoelectronic Information of China, Fuzhou 350116, CHN;
3. School of Advanced Manufaturing, Fuzhou University, Quanzhou 362200, CHN）

Abstract: By introducing grayscale preference parameters and gradient valley coefficients, an improved grayscale preference valley emphasis (GPVE) method is proposed. The grayscale preference parameter makes the threshold show a tendency to approach the object gradation, and the gradient valley coefficient makes the threshold closer to the valley. GPVE method can achieve an ideal threshold when the histogram is unimodal and bimodal. The experimental results show that the average segmentation error ME value obtained by Otsu, VE, NVE, WOV and other methods is above 0.2, while the ME value of the proposed method is only 0.007. Thus the proposed GPVE method improves the accuracy of image segmentation and realizes a better segmentation effect.

Key words: electrowetting; defect segmentation; automatic threshold; Otsu; grayscale preference valley emphasis

0　引言

近些年，电润湿[1]作为一种新型的显示技术开始崭露头角。电润湿显示器是一种电子纸显示器[2]，研究人员对其进行了大量的研究[3-8]。像素开口率是描述油墨运动规律的重要指标之一，能够在一定程度上反映电润湿的显示性能。为了获得更准确的像素开口率，以更真实地反映油墨的运动规律，常采用自动阈值[9]的方法，将电润湿图像的油墨从背景中分割出来。Otsu[10]是常用的全局阈值方法[11]，但是在目标和背景尺寸相差很大时，灰度直方图会呈现单峰状态，容易导致 Otsu 算法处理失败[12]。为了接近期望阈值，Ng[13]提出了一种改进

收稿日期：2020－10－28.

基金项目：国家重点研发计划项目(2016YFB0401503)；广东省科技重大专项项目(2016B090906001)；广东省光信息材料与技术重点实验室开放基金项目(2017B030301007)；福建省自然科学基金项目(2020J01468).

* **通信作者：**林志贤　**E-mail：**lzx2005000@163.com

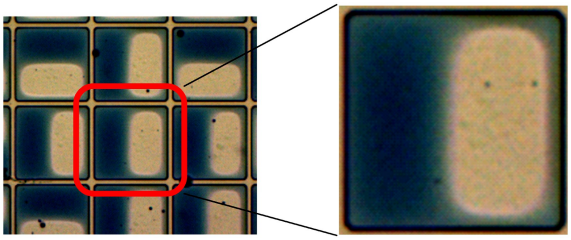
的 Otsu 方法，即谷点强调（VE）。但此方法对于目标与背景方差差距很大的图像，则不能成功地分割。针对该问题，Fan 等[14]提出了一种改进的 VE 方法，称为邻域谷强调（NVE），利用谷点的邻域信息进一步提高分割质量。

电润湿器件在工作时油墨存在一个动态变化的过程，图像的灰度直方图也存在单峰分布和双峰分布的变化。Otsu 和 VE 法在双峰情况下分割效果较好，但是单峰情况时效果不理想。而对于一些在单峰情况下能够得到不错效果的缺陷检测算法[12,15-16]，在处理双峰时阈值通常偏离谷值。对于目标区域存在动态变化的情况，需要有一种方法能够在单双峰情况下得到令人满意的阈值。

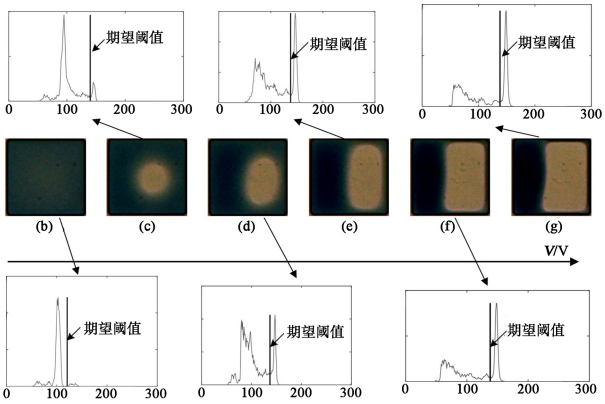
因此，本文提出一种改进的最大类间方差法，称之为灰度倾向谷强调（GPVE），该方法能够适应动态的电润湿像素图像，在单双峰情况下选择出较好的阈值，在其他的应用场景下也能得到不错的分割效果。

