



# 基于高光谱成像技术的纺织数码印花颜色测量方法

应双双<sup>1</sup>, 付东<sup>2</sup>, 范运舫<sup>2</sup>, 郭宇飞<sup>1</sup>, 周赳<sup>1</sup>, 周华<sup>1</sup>

(1.浙江理工大学先进纺织材料与制备技术教育部重点实验室, 杭州 310018; 2.杭州宏华数码科技股份有限公司, 杭州 310052)

**摘要:** 为满足纺织数码印花色彩管理对颜色测量越来越高的要求, 针对现存问题, 提出了一种适用于纺织数码印花色彩管理的颜色测量的方法。该方法主要采用高光谱成像技术对纺织品进行非接触式一次性扫描成像, 通过计算机处理从光谱数据中提取精确完整的颜色信息。与传统测色方法相比, 该方法测量速度快、稳定性好, 对面料的变形、沾污、沾色、褶皱等因素的抗干扰性好, 避免了手工测量方法的各种缺陷, 保证了颜色测量数据的准确性。

**关键词:** 高光谱成像; 纺织数码印花; 色彩管理; 颜色测量

**中图分类号:** TS194.4; O657.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-3851(2020)03-0151-07

## Textile digital printing color measurement method based on hyperspectral imaging technology

YING Shuangshuang<sup>1</sup>, FU Dong<sup>2</sup>, FAN Yunfang<sup>2</sup>, GUO Yufei<sup>1</sup>, ZHOU Jiu<sup>1</sup>, ZHOU Hua<sup>1</sup>

(1.Key Laboratory of Advanced Textile Materials and Manufacturing Technology, Ministry of Education, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;  
2.Hangzhou Honghua Digital Technology Co., Ltd., Hangzhou 310052, China)

**Abstract:** In order to meet the increasing requirements of color measurement in textile digital printing color management, a method for color measurement of textile digital printing in color management is proposed for the existing problems. Non-contact one-time scanning imaging of textiles is mainly carried out by hyperspectral imaging technology, and the accurate and complete color information is extracted from spectral data through computer processing. Compared with the traditional color measurement method, the method has high measurement speed and good stability, and has good anti-interference to the deformation, dirt, stain, wrinkle and other factors of the fabric, and also can avoid various defects of manual measurement. The accuracy of the final color data is ensured.

**Key words:** hyperspectral imaging; textile digital printing; color management; color measurement

## 0 引言

色彩管理是指运用软、硬件结合的方法, 在产品的颜色加工中自动统一地管理和调整颜色, 以保证产品颜色的一致性和准确性<sup>[1-2]</sup>。色彩管理技术在印刷、广告和纺织品数码印花等行业中被大量应用。设备特性化是色彩管理技术实施的核心, 其作用是

通过对设备颜色空间的色表进行测量, 得到设备无关颜色数据(光谱或 Lab 值)来获取设备颜色特征(色域、色偏), 并建立颜色转换模型。该模型的有效性依赖于测量数据的准确性, 由此可见, 准确的颜色测量数据是优质色彩管理的前提和关键<sup>[3]</sup>。

颜色测量是指利用特定的测量设备, 在一定的条件下获取目标物体颜色信息的过程。随着科学技

收稿日期: 2019-08-02 网络出版日期: 2019-09-03

作者简介: 应双双(1995-), 女, 浙江金华人, 硕士研究生, 主要从事纺织数码印花色彩管理方面的研究。

通信作者: 周华, E-mail: hzzh@zstu.edu.cn

术的发展,在对颜色品质要求较高的纺织数码印花行业中,测色仪器逐渐取代目测法来测量物体颜色,并给出定量描述。颜色测量的主要方法包括:光电积分法、分光光度法、数码测色法<sup>[4]</sup>。其中,在精确测色上,分光光度法已逐渐取代光电积分法,是主流颜色测量方法<sup>[5]</sup>。而近年来新兴的数码测色法因其功能的多样化,得到了广泛关注。这种基于图像的非接触式测量方法,能以像素为单位测量微小细节的颜色,并可以通过图像模式识别,在一定变形程度的图案中准确定位出每一个色块的位置,能够满足柔性易变形物体(如纺织面料)的测量要求。但是现有的图像测量传感器通常是基于RGB的成像设备,只记录R、G、B这3波段光谱值,颜色信息不完整,且受环境和光源影响非常大,颜色误差较大<sup>[6]</sup>。

