

# 基于显著算法与 CIELAB 空间的织物色差评价方法

孟秀萍, 苏工兵, 吴奇明, 袁浪佳

武汉纺织大学机械工程与自动化学院, 湖北 武汉 430073

**摘要** 以改进的色差显著算法原理为基础, 以高亮显著连通的区域面积和圆度表征织物图像纹理间隙区域, 通过统计标准织物图像纹理间隙的分布规律, 设定初步色差分级指标, 不仅实现了待测织物大聚集色差区域的快速检测, 而且能有效判别无大聚集色差织物的纹理间隙区域的背景噪声。结合色差评级标准, 对纹理间隙区域外的织物图像采用加权平均方法进行了色差定级。结果表明, 所提算法的误差均值和方差最小, 更能反映织物的真实色差。

**关键词** 视觉光学; 织物纹理间隙; 显著算法; 色差显著图; 色差

中图分类号 TS107

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP55.053301

## Evaluation Method of Fabric Color Difference Based on Saliency Algorithm and CIELAB Space

Meng Xiuping, Su Gongbing, Wu Qiming, Yuan Langjia

College of Mechanical Engineering and Automation, Wuhan Textile University, Wuhan, Hubei 430073, China

**Abstract** With the theory of the modified color difference saliency algorithm as a base, the fabric image texture clearance regions are characterized by the area and roundness of the highlighted and significantly connected regions. By the statistical extraction of the distribution laws of the standard fabric image texture clearance and by the setup of the color difference rating standard, not only the big serious color difference region is quickly detected, but also the background color noise of the fabric texture clearance region of the fabrics without the big serious color difference is distinguished. Based on the color difference rating standard, the weighted average method is used to complete the tested fabric color difference grating for the fabric images beyond the fabric texture clearance region. The results show that the proposed algorithm has the minimum error mean and variance, which can reflect the true color difference of fabrics.

**Key words** visual optics; fabric texture clearance; saliency algorithm; color difference saliency map; color difference

**OCIS codes** 330.1710; 330.1690; 150.1708

## 1 引言

在纺织印染行业, 对织物色差精准的监测与控制是保证产品合格的重要步骤之一。人工检测的成本高且稳定性差, 而色差仪的检测范围较小且整体色差的均匀性差, 不能满足染色系统在线检测的要求。为此, 诸多研究者开展了基于机器视觉的染色织物色差评价的研究。现有的机器视觉色差评价的定级方法包括国际照明委员会公布的 Lab(CIELAB)颜色空间方法<sup>[1]</sup>、直方图交叉方法<sup>[2-4]</sup>等, 但其未考虑由织物纹

理间隙引入的背景色对织物整体颜色特征评价的影响。CIELAB 颜色空间方法取图像颜色三通道的平均值作为织物整体的颜色特征, 包含了由织物纹理间隙引入的背景色, 色差评价的准确性差; 直方图交叉方法将织物纹理间隙的背景色特征引入至织物灰度直方图中, 易造成织物色差区域的误判。

许多研究者就织物纹理特征的提取展开了研究。李静等<sup>[5]</sup>采用灰度共生矩阵原理, 通过分析灰度共生矩阵特征值的变化规律来研究织物的纹理特征。楼越升等<sup>[6]</sup>采用离散傅里叶变换原理, 通过分

收稿日期: 2017-11-10; 收到修改稿日期: 2017-11-15

基金项目: 国家自然科学基金(51375351)

作者简介: 孟秀萍(1991—), 女, 硕士研究生, 主要从事计算机视觉、图像处理方面的研究。E-mail: 2437339908@qq.com

导师简介: 苏工兵(1965—), 男, 博士, 教授, 主要从事计算机视觉、机器人学方面的研究。

E-mail: sgb6710@163.com(通信联系人)

析离散傅里叶变换的幅度谱以描述织物的纹理特征。这两种方法均可以将织物纹理特征的周期分布情况呈现出来,但未能提取织物图像的纹理特征。任静等<sup>[7]</sup>提出了一种基于快速傅里叶变换(FFT)和 Gabor 滤波器的织物纹理特征的提取方法,通过 FFT 提取频谱的楔特征(角向分布)和环特征(径向分布)以作为特征角度和频率参数,设计了两种最优 Gabor 滤波器,分别与织物纹理图像进行卷积,获得了目标子图像,然后对子图像进行融合处理,达到提取纹理特征的目的,其织物纹理特征的提取效果较好。但该算法基于图像灰度进行纹理特征的提取,不适合提取色差评价的多通道颜色特征。