1　电润湿像素阈值选择

图 1 所示为电润湿像素在不同电压下的状态。图 1(a)为电润湿像素中油墨平铺状态时的图片。图 1(b)到图 1(g)为电压逐渐增大后油墨的状态以及对应的直方图和期望阈值。图 1(b)是电润湿像素为“关”的状态，油墨平铺在基板上，直方图呈现单峰。此时开口率为 0，所以此时期望阈值在峰的右边。图 1(c)到图 1(g)油墨逐渐收缩，开口率逐渐增大，直方图从单峰转变成双峰。由于背景基板颜色是固定不变的，灰度跨度较小，所以双峰时期望阈值应紧靠在第二个峰的左下边缘。



(a)　电润湿像素图片



(b)-(g)　不同电压下的电润湿状态及对应的灰度曲线图

图 1　电润湿像素在不同电压下的状态

2　Otsu 及其他改进方法

2.1　Otsu

Otsu 算法采用最大类间方差法计算分割阈值 T，公式为

$$\sigma_B^2(t)=p_1(t)p_2(t)(\mu_2(t)-\mu_1(t))^2 \quad (1)$$

其中，$p_1(t)$和 $p_2(t)$分别为目标和背景中灰度为 t 的像素点出现的概率，$\mu_1(t)$和 $\mu_2(t)$分别为目标和背景的平均灰度。使 $\sigma_B^2(t)$取得最大值时的 t 即为分割阈值 T。

文献[17]给出类间方差的快速算法：

$$\sigma_B^2(t)=p_1(t)(\mu_1(t))^2+p_2(t)(\mu_2(t))^2 \quad (2)$$

Otsu 方法的最佳阈值 T_{max} 可以确定为

$$T_{max}=\mathrm{argmax}_{0<t<L}(\sigma_B^2(t)) \quad (3)$$

2.2　VE 和 NVE

为了解决 Otsu 法在单峰时分割效果差的问题，Ng[16]提出了谷强调（VE）法，该方法在式(2)前加入了谷值系数 $1-p(t)$，使得阈值趋向波谷。邻域谷强调（NVE）法是在谷强调法的基础上进行改进，该方法考虑了谷点周围的邻域灰度信息，进一步提高了阈值趋向波谷的概率。VE 及 NVE 在双峰情况下有不错的分割效果，但在处理目标与背景对比度较低的图像时分割效果不理想。

3　本文提出的改进方法

为了改进 Otsu 倾向度单一的缺点，使分割结果接近期望阈值，本文引入倾向度参数作为权值。图 2 中，Otsu 方法的阈值在峰的左边，改进后的阈值应在峰值右边，因此权值应满足在峰的左边时较小，在峰的右边时增大。从图 2 中可以看到，灰度 t 出现的概率累积函数 $p_1(t)=\sum_{i=0}^{t}p(i)$ 过峰前像素发生的累积量低，过峰后增高，符合要求的权重的变化规律，因此本文采用 $p_1(t)$作为倾向度参数。