纺织品面料是柔性的,易产生扭曲变形现象,所以基于图像的测量方法是纺织品测色的首选。针对目前数码测色法无法获得完整颜色信息的问题,本文提出一种基于高光谱成像技术的测色方法。该方法采用高光谱相机对纺织面料进行非接触式成像,通过计算机处理可以获得图像中每一色块的位置信息,有效消除面料变形的影响,并从高光谱相机获取的数据中采集出每一个色块的像素光谱数据,得到较为精确和完整的颜色信息。

## 1 现有纺织数码印花色彩管理测色方法

色彩管理技术的快速发展和普及,对于纺织数码印花的测色仪器提出了新的要求。在进行印刷机或打样机的色彩管理时,需要测量大量的颜色样品,数量一般有几百个甚至是几千个。一般来说,测量的颜色样品数量越多,所建立的颜色查找表相对更准确。因此,用于色彩管理的测色仪器与一般测色仪器的最主要区别在于是否具有快速测量的功能,如具有自动扫描样品并测量颜色的功能。现有的比较常用的自动测色仪器(主要用于纸张印刷),通过指定色表边界、边角定位来定位色块位置,自动完成色表中每一个色块的测量,如X-Rite i1 iSis、i1 IO2、Barbieri Spectro LFP等。但是对于一些易变形的纺织面料来说,这种接触式的自动测量装置还不能准确定位色块位置,会产生测量误差。因此,目前在纺织品色彩管理行业还是以手动测量为主,如使用X-Rite i1对色表进行扫描测量。这种大样本手动测量耗时费力,且因每个人的操作方法、习惯和手势不同,会产生不同的测量结果,导致不可避免的人为误差。

对于数码测色法,英国Verivide公司的DigiEye测色仪器就是一个典型代表,但其属于RGB成像设备。目前比较新的、在市场占有优势的、以数码测色法为背景的测色仪器还有:香港理工大学的多光谱颜色测量系统、美国Datacolor公司的SpectraVision。这两个测色仪器的共同特点是在成像系统前加不同的滤光片来获得多个波段光谱值,这就意味着要多次成像才能得到完整的光谱数据。

综上所述,现有的颜色测量方法并不能完全满足纺织品行业优质色彩管理的测量要求。

## 2 基于高光谱成像技术的测色方法

由多光谱遥感成像技术发展而来的高光谱成像技术<sup>[7]</sup>现已广泛应用于农业<sup>[8-9]</sup>、食品质量检测<sup>[10]</sup>、刑侦技术<sup>[11]</sup>、考古与文物保护<sup>[12]</sup>、生物医学<sup>[13]</sup>等领域。从高光谱成像技术的应用范围可以看出,现如今,此技术已经逐渐成熟,并在不同领域均发挥出强大的作用。本文提出的基于高光谱成像技术的测色方法,采用高光谱成像技术为背景的高光谱相机,该相机具有一次性曝光成像测色功能,比现有的多次曝光成像测色更快速高效。每一个像素都记录380~800 nm范围内近百个波段的光谱数据,颜色信息完整,误差小,速度快。分光装置结合面阵相机形成线阵高光谱相机,加一维推扫可以得到二维平面图像的光谱数据,测量面积也不受限,是一种理想的颜色测量方法。