本文提出了一种基于改进色差显著算法以提取织物纹理间隙区域特征的方法,该方法结合初步色差分级方法,不仅能快速判别大聚集色差(疵点)的织物并直接定级,同时也能有效判别无大聚集色差(疵点)的织物图像纹理间隙区域的特征。结合 ISO105/A02-1993 色差评级标准,针对织物纱线纹理的颜色特征采用加权平均方法进行进一步色差定级。

## 2 算法原理设计

织物图像的颜色特征由织物纱线纹理的颜色特征及纱线纹理间隙区域的背景颜色特征构成。为了滤除织物间隙区域的背景色对色差评价的影响,可通过提取织物的有效纱线纹理的颜色特征进行色差评级。采用改进的 CMC( $l:c$ ) 色差显著算法(其中  $l$  为亮度权重因子,  $c$  为彩度权重因子),通过分析标准颜色织物的的大色差显著二值图中高亮显著连通区域的圆度及面积分布规律,设定织物初步的色差分级阈值指标,即可快速从待测织物的的大色差显著二值图中辨别纹理间隙区域的特征及大聚集色差区域(疵点)的特征。若待测织物的的大色差显著二值图中有高亮显著连通区域被判别为大聚集色差(疵点)特征,可对此待测织物直接进行色差定级。若待测织物的的大色差显著二值图中无高亮显著连通区域被判别为大聚集色差(疵点)特征;除纹理间隙区域外,统计织物色差显著图中各色差等级范围内的像素占比,以各色差等级范围内像素占比的加权平均值进行进一步色差定级。织物图像均已滤除高频噪声<sup>[8-9]</sup>并进行了光照校正,具体算法的流程图如图 1 所示。

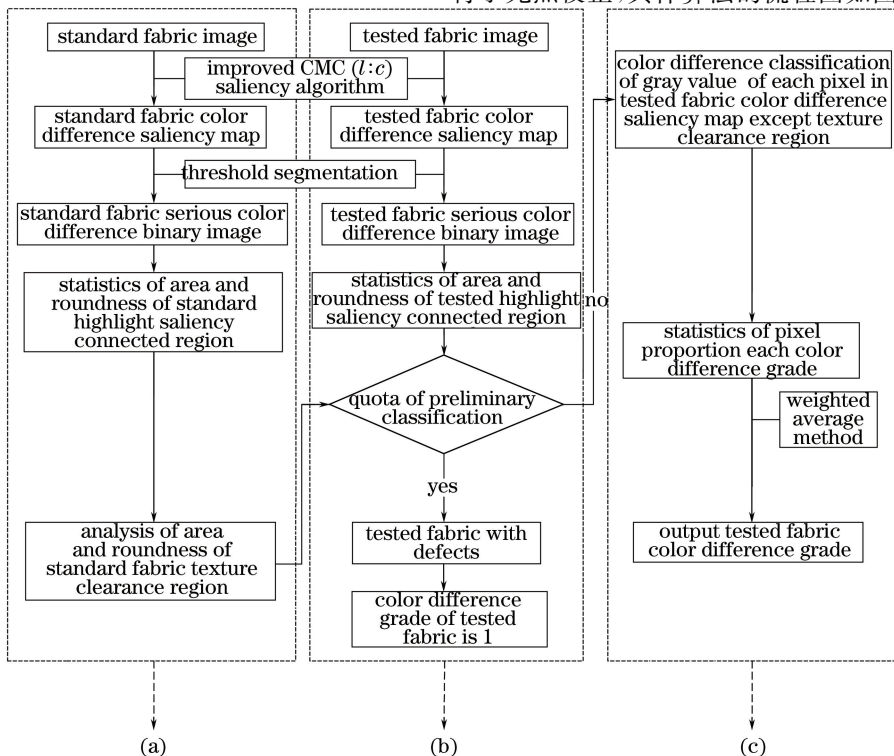


图 1 基于显著算法与 CIELAB 空间融合的织物色差评价方法的流程图。

(a) 织物纹理间隙区域面积和圆度的分析; (b) 初步色差分级算法; (c) 进一步色差定级算法

Fig. 1 Flow chart of evaluation method of fabric color difference based on saliency algorithm and CIELAB space integration.