对于使阈值有往右移动的趋势的权值 $p_1(t)$，将其称为高灰度倾向参数。反之，使阈值有往左移动的趋势的权值，称为低灰度倾向参数。低灰度倾

向参数与 $p_1(t)$有相反的变化规律,因此我们将低灰度倾向参数设为 $1-p_1(t)$,即 $p_2(t)$。

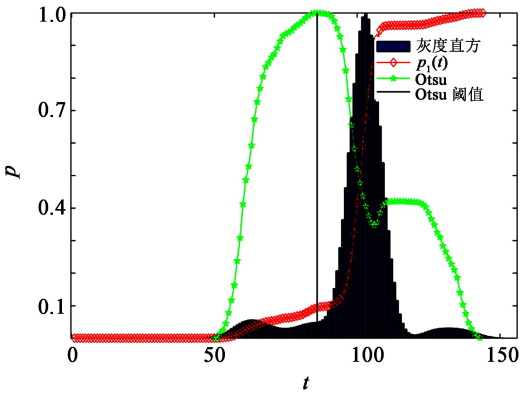


图 2 归一化后的函数曲线图

但是,在背景和目标灰度都很接近 0 或者 255 的极端情况下,需要有更强的灰度倾向。增强灰度倾向需要拉大峰值左右两边的权值差异,因此将权值进行指数运算,引入高倾向度系数 α,高灰度倾向参数变为 $p_1(t)^{\alpha}$,α 值越大,说明对高灰度目标倾向度越高,阈值将越靠近高灰度目标。同样,引入低倾向度系数 β,低灰度倾向参数变为 $p_2(t)^{\beta}$。为了保证灰度倾向是确定的,本文规定 α 和 β 不同时变化,且 α 和 β 的初始值为 1。

类与类之间的交界处形成谷值,最佳分割阈值通常在谷值附近,但是加入灰度倾向参数后阈值在单双峰情况下有偏离谷值的趋势。因此,引入倾向参数后,需要再加入谷值系数 k。谷值系数包含灰度直方图的谷值信息,结合 VE 和 NVE 获取谷值信息的方法,本文将谷值系数设定为 $(1-\overline{P}(t))(1-\overline{P}'(t))$。最终改进的公式为

$$k=(1-\overline{P}(t))(1-\overline{P}'(t)) \tag{4}$$

$$G_B^2(t)=kp_1(t)^{\alpha}p_2(t)^{\beta}(\mu_1(t)-\mu_2(t))^2 \tag{5}$$

其中,

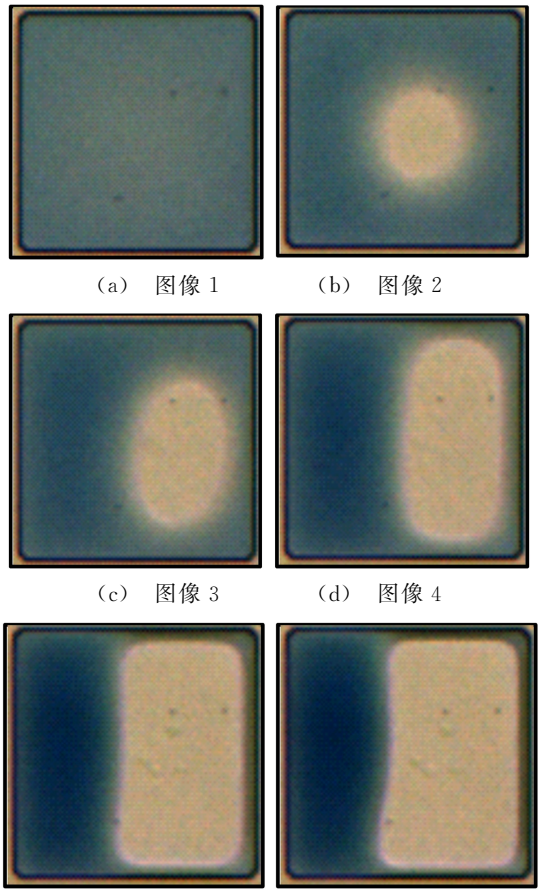
$$\overline{P}(t)=\frac{P_{\max}-P(t)}{P_{\max}-P_{\min}} \tag{6}$$

$$\overline{P}'(t)=\frac{P'_{\max}-P'(t)}{P'_{\max}-P'_{\min}}=\frac{\overline{P'^{(n)}_{\max}}-\overline{P'^{(n)}}(t)}{\overline{P'^{(n)}_{\max}}-\overline{P'^{(n)}_{\min}}} \tag{7}$$