### 2.1 高光谱成像系统

高光谱成像系统(五铃光学股份有限公司)主要由以下几部分组成:Bobcat GEV-B1621 M光谱仪、KAI-02050 CCD(1632×1232 pixel, 12位)、Schneider OL23成像镜头、model1 LA-410UV-3氙光源、线性光导管、位移平台、数据采集软件,如图1所示。整个系统的波长范围为380~800 nm,波段数为616,线阵输出像素为1632。为了避免环境光对成像测试结果的影响,除计算机外的装置都将置于暗箱内。

### 2.2 高光谱图像采集及预处理

将高光谱成像系统中相机与样品之间的拍摄距离、相机曝光时间、光源强度、位移平台移动速度等相关参数调整到最佳状态,以获得清晰完整的高光谱图像。经反复测试,最佳参数设置如下:相机曝光时间为15 ms、光源输出功率为96 W、位移平台移动速度为4.86 mm/s、最佳拍摄高度为65 cm。

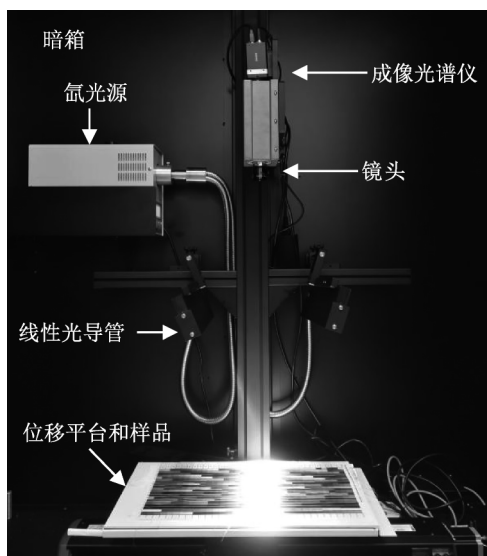


图1 高光谱成像系统结构

为了消除在采集过程中由于光源辐射强度不均匀和传感器的暗电流引起的噪声影响,需要对得到的光谱图像做适当预处理<sup>[14-15]</sup>;按式(1)进行相对反射率校正,即黑白板校正。此过程由数据采集软件完成。

$$R = \frac{R_o - R_d}{R_w - R_d} \quad (1)$$

其中: $R$  为反射率校正后的光谱图像; $R_o$  为待校正的原始光谱图像; $R_w$  为 99% 漫反射标准白板的全白标定图像; $R_d$  为盖上镜头盖后的全黑标定图像。

### 2.3 数据压缩

高光谱成像仪具有光谱分辨率高、光谱范围广等特点,输出的每幅图像都由数十或几百个波段构成,图像波段间隔狭窄且相对连续<sup>[16]</sup>。在由二维图像空间信息和光谱维所建立的三维影像立方体中,任一像素均可以提取出数百个光谱读数,以形成一条相对连续的光谱曲线<sup>[17]</sup>。

对幅面大小为 30 cm×50 cm 的色表图扫描成像得到的原始光谱图像保留了所有信息和数据,原始数据所需存储容量大约为 5 GB,经反射率校正后的 ENVI 文档的数据大小为 10 GB。这种过高的光谱维度和空间维度为后续的处理也带来不便,如占用大量的内存空间,不便于传输、运算等。为了提高后期数据处理的效率,需要对高光谱数据进行压缩。本文采用的数据压缩方法为线性插值算法:将 616 个高维波段数压缩归整到满足颜色测量要求的 380~730 nm,间隔 10 nm 共 36 个波段进行保存。整个压缩过程在自主设计开发的数据处理软件中实现,将数据压缩前后的数据分别绘制光谱曲线,如图

2 所示。从图 2 可以看出,压缩前后的数据基本吻合,即该压缩方法能确保最终数据不丢失有效信息,符合预期。经压缩后的高光谱数据可从原来的 10 GB 数据量减小为约 600 MB。