(a) Analysis of area and roundness of fabric texture clearance region; (b) preliminary color difference classification;

(c) further color difference classification

## 2.1 改进的 CMC( $l:c$ ) 色差显著原理

基于色差评价的 CMC( $l:c$ )<sup>[10-12]</sup> 色差公式为

$$\Delta E_{\text{CMC}(l:c)} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{l \times S_l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_{ab}^*}{c \times S_c}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H_{ab}^*}{S_h}\right)^2}, \quad (1)$$

式中  $\Delta L^*$ 、 $\Delta C_{ab}^*$ 、 $\Delta H_{ab}^*$ 、 $\Delta E_{\text{CMC}(l:c)}$  分别为 CIELAB 颜色空间中待测织物颜色相对于标准织物颜色的亮度差、彩度差、色相差、色差值； $S_l$ 、 $S_c$ 、 $S_h$  为由标准织物颜色的亮度、彩度、色相所确定的色差校正因子； $l$ 、 $c$  因子随行业不同而不同，在纺织行业，通常  $l$  取 2， $c$  取 1。

显著算法是一种基于视觉注意的显著性区域的检测方法，最早由 Itti 等<sup>[13-14]</sup> 提出，现已在图像分割<sup>[15-16]</sup>、目标提取<sup>[17]</sup> 及自适应图像压缩和编码等领域取得了成功的应用。在改进的 CMC( $l:c$ ) 色差显著方法中，织物色差显著图的定义为

$$S_{\text{als}}(x, y) = \Delta E_{\text{CMC}(l:c)}(x, y), \quad (2)$$

式中  $\Delta E_{\text{CMC}(l:c)}(x, y)$  为图像中位置在  $x$  行  $y$  列的像素点的颜色特征相对于标准颜色的 CMC( $l:c$ ) 色差值； $S_{\text{als}}(x, y)$  为织物色差显著图中对应像素点的灰度值，由织物图像中该点的色差值决定。在图 1 中，织物色差显著图以标准织物纱线纹理颜色的三特征分量亮度、彩度、色相为标准色特征，通过计算织物图像中各像素点相对于标准色的色差值而取

得。由织物纹理间隙引入的背景色相对于标准织物纱线有较大色差值，故织物色差显著图中的纹理间隙区域将有较大的灰度值，呈高亮显示。通过设定合适的阈值将织物色差显著图二值化，可在织物的大色差显著二值图中得到纹理间隙区域特征的详细表征。

## 2.2 标准织物纹理间隙区域的阈值参数确定

确定标准织物纹理间隙区域的阈值参数的目的是辨识待测织物的纹理间隙区域及大聚集色差区域(疵点)，通过标准织物的色差显著二值图中的高亮显著连通区域，将织物纹理间隙区域以面积和圆度参数的形式表征出来。标准织物图像由 hot pink、dodger blue、violet red 三种颜色各 10 组样本(数据来源于武汉纺织大学染整实验室)构成，标准织物的图像大小均为 512 pixel  $\times$  512 pixel，物理尺寸为 15 mm  $\times$  15 mm(由 46 根经纱 46 根纬纱针织而成)。在织物图像中，纹理间隙区域的面积、周长值可通过图像处理形态学方法，利用处理织物大色差显著二值图中的高亮显著连通区域得到。其纹理间隙区域的圆度值表示为

$$R_i = P_i^2 / (4\pi A_i), \quad (3)$$

式中  $P_i$  为第  $i$  个高亮显著连通区域的外轮廓周长，单位为 pixel； $A_i$  为对应高亮显著连通区域的面积，单位为 pixel  $\times$  pixel。标准织物图像中纹理间隙区域面积与圆度分布如图 2 所示。