式中,$\overline{P}^{(n)}_{\max}=\max_{0<t<L}\overline{P}^{(n)}(t)$,$\overline{P}^{(n)}_{\min}=\min_{0<t<L}\overline{P}^{(n)}(t)$,$P'(t)=|p(t+1)-p(t)|$,$\overline{P'^{(n)}_{\max}}=\max_{0<t<L}\overline{P'^{(n)}}(t)$,$\overline{P'^{(n)}_{\min}}=\min_{0<t<L}\overline{P'^{(n)}}(t)$。式(6),(7)的实际意义是对灰度曲线进行 n 次 $2a+1$ 点均值处理,获得邻域灰度信息,拉大了谷值与非谷值之间的差距,防止阈值陷入局部最小值,使阈值更靠近谷值。实际应用中,n 与 a 的值通常取 2。

4 实验结果与分析

实验验证本文方法的分割效果,使用一组不同电压下的电润湿像素图片用于测试,如图 3 所示。该组测试图像的灰度直方图包括了单峰和双峰。再通过 ME 对这几种方法进行评估。



(a) 图像 1 (b) 图像 2

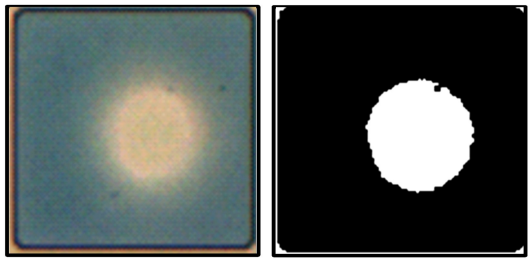
(c) 图像 3 (d) 图像 4

(e) 图像 5 (f) 图像 6

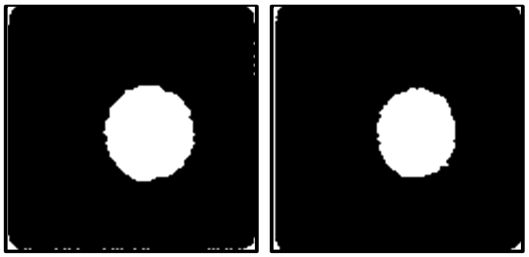
图 3 电润湿像素从关闭到完全打开的 6 幅图像

4.1 倾向系数的取值分析

为了确定合适的倾向系数 α,实验分别测量了倾向参数的指数 $\alpha=2,5,10$ 的分割结果,并选取其中典型的一组进行说明,如图 4 所示。由于油墨颜



(a) 原始图像 (b) $\alpha=2$



(c) $\alpha=5$　　(d) $\alpha=10$

图 4　不同 α 值对图片的分割效果

色较浅，在边缘处油墨与背景的对比度非常低，因此需要较高的灰度倾向。在结果中可以明显看出，当 $\alpha=10$ 时分割结果与实际结果最接近。故选取 $\alpha=10$。

4.2　实验结果

本文采用 ME[18] 对各自动阈值方法性能进行评估。ME 反映的是错误分配给目标或者背景像素的百分比。ME 法可以简单表示为

$$ME=1-\frac{|B_O\cap B_T|+|F_O\cap F_T|}{|B_O|+|F_O|} \quad (8)$$

其中，B_O 和 F_O 分别代表手动阈值化图像背景和图像目标，B_T 和 F_T 分别代表不同方法分割的图像背景和图像目标。对于分割完全正确的图像，ME 值等于 0。ME 的值越大，分割效果越差，当 ME 的值为 1 时，代表此时的分割是完全错误的。

表 1 为使用 5 种不同的自动阈值方法对一组电润湿图像进行处理时的 ME 值。从表 1 中可以看到 WOV 的 ME 值普遍较高，几乎是错误的结果。图像 1 为电润湿像素关闭状态，灰度直方图为单峰，Otsu，VE 在这种情况下的 ME 值都达到了 0.8 以上，处理结果几乎是错误的。而 NVE 尽管在处理单峰情况下的图像有很好的效果，但处理图像 2 时的 ME 值很大。而相较之下，本文方法的 ME 值始终保持在接近 0 的数值，分割准确率较高。