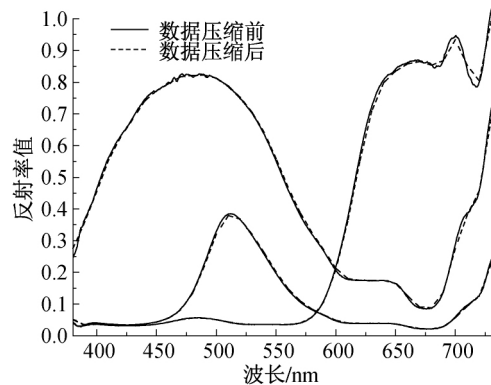


图2 数据压缩前后的光谱曲线

### 2.4 颜色数据提取

在目标色块的中心区域绘制感兴趣区域,该区域的大小和形状可根据需求人为调控。提取感兴趣区域内所有像素点的平均光谱作为该目标色块的光谱反射率,在本文自主设计开发的数据处理软件界面中,其反射率曲线如图 3 所示。同时,经计算后的颜色 Lab 值也将在界面中给出。感兴趣区域的颜色数据信息可通过“保存数据”按钮实现数据存储,便于后期数据比较与分析。

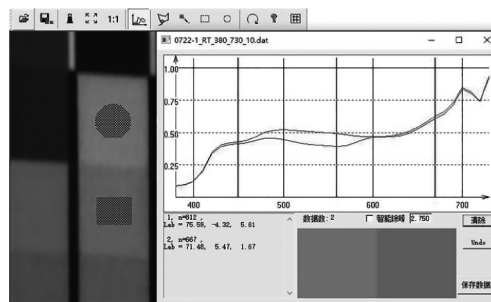


图3 颜色数据提取

### 2.5 智能除噪

纺织品数码印花生产过程中,机器状态不佳以及不可控的后处理(如蒸化、水洗)会使面料产生不同程度的沾污、沾色,沾污沾色情况如图 4(a) 箭头所示。而且,在加工、洗涤以及储存过程中纺织面料也会产生褶皱等问题,褶皱情况如图 4(b) 所示。

这些杂色点会影响最终颜色测量值的准确性,对感兴趣区域内所有像素点求平均光谱的算法无法消除杂色点的影响。理想状态下的感兴趣区域内是无杂色点的,若是存在杂色点,则基于杂色点数量少于正常颜色点的假设,本文采用一种智能除噪算法:

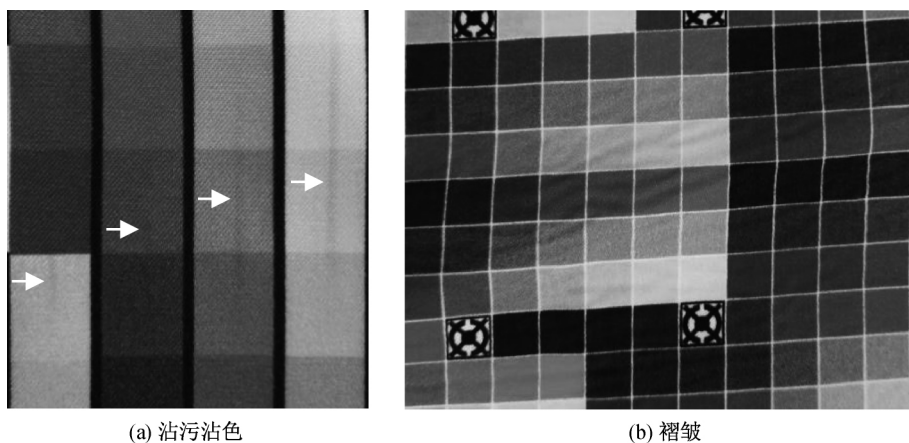


图4 不同形态的纺织面料

a) 对于目标色块, 计算感兴趣区域内有效点的平均光谱  $\bar{S}$ ;

b) 剔除与平均光谱  $\bar{S}$  误差最大的点(杂色点);