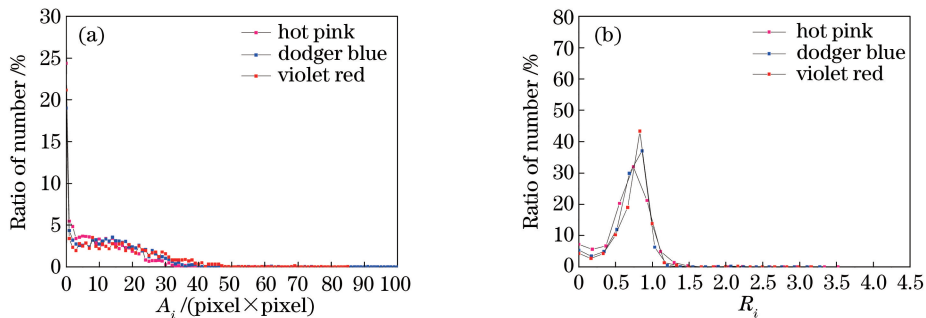


图 2 纹理间隙区域的 (a) 面积与 (b) 圆度分布

Fig. 2 (a) Area and (b) roundness distribution of texture clearance region

在图 2(a) 中，横轴表示标准织物图像的纹理间隙区域的面积值，纵轴为具有相同面积值的纹理间隙区域的个数在总的纹理间隙区域个数的占比，而总的纹理间隙区域个数为  $10 \times (46 - 1) \times (46 - 1)$ 。其中，纹理间隙面积值为 0，代表在织物大色差显著二值图中未高亮显著出织物纹理间隙区域，这是由于织物纱线的局部相对致密；个别较大的纹理间隙区域面积值是由于纹理间隙区域粘连构成了大连通区域。由图 2(a) 可知，在三种颜色的标准织物图像

中，各纹理间隙区域的面积值  $A_i$  分布在 0.00085 ~ 0.0428 mm<sup>2</sup> 之间，大小为 1 ~ 50 pixel  $\times$  pixel。该分布值可作为待测织物中纹理间隙区域特征的判别标准。

在图 2(b) 中，横轴表示标准织物图像的纹理间隙区域的圆度值，纵轴为具有相同圆度值的纹理间隙区域的个数在高亮显著的纹理间隙区域的总个数中的占比。在标准织物图像中，各纹理间隙区域的圆度值主要分布在 0 ~ 1.5 之间，该分布值可作为待

测织物纹理间隙的粘连区域特征及大聚集色差区域(疵点)特征的判别标准。

### 2.3 改进的色差评价方法

改进的色差评价方法采用两步评价步骤,首先通过标准织物的纹理间隙区域面积与圆度阈值建立初步的色差分级判别标准,对大聚集色差(疵点)织物直接进行色差定级;其次,针对经初步色差分级后无大聚集色差(疵点)的织物,逐级统计除纹理间隙区域外织物色差显著图中各色差等级内的像素点个数相对于整体(除纹理间隙区域)像素点个数的占比,按各色差等级对应的像素占比进行加权平均,对织物进行进一步色差定级。

#### 2.3.1 初步色差分级标准

初步色差分级算法的流程如图 1(b)所示,待测织物的的大色差显著二值图中的高亮显著连通区域包含纹理间隙区域的特征及织物纱线大聚集色差(疵点)区域的特征。当待测大色差显著图中出现面积较大的高亮显著连通区域时,这可能是大聚集色差(疵点)特征,也可能是由纱线间上色情况及纤维细度的细微差别引起的纹理间隙区域的粘连特征。为了识别这两种特征,分别建立了基于织物大色差显著二值图中高亮显著连通区域的面积和圆度值的初步色差分级指标,其表达式为

$$A_i^T > K \times M_A, \quad (4)$$

$$R_i^T < M_R, \quad (5)$$

式中  $A_i^T$ 、 $R_i^T$  分别为待测织物大色差显著图中第  $i$  个高亮显著连通区域的面积和圆度;  $M_A$ 、 $M_R$  分别为标准颜色织物纹理间隙区域的面积阈值及圆度阈值;  $K$  为面积调节因子,由织物纱线的纤维细度决定。若待测织物的的大色差显著二值图的高亮显著连通区域面积、圆度同时满足(4)、(5)式时,则将其高亮显著连通区域判别为大聚集色差(疵点)特征,并对待测织物直接色差定级;否则,将其判别为纹理间隙区域的背景色特征,待进一步色差定级。