表 1　各方法的 ME 值

实验对象	ME 值				
	Otsu	VE	NVE	WOV	本文方法
图像 1	0.868 5	0.865 2	0.000 3	0.960 0	0.000 5
图像 2	0.129 6	0.109 6	0.914 5	0.914 4	0.014 4
图像 3	0.117 4	0.113 3	0.092 8	0.811 0	0.000 0
图像 4	0.137 0	0.119 1	0.105 9	0.720 6	0.017 2
图像 5	0.096 6	0.079 4	0.067 9	0.605 4	0.005 5
图像 6	0.077 9	0.065 4	0.057 9	0.205 8	0.002 5
平均值	0.237 8	0.225 3	0.206 6	0.702 9	0.006 7

从表 1 数据可知，采用不同方法处理一组电润湿图像的平均 ME 值，其结果相差较大。其中，Otsu，VE，NVE 和 WOV 的平均 ME 值分别为 0.237 8，0.225 3，0.206 6 和 0.702 9，而本文方法的平均 ME 值仅为 0.006 7。因此，对于电润湿像素的图像分割，本文方法是更好的选择。

5　结论

本文提出一种改进的最大类间方差法——灰度倾向谷强调法（Grayscale Preference Valley Emphasis，GPVE）。该方法在类间方差前引入灰度倾向度参数和梯度谷值系数，通过在类间方差前加入灰度倾向权重使得阈值接近目标灰度，又通过梯度谷值系数使得阈值在单双峰情况下更加接近谷值。实验表明，传统的 Otsu 和 VE 在像素灰度呈现单峰情况时分割出现很大的偏差，平均误差 ME 值分别为 0.237 8 和 0.225 3。NVE 方法在像素灰度呈现双峰情况时分割不稳定，平均误差 ME 值为 0.206 6。WOV 方法的阈值则始终偏向深灰度区域，平均误差 ME 值较高，为 0.702 9。而本文提出的方法能够在不同电压状态的电润湿像素下都得到较为准确的阈值，平均误差 ME 值为 0.006 7，误差很小，提高了电润湿像素图像的分割精度。此外，在修改了倾向度系数后，该方法可应用于其他不同的场景。

参考文献：

[1] Ma Y, She P F, Zhang K Y, et al. Dynamic metal-ligand coordination for multicolour and water-jet rewritable paper[J]. Nature Communications, 2018, 9: 8.

[2] Overton, Gail. Kindles and cuttlefish: Biomimetics informs e-paper displays[J]. Laser Focus World, 2012(12): 16-20.

[3] He T, Jin M L, Eijkel J C T, et al. Two-phase microfluidics in electrowetting displays and its effect on optical performance [J]. Biomicrofluidics, 2016, 10(1): 12.

[4] Cheng W Y, Lo K L, Chang Y P, et al. 37.1: Novel development of large-sized electrowetting display [J]. SID Symposium Digest of Technical Papers, 2008, 39(1): 526-529.

[5] Luo Z J, Zhang W N, Liu L W, et al. Portable multi-gray scale video playing scheme for high-performance electrowetting displays[J]. J. of the Society for Information Display, 2016, 24(6): 345-354.

[6] Chiang H C, Tsai Y H, Yan Y J, et al. Oil defect detection of electrowetting display [C]// Optical Manufacturing and Testing Ⅺ., 2015.

（下转第 143 页）

6D object pose prediction[C]// Proc. of the IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, 2018: 292-301.

[8] 刘梦佳，赵建国. 基于 SVM 的疲劳驾驶人脸图像特征检测算法[J]. 半导体光电，2020，41(2)：278-282.
Liu Mengjia, Zhao Jianguo. Research on feature detection algorithm of fatigue driving face image based on SVM[J]. Semiconductor Optoelectronics, 2020, 41(2): 278-282.

[9] Deng Z, Zhou L. Detection and recognition of traffic planar objects using colorized laser scan and perspective distortion rectification[J]. IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, 2017, 19(5): 1485-1495.

[10] Dadi H S, Pillutla G K M. Improved face recognition rate using HOG features and SVM classifier[J]. IOSR J. of Electronics and Communication Engineering, 2016, 11(4): 34-44.