c) 重复上述 a)、b) 步骤直到剩余点的最大误差  $D_{\max}$  小于允许的最大光谱偏差  $S_{\max}$ , 或者剔除点数量  $N_{\text{del}}$  的比例达到 40% 为止, 求剩余有效点的平均光谱;

d) 根据感兴趣区域内剔除点的数量, 动态地调整允许的最大光谱偏差  $S_{\max}$  的值, 来加快下一个选

取的感兴趣区域内平均光谱的计算速度。具体调整方法为: 若感兴趣区域内剔除点数量  $N_{\text{del}}$  的比例小于 5%, 则适当减小  $S_{\max}$ ; 当  $N_{\text{del}}$  的比例大于或等于 40% 时, 适当增大  $S_{\max}$ 。

如图 5 所示为该算法流程图。将此智能除噪算法流程, 通过 C++ 编程, 整合在数据处理软件中。使用该智能除噪算法后, 感兴趣区域将不包含沾污、沾色、褶皱等杂色点, 大大提高了颜色测量的准确性。

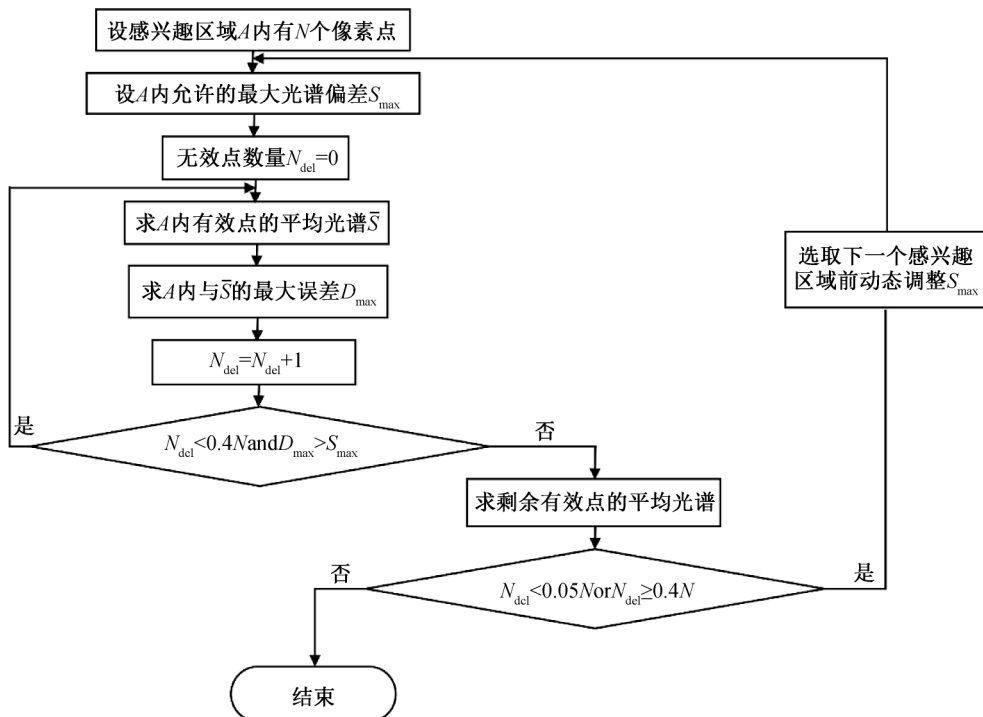


图5 智能除噪算法流程图

### 3 应用分析与讨论

在纺织品色彩管理流程中, 将高光谱成像技术颜色测量方法与现有的传统测色方法 X-Rite i1 进行比较, 分析该方法的相关性能及其应用价值。

#### 3.1 稳定性

每隔 1 天分别使用高光谱成像系统和 X-Rite i1 对纺织数码印花色彩管理中常用的标准四色色布样(共计 2009 个色块)进行测色, 共测 3 天并取 3 天的平均值。色差公式选择 CIEDE2000(2:1:1), 以 3