#### 2.3.2 进一步色差定级方法

经初步色差分级后无大聚集色差(疵点)的织物,其纹理间隙区域的特征已被判别出,进一步色差定级的算法流程如图 1(c)所示。根据国际标准化组织(ISO)颁布的 ISO105/A02-1993<sup>[18]</sup> 色差评价标准(见表 1),除纹理间隙区域外,对织物色差显著图中各像素点的灰度值进行色差分级,逐级统计各色差等级内像素点的个数相对于整体(除纹理间隙区域)像素点的占比,按各色差等级对应的像素占比进行加权平均对织物色差分级。进一步色差定级的指

标为

$$T = \sum_{B=1}^5 B * P_B, \quad (6)$$

$$\sum_{B=1}^5 P_B = 1, \quad (7)$$

式中  $B$  为色差等级,  $P_B$  为织物图像色差等级  $B$  内的像素占比,  $T$  为加权平均的色差等级。各色差等级内像素占比的表达式为

$$S_2 = S_0 - S_1, \quad (8)$$

$$P_B = S_B / S_2, \quad (9)$$

式中  $S_0$  为织物图像的总像素个数;  $S_1$  为待测织物纹理间隙区域的总像素个数;  $S_2$  为织物纱线纹理颜色特征区域的总像素个数;  $S_B$  为色差等级  $B$  内像素点的个数;  $P_B$  对应(6)式中色差等级  $B$  内的像素占比。

表 1 织物色差与色差等级间的关系

Table 1 Relationship between fabric color difference and color difference grade

Color difference	Color difference grade	Color difference	Color difference grade
>11.85	1	2.16-3.05	3-4
8.41-11.85	1-2	1.27-2.15	4
5.96-8.40	2	0.20-1.26	4-5
4.21-5.95	2-3	<0.2	5
3.06-4.20	3		

## 3 算法验证与评价结果分析

实验样本分别选择 hot pink、dodger blue、violet red 三种颜色类型,每种颜色均有两组待测织物,待测织物与标准织物具有相同的纹理结构及属性。织物图像均在标准 D65 光源下由标定<sup>[19-20]</sup>好的相机(北京大恒图像视觉有限公司, MER-500-14GM/C 型,北京)采集。算法实现环境为 MATLAB 2012a 软件。

以武汉纺织大学染整实验室提供的织物定级结果作为最终织物色差等级评价的标准,以上述 6 组待测织物为实验对象进行初步色差分级算法的验证。并分别采用四种色差评价方法对待测织物进行色差评价对比实验,比较每种色差评价方法相对于人眼色差评价方法的平均误差及方差,分析出与人眼色差评价结果最契合的色差评价方法。