[11] 王　博，董登峰，周维虎，等. 面向激光跟踪仪跟踪恢复的合作目标视觉检测[J]. 光学精密工程，2020，28(2)：271-282.
Wang Bo, Dong Dengfeng, Zhou Weihu, et al. Visual detection of target ball for laser tracker target tracking recovery[J]. Opt. Precision Eng., 2020, 28(2): 271-282.

[12] Ronneberger O, Fischer P, Brox T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation[C]// Proc. of Inter. Conf. on Medical Image Computing and Computer-assisted Intervention, Springer, Cham, 2015: 234-241.

[13] Von Gioi R G, Jakubowicz J, Norel J M, et al. LSD: a line segment detector[J]. Image Processing On Line, 2012, 2: 35-55.

[14] 范　松，陈　坤，马文庆，等. 基于多层图像分割 Hough 变换的零件定位模型[J]. 中国设备工程，2019，28(7)：119-121.
Fan Song, Chen Kun, Ma Wenqing, et al. Location model based on Hough transform of multi-layer image segmentation [J]. China Plant Engineering, 2019, 28(7): 119-121.

[15] Chen Z, Liao H, Zhang X. Telecentric stereo micro-vision system: Calibration method and experiments[J]. Optics & Lasers in Engin., 2014, 57: 82-92.

作者简介：

高兴华(1995—)，男，河北秦皇岛人，硕士研究生，主要从事计算机视觉及自动控制方面的研究；

董登峰(1981—)，男，河南商丘人，博士，副研究员，硕士生导师，2004 年于郑州大学获得学士学位，2012 年于北京航空航天获得博士学位，主要从事光电精密测量、微纳操控、嵌入式系统设计等方面的研究。

(上接第 135 页)

[7] Zhang X M, Bai P F, Hayes R, et al. Novel driving methods for manipulating oil motion in electrofluidic display pixels[J]. J. of Display Technol., 2016, 12(2): 200-205.

[8] Zhang H, Liang X L. Bistable electrowetting device with non-planar designed controlling electrodes for display applications [J]. Frontiers of Information Technology and Electronic Engin., 2019, 20(9): 1289-1295.

[9] Xing J W, Yang P, Qingge L. Automatic thresholding using a modified valley emphasis[J]. IET Image Processing, 2020, 14 (3): 536-544.

[10] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms [J]. IEEE Trans. on Systems Man and Cybernetics, 1979(1): 62-66.

[11] Sezgin M, Sankur B. Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation[J]. J. of Electronic Imaging, 2004, 13(1): 146-165.

[12] Yuan X C, Wu L S, Peng Q J. An improved Otsu method using the weighted object variance for defect detection[J]. Appl. Surface Science, 2015, 349: 472-484.

[13] Ng H F. Automatic thresholding for defect detection[J]. Pattern Recognition Lett., 2006, 27(14): 1644-1649.

[14] Fan J L, Lei B. A modified valley-emphasis method for automatic thresholding[J]. Pattern Recognition Lett., 2012, 33(6): 703-708.

[15] Truong M T N, Kim S. Automatic image thresholding using Otsu's method and entropy weighting scheme for surface defect detection[J]. Soft Computing, 2018, 22(13): 4197-4203.

[16] Zhang W, Li W, Yan J, et al. Adaptive threshold selection for background removal in fringe projection profilometry[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2017, 90: 209-216.

[17] Liao P, Chen T, Chung P. A fast algorithm for multilevel thresholding[J]. J. of Information Science and Engineering, 2001, 17(5): 713-727.

[18] Magnier B, Moradi B. Shape similarity measurement for known-object localization: A new normalized assessment[J]. J. of Imaging, 2019, 5(10): 23.

作者简介：

郭冠峥(1994—)，男，福建人，硕士研究生，研究方向为显示驱动系统和光电显示技术；

林志贤(1975—)，男，福建人，博士，教授，从事新型显示技术、印刷电子显示、平板显示器驱动系统、三维立体显示技术、图像处理技术等方面的研究。