天测量每一个色块的数据平均值为基准,将每一天的测色数据与其进行对比,计算其整体平均色差的标准差,进而分析两种测色方法的稳定性。标准差计算结果如表1所示。

表1 两种测色方法不同时间内测量数据整体平均色差的标准差

时间	高光谱成像系统整体平均色差标准差	X-Rite i1 整体平均色差标准差
第1天	0.09	0.14
第2天	0.07	0.14
第3天	0.07	0.12

标准差可作为指标来度量某一测色方法的稳定性<sup>[18]</sup>,整体平均色差的标准差大小反映出当天测量数据较于基准的波动,数值越小表明该测量结果越靠近基准,相应的波动就越小,即越稳定。分析表1中数据可知,高光谱成像系统的测量数据整体平均色差标准差均小于X-Rite i1。由于X-Rite i1为手持式扫描测色,在3天的测色过程中,无法保证操作者的手势、扫描位置和速度完全一致,存在一定的人为操作误差且无法避免,而本文提出的测色方法能保证每一次的测试参数一致,降低了误差。由此可见,本文基于高光谱成像技术的测色方法稳定性优于传统测色方法。

### 3.2 对面料状态的抗干扰性

对于易变形的纺织面料,传统扫描测色方法会因滑尺对不齐而得到错误的测量数据。如图6为变形后的面料使用传统扫描测色方法的测量情况,虚线范围内表示同行色块,实线表示测量轨迹,圆形表示仪器测色范围,扫描方向为从左至右。由于面料的扭曲变形,测色仪会扫描到相邻行色块。本文则可在图像中准确选取每一个色块内的感兴趣区域,避免串行测色。

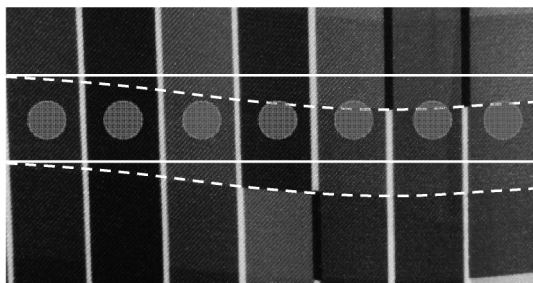


图6 传统扫描测色方法在面料变形情况下的测量示意图

为了验证该方法的其他抗干扰能力,实验随机选取20个布样纯色色块并对其做如图7(a)所示的模拟沾污沾色处理,分别用X-Rite i1和本文方法采集沾污沾色前后相同位置处的颜色数据。其中,

图7(b)模拟了X-Rite i1的小孔径测量模式,阴影部分为取值范围,图7(c)为本文测色方法测量后模拟效果。从图7可以看出,现有传统测色方法得到的最终颜色数据将包含沾污沾色部分的数据,若是使用本文测色方法且勾选智能除噪后,将自动剔除沾污沾色处的像素点数据。