### 3.1 初步色差分级算法验证

按图 1(b)所示的初步色差分级算法流程进行图像处理,织物图像、织物色差显著图、织物大色差显著

二值图、去纹理间隙区域的大色差显著二值图如图 3 所示,其中去纹理间隙区域的大色差显著二值图是以

(4)、(5)式为初步色差分级的判别标准,通过滤除织物大色差显著二值图中的纹理间隙区域后得到的。

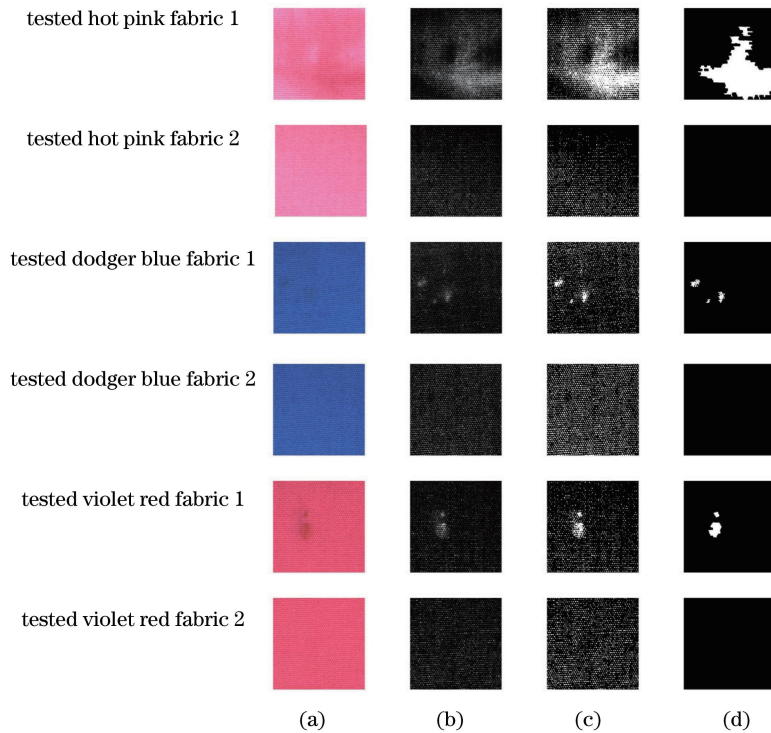


图 3 算法的图像处理验证结果。

(a) 织物图像; (b) 织物色差显著图; (c) 织物大色差显著二值图; (d) 去纹理间隙区域的大色差显著二值图

Fig. 3 Test results of image processing by algorithm. (a) Fabric image; (b) saliency map of fabric color difference; (c) binary image of fabric serious color difference; (d) binary image of fabric serious color difference beyond texture clearance region

经初步色差分级算法处理后,待测 hot pink 织物 1、待测 dodger blue 织物 1 及待测 violet red 织物 1 的大色差显著二值图中均有高亮显著连通区域被判定为大聚集色差(疵点)特征,则对其直接进行色差定级;待测 hot pink 织物 2、待测 dodger blue 织物 2、待测 violet red 织物 2 的大色差显著二值图中均无高亮显著连通区域被判定为大聚集色差(疵点)特征,需进行进一步色差定级。为了验证初步色差分级方法的准确性,对待测 hot pink 织物 1、待测 dodger blue 织物 1 及待测 violet red 织物 1 继续进行了进一步色差定级,其具体的图像处理结果如图 3(b)~(d)所示,可知初步的色差分级结果与织物实际的色差情况相符,验证了初步色差分级算法中采用大色差显著二值图中的高亮显著连通区域的面积、圆度来识别织物纹理间隙区域的特征及织物纱线大聚集色差(疵点)特征的方法是有效的。

### 3.2 进一步色差定级实验结果

经初步色差分级后,按图 1(c)所示的流程对待测 hot pink 织物 2、待测 dodger blue 织物 2、待测 violet

red 织物 2 进行进一步色差定级,其色差定级结果见表 2,其中  $P_5$ 、 $P_{4.5}$ 、 $P_4$ 、 $P_{3.5}$ 、 $P_3$ 、 $P_{2.5}$ 、 $P_2$ 、 $P_{1.5}$ 、 $P_1$  分别为织物图像的纱线纹理颜色特征中各色差等级内的像素占比,通过(8)~(9)式统计计算而来。

表 2 进一步色差定级的结果

Table 2 Result of further color difference classification

Pixel ratio	Value		
	Tested hot pink fabric 2	Tested dodger blue fabric 2	Tested violet red fabric 2
$P_5$	1%	1%	1.5%
$P_{4.5}$	36%	46%	74.5%
$P_4$	29%	41%	24%
$P_{3.5}$	22%	12%	0
$P_3$ 、 $P_{2.5}$ 、 $P_2$ 、 $P_{1.5}$ 、 $P_1$	0	0	0
Weighted sum	3.96	4.18	4.38
Comprehensive color difference grade	4	4	4.5

在表 2 中,待测织物的对应加权和通过(6)式计

算而来,综合色差等级为加权和四舍五入的结果。

### 3.3 色差评价结果的对比分析

以 ISO105/A02-1993 色差等级为评价标准,分

别采用新算法、直方图交叉法、CIELAB 颜色空间法及色差仪对 6 组待测织物的色差定级,其色差定级结果见表 3。

表 3 织物的色差定级结果

Table 3 Result of fabric color difference classification

Tested fabric	Proposed method	Histogram crossover algorithm	CIELAB color space	Colorimeter	Expert evaluation
Tested hot pink fabric 1	1	2.5	3	1.5	1
Tested hot pink fabric 2	4	4	3	4.5	4
Tested dodger blue fabric 1	1	3.5	3.5	3	1.5
Tested dodger blue fabric 2	4	4	4	4.5	4.5
Tested violet red fabric 1	1	3	4.5	2	2
Tested violet red fabric 2	4.5	4	4	4.5	4.5
Mean error	0.3333	0.9167	1.4167	0.4167	-
Variance	0.1389	0.4514	0.6181	0.2847	-

