

# 数码提花色阶归并的对称多阈值误差扩散方法

陈洁,梅帆,李泽华,王远远,周华

(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)

**摘要:**针对数码提花工艺所能表达的色阶数有限,织物图像容易出现色阶过渡不匀的问题,在图像色阶归并处理的过程中,引入误差扩散算法,提出一种适用于数码提花机织物图像色阶归并的对称多阈值误差扩散方法。该方法能够改善图像色阶归并的效果,并避免传统误差扩散方法带来的图像偏移现象。对该方法的应用效果进行客观分析和进一步的实际织造验证,结果表明该方法能够在不改变现有组织结构和织造工艺的基础上,在视觉上改善图像色彩的归并效果。该方法应用方便,具有可行性和实用性,为数码提花机织物图像色阶归并提供新途径。

**关键词:**数码提花机织物;色阶归并;对称;多阈值;误差扩散

**中图分类号:** TS105.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-3851(2018)03-0125-06

## 0 引言

传统的提花织造工艺一般利用多组经纱或纬纱进行编织,色纱数十分有限,织物图案色彩以表现色纱固有色为主,不能满足色彩日益丰富的现代纺织品的织造需求<sup>[1]</sup>。数码提花技术的产生极大地改善了传统提花工艺的弊端,丰富了织物图像的色彩效果,在一定程度上满足人们对于提花产品色彩的需求<sup>[2-4]</sup>。

数码提花织物作为机织物的一种,其最终的色彩呈现取决于纱线颜色和织物组织结构<sup>[5]</sup>。根据色彩混色理论,织物所能表达的颜色总数与色纱基色数及基色色阶数有关: $S=U^N$ (其中 $S$ 表示颜色总数, $U$ 表示基色色阶数, $N$ 表示色纱基色数)。在色纱数和组织结构确定的情况下,色阶数与织物的组织循环大小有关,组织循环越大,单位循环内可产生的变化组织数即色阶数越多,织物所能表达的颜色总数也越丰富,但组织循环的增大会降低织物图像的分辨率。因此在实际应用中,考虑到工艺限制和织物图像分辨率,织物组织循环大小会受到限制,从而限制了织物所能表达的色阶数。为了满足织造工

艺条件,在进行织造前,工艺师们通常要将设计图分色后的单基色灰阶图像根据织物组织对应的色阶数进行色阶归并。但是这样织造出的织物图像会产生明显的马赛克效应,同时造成图像色彩的大量丢失,使织物图像严重失真。为了消除这种现象,工艺师们通常使用 Photoshop 等软件对分色后的单基色灰阶图像进行抖动、模糊或 256 色索引扩散处理,但这些做法会影响织物图像的清晰度、造成更严重的颜色丢失。

针对上述数码提花机织物图像色阶数远小于图像本身色阶数带来的色阶归并问题,本文引入误差扩散算法,提出一种对称多阈值误差扩散方法,力图在不改变图像清晰度的情况下,利用现有数码提花织造工艺,在视觉上大大增加目前数码提花技术的色彩表现力,并有效避免传统误差扩散算法带来的目标图像偏移现象。

## 1 传统误差扩散算法原理

误差扩散算法是图像数字半色调技术中常用的一种方法,最早由 Floyd 和 Stainberg<sup>[6]</sup>提出,一般用于灰度图向二值图像的转换上。该算法简单且效

果显著,在印刷等行业应用广泛。其核心思想是在图像色阶归并的过程中,将当前像素点产生的量化误差按照一定的比例和方向扩散到相邻未被处理的像素点上,使图像局部的量化误差在这些像素点上得到补偿,最终整幅图像的累计误差接近于零。<sup>[7]</sup>传统误差扩散算法的工作原理为:给定一个阈值  $T$ ,设原图像某一像素点灰度值输入为  $A$ ,输出为  $B$ ,则量化误差为  $h = A - B$ ;原图像被转换为二值图像的  $[0,1]$  范围内,对整幅图像按照从左到右、从上到下的顺序逐点转换,每一像素点的值均与阈值  $T$  相比较,若大于或等于阈值,则该点置为 1,否则置为 0。<sup>[8-9]</sup> 每次比较所产生的量化误差  $h$  按照一定的比例扩散到相邻未被转换过的点上。对于后续点,首先叠加上扩散而来的量化误差,再与阈值  $T$  相比较,并将新的量化误差扩散至尚未被转换的点上,如此重复进行,直至所有点转换完毕。<sup>[10-11]</sup>

误差扩散是一种邻域处理算法,图像处理后会产生产生于局部灰度值的随机散点,由于人眼视觉的低通滤波特性和空间混色特点,观察者在一定距离外观察时,会将图像上空间分布相近的几个或更多点视为一个整体,并将其灰度的平均值作为该区域整体的灰度值,从而在整体上形成连续色调的效果,在视觉上增加图像的色阶数。<sup>[12-14]</sup>

误差扩散算法中产生的误差只能向未处理的像素点扩散,其扩散方向通常为右、右下、下、左下四个非对称的方向<sup>[15]</sup>,因此经传统误差扩散处理后的图像会向某一方向偏移。由于数码提花机织物的组织点尺寸较大,即使一两个像素的偏移量,在织造出的织物图案上也会表现出明显的偏移,影响纺织品图像的质量。

## 2 对称多阈值误差扩散方法原理

针对目前数码提花技术织造前期图像色阶归并存在的问题,本文提出一种对称多阈值误差扩散方法。该多阈值误差扩散方法按照基色分色后的各单基色图像逐点逐行依次扫描进行。其实现原理为:将分色后的各单基色图像从  $m$  级压缩至  $n$  级( $n$  为整数且  $1 < n < m$ ,  $n$  由所选用的织物组织确定),首先根据所选用的织物组织实际织造测得的灰阶值,确定  $n$  级图像各色阶所对应的颜色灰度值,并将其作为阈值  $T_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ ;将各单基色图像中的像素点逐点与  $T_i$  相比较,用最接近像素点值的阈值  $T_i$  代替当前像素点的颜色灰度值,并将对比产生

的量化误差按照一定的方向和比例扩散到相邻未被处理过的像素点上;如此逐点逐行依次进行,直至各单基色图像内所有像素点处理完毕,最终获得  $n$  级色阶图像。

为了避免图像的偏移