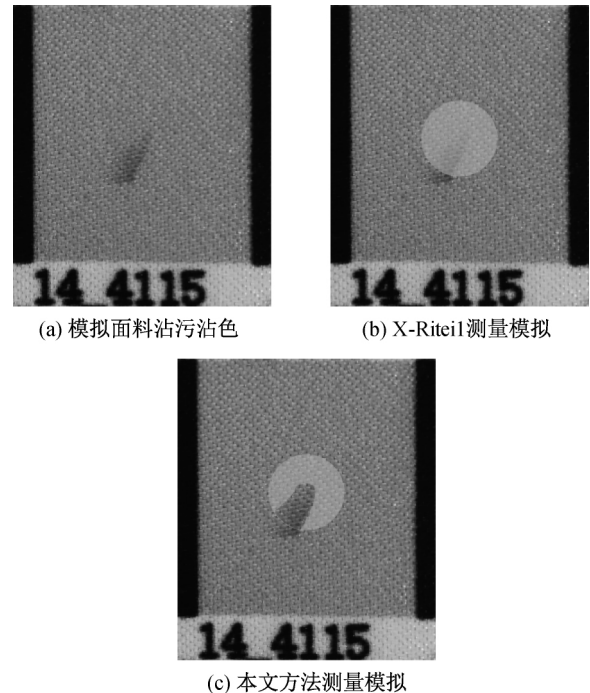


图7 不同测量方法对抗沾污沾色干扰性的验证示意

数据提取之后,假设沾污沾色前X-Rite i1测得的颜色数据为准确值,沾污沾色后X-Rite i1测得的颜色数据为测量值,选择色差公式CIEDE2000(2:1:1),计算色差。同理,统计本文测色方法得到的色差数据,结果如图8所示。从图8的20个色差数据可以看出沾污沾色后的布样纯色色块在本文测色方法下的色差整体小于X-Rite i1测量的。

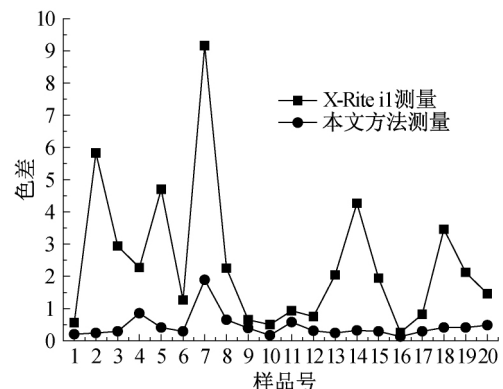


图8 不同测色方法的色差数据

对于纺织品面料褶皱,接触式测色相对于非接触式测色会改变表面物理状态,所以对面料褶皱的抗干扰实验无法与传统测色方法对比,只能针对本

文测色方法来展开。主要过程为随机选取 10 个布样纯色色块,在面料褶皱处理前,先用本文测色方法对色块颜色进行取值,假设该值为该色块颜色的标准值;面料褶皱后,再用本文测色方法分别取得勾选和不勾选智能除噪下的色块颜色数据;选择色差公

式 CIEDE2000(2:1:1),计算色差,其结果汇总如表 2 所示。从表 2 中平均值数据可以看出,在面料有褶皱的情况下,使用本文测色方法时勾选智能除噪可以减小测色色差,稳定性提升 11.65%左右。可见,本文测色方法对面料褶皱也将有很好的抗干扰性。

表 2 10 个布样纯色色块褶皱处理后不同取值方法的色差

测量方法	样品号										平均值
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
无智能除噪	0.82	0.72	0.66	1.30	1.11	1.69	1.00	1.85	0.52	0.63	1.03
智能除噪	0.79	0.67	0.40	1.06	1.05	1.43	0.84	1.82	0.42	0.60	0.91

### 3.3 智能除噪算法的实用性

智能除噪算法的计算时间与感兴趣区域的大小、杂色点数量、杂色点与正常颜色点的误差大小、 $S_{\max}$  的取值大小等因素有关。通过分析该迭代算法在实际应用中的计算时间来验证该算法的实用性。表 3 为无智能与智能除噪算法的计算时间比较;随

机选取 10 个含有不同杂色点的色块,分别绘制包含 2000 个数据点的感兴趣区域,对使用智能除噪算法前后的计算时间进行对比测试。其中,实验用的计算机相关参数为 i7-2600 处理器、3.40 GHz CPU、8 GB 内存。虽然智能除噪算法处理时间增加数十倍,但在人机交互中增加数十毫秒并不影响操作。

表 3 无智能与智能除噪算法的计算时间

算法	样品号									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
无智能除噪计算时间/ms	1.5	1.7	1.4	1.6	1.8	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6
智能除噪计算时间/ms	4.5	13.9	3.3	11.6	16.8	7.2	8.8	10.6	6.7	14.2