由表 3 可知,在四种色差评价方法中,新算法的色差评价结果与专业定级结果之间的误差均值、方差均为最小,进一步证实了去织物纹理间隙区域后采用加权平均方法对织物进行色差定级的方法更加准确。而直方图交叉法及 CIELAB 颜色空间评价方法受织物纹理间隙引入的背景颜色的影响,得出的色差等级时高时低。直方交叉图法通过相关性判定织物的色差,对于纹理结构致密的物体,其色差评价的效果较好,但对于有纹理结构的织物,则存在色差大小的不确定性,在实验中已得到验证。CIELAB 颜色空间评价方法是取织物图像的全局均值,而削峰填谷导致误差较大,易引起色差评价的不确定性等问题。色差仪方法对于无明显色差的织物,其结果与人眼评价结果高度一致,而对大色差织物的评价等级偏高,且因其接触检测面积小,仅适合产品的抽样检测。新算法不仅能对大聚集色差(疵点)的织物实现快速的色差定级,同时对于无大聚集色差(疵点)的织物采用加权平均方法,更能全面反映织物的整体色差情况。

## 4 结 论

改进的 CMC( $l:c$ )色差显著算法能有效地从织物图像中将纹理间隙区域及织物纱线大色差区域凸显出来。两步法的色差定级算法流程滤除了纹理间隙对色差评价的影响。初步色差分级指标可快速判别织物中明显的大聚集色差(疵点)问题并直接定级;进一步的色差定级采用加权平均方法,更具全局性、准确性。两步法色差定级提高了算法运行的效率,避免了非必要的色差评价流程。通过与其他三种色差评价方法进行对比分析,发现利用所提算法

得到的色差评价结果的误差平均值及方差最小,表明该色差评价方法更能真实、稳定、客观地反映织物的色差等级。

## 参 考 文 献

- [1] Liu S Y, Liu J J, Xue Y, *et al.* Fabric color difference detection based on computer vision[J]. Cotton Textile Technology, 2008, 36(6): 32-35. 刘素一, 刘晶璟, 薛勇, 等. 基于计算机视觉的织物色差检测[J]. 棉纺织技术, 2008, 36(6): 32-35.
- [2] Li P F, Wang J, Jing J F, *et al.* A qualitative and quantitative test method for fabric color difference[J]. Cotton Textile Technology, 2014, 42(4): 38-40. 李鹏飞, 王婧, 景军锋, 等. 织物色差的定性和定量测试方法[J]. 棉纺织技术, 2014, 42(4): 38-40.
- [3] Li P F, Yang X F, Jing J F, *et al.* The research on fabric online color difference detection system[J]. Cotton Textile Technology, 2011, 39(12): 21-23. 李鹏飞, 杨夏峰, 景军锋, 等. 织物在线色差检测系统研究[J]. 棉纺织技术, 2011, 39(12): 21-23.
- [4] Yang X F. The research on fabric online color difference detection system[D]. Xi'an: Xi'an Polytechnic University, 2012: 3. 杨夏峰. 纺织品色差在线检测系统研究[D]. 西安: 西安工程大学, 2012: 3.
- [5] Li J, Yang Y Q, Shen W, *et al.* Research on fabric texture based on gray level co-occurrence matrix[J]. Advanced Textile Technology, 2013, 21(3): 12-16. 李静, 杨玉倩, 沈伟, 等. 基于灰度共生矩阵的织物纹理研究[J]. 现代纺织技术, 2013, 21(3): 12-16.
- [6] Lou Y S, Zhu C Y, Guo Z R, *et al.* Fabric texture information online detection based on DFT[J]. Journal of Donghua University: Natural Science