## 4 结 论

本文基于高光谱成像技术,提出了一种纺织品色彩管理中的颜色测量方法,利用高光谱相机成像后,采集样本图像数据并对其进行处理,最后提取完整的色块光谱数据。通过与 X-Rite il 测色仪的测量数据进行对比分析,结果表明,本文这种快速度的非接触式测色方法能有效避免面料变形影响和人为测量误差,能完整记录颜色信息且测量面积不受限,结合后期处理软件的智能除噪功能,可消除面料沾污、沾色、褶皱等随机噪声的影响,使最终得到的颜色数据波动小、更准确。本文研究结果为基于图像的数码测色法在纺织领域的进一步应用提供了理论方法和依据,也为下一步结合计算机模式识别技术,达到色块自动识别并一步实现成像到数据的测色方法奠定了基础,具有一定的应用价值。

### 参考文献:

- [1] Kim J S, Kang B H, Yoon C R, et al. Development of Color Management System Prototype [C]//IEEE International Conference on Systems. IEEE, 1998: 2529-2531.
- [2] 张为海. 浅析数码印花色彩管理[J]. 丝网印刷, 2016

(4): 41-43.

- [3] 王丽梅, 李学美. 基于色彩管理的色彩测量及其应用研究[J]. 印刷质量与标准化, 2015(2): 41-45.
- [4] 金肖克, 李启正, 张声诚, 等. 织物颜色测量方法的分类与发展[J]. 纺织导报, 2012(9): 103-105.
- [5] 袁琨. 颜色测量仪器关键技术及其应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2015: 50-51.
- [6] 陈奕艺, 徐海松, 张显斗, 等. 基于数码相机的光谱重构研究[J]. 光学学报, 2009, 29(5): 1416-1419.
- [7] 童庆禧, 张兵, 郑兰芬. 高光谱遥感[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 363-400.
- [8] 桂江生, 吴子娴, 顾敏, 等. 高光谱成像技术在农业中的应用概述[J]. 浙江农业科学, 2017, 58(7): 1101-1105.
- [9] 黄智, 陈建国, 昌宏涛, 等. 高光谱技术在烟草中的应用研究进展[J]. 作物研究, 2015, 29(1): 106-110.
- [10] 杨小玲, 由昭红, 成芳. 高光谱成像技术检测玉米种子成熟度[J]. 光谱学与光谱分析, 2016, 36(12): 4028-4033.
- [11] 赵明富, 夏曦, 张政委, 等. 基于高光谱图像技术的指纹识别研究[J]. 激光杂志, 2013, 34(1): 45-47.
- [12] 史宁昌, 李广华, 雷勇, 等. 高光谱成像技术在故宫书画文物保护中的应用[J]. 文物保护与考古科学, 2017, 29(3): 23-29.
- [13] 刘立新, 李梦珠, 赵志刚, 等. 高光谱成像技术在生物

- 医学中的应用进展[J]. 中国激光, 2018, 45(2): 214-223.
- [14] Chlebda D K, Majda A, Łojewski T, et al. Hyperspectral imaging coupled with chemometric analysis for non-invasive differentiation of black pens[J]. Applied Physics A, 2016, 122(11): 957.
- [15] Elmasry G, Sun D W, Allen P. Near-infrared hyperspectral imaging for predicting colour, pH and tenderness of fresh beef [J]. Journal of Food Engineering, 2012, 110(1): 127-140.
- [16] 侯妙乐, 潘宁, 马清林, 等. 高光谱成像技术在彩绘文物分析中的研究综述[J]. 光谱学与光谱分析, 2017, 37(6): 1852-1860.
- [17] Amigo J M, Babamoradi H, Elcoroaristizabal S. Hyperspectral image analysis. A tutorial[J]. Analytica Chimica Acta, 2015, 896: 34-51.
- [18] Vilaseca M, Schael B, Delpueyo X, et al. Repeatability, reproducibility, and accuracy of a novel pushbroom hyperspectral system[J]. Color Research & Application, 2014, 39(6): 549-558.

(责任编辑:唐志荣)