- Edition, 2016, 6(5): 732-737.
- 楼越升, 祝成炎, 郭振荣, 等. 基于离散傅里叶变换的织物纹理信息在线检测[J]. 东华大学学报: 自然科学版, 2016, 6(5): 732-737.
- [7] Ren J, Zhou H, Guo C, *et al.* Fabric texture detection based on FFT and Gabor filter[J]. Journal of Zhejiang Sci-tech University (Natural Science Edition), 2015, 33(1): 6-10.
- 任静, 周华, 郭超, 等. 结合 FFT 和 Gabor 滤波器的织物纹理特征提取方法[J]. 浙江理工大学学报(自然科学版), 2015, 33(1): 6-10.
- [8] Jiang H Y, Dai M L, Su Z L, *et al.* An adaptive sine/cosine filtering algorithm based on speckle phase fringe orientation [J]. Acta Optica Sinica, 2017, 37 (9): 0910001.
- 蒋汉阳, 戴美玲, 苏志龙, 等. 基于散斑相位条纹方向的自适应正弦/余弦滤波[J]. 光学学报, 2017, 37(9): 0910001.
- [9] Hua W P, Zhao J F, Li M, *et al.* Single image noise estimation based on image segmentation and scatter statistics of noise[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2016, 53(4): 041006.
- 华玮平, 赵巨峰, 李梦, 等. 基于分块与噪声散点统计的单图噪声估计[J]. 激光与光电子学进展, 2016, 53(4): 041006.
- [10] Lian Y, Liao N, Wang J, *et al.* Evaluating the uniformity of color spaces and performance of color difference formula[C]. SPIE, 2010, 7852: 785205.
- [11] Shamey R, Hinks D, Melgosa M, *et al.* Evaluation of performance of twelve color-difference formulae using two NCSU experimental datasets [C]. Conference on Color in Graphics, Imaging and Vision, 2010(1): 423-428.
- [12] Huang M, Liao N F, Xu Y F, *et al.* Analysis of color difference formula based on Chinese color system[J]. Optical Technique, 2007, 33(s1): 46-48.
- 黄敏, 廖宁放, 徐艳芳, 等. 基于中国颜色体系的色差公式分析[J]. 光学技术, 2007, 33(s1): 46-48.
- [13] Itti L, Koch C. Computational modeling of visual attention[J]. Nature Reviews Neuroscience, 2001, 2(3): 194-230.
- [14] Itti L, Koch C, Niebur E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(11): 1254-1259.
- [15] Chen K Y, Zou X J, Xiong J T, *et al.* Improved fruit fuzzy clustering image segmentation algorithm based on visual saliency affiliation[J]. Journal of Agricultural Engineering, 2013, 29(6): 157-165.
- 陈科尹, 邹湘军, 熊俊涛, 等. 基于视觉显著性改进的水果图像模糊聚类分割算法[J]. 农业工程学报, 2013, 29(6): 157-165.
- [16] Qian S, Chen Z H, Lin M Q, *et al.* Saliency detection based on conditional random field and image segmentation[J]. Acta Automatic Sinica, 2015, 41 (4): 711-724.
- 钱生, 陈宗海, 林名强, 等. 基于条件随机场和图像分割的显著性检测[J]. 自动化学报, 2015, 41(4): 711-724.
- [17] Ma R N, Tu X P, Ding J D, *et al.* To evaluate saliency map towards popping out visual objects[J]. Acta Automatic Sinica, 2012, 38(5): 870-876.
- 马儒宁, 涂小坡, 丁军娣, 等. 视觉显著性凸显目标的评价[J]. 自动化学报, 2012, 38(5): 870-876.
- [18] International Organization for Standardization. Textile-tests for color fastness-Part A02: Grey scale for assessing change in color: ISO105-A02 [S]. Geneva: International Organization for Standardization, 1993.
- [19] Chen J W, Quan S B, Quan Y M, *et al.* Calibration method of relative position and pose between dual two-dimensional laser radar [J]. Chinese Journal of Lasers, 2017, 44(10): 1004005.
- 陈健武, 全思博, 全燕鸣, 等. 双二维激光雷达相对位姿的标定方法 [J]. 中国激光, 2017, 44(10): 1004005.
- [20] Liu Z Q, Zhang Y R, Zhao J X, *et al.* High speed camera calibration for velocity measurement in range static explosion experiment[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2016, 53(11): 111501.
- 刘泽庆, 张玉荣, 赵建新, 等. 靶场静爆实验测速高速相机标定方法 [J]. 激光与光电子学进展, 2016, 53(11): 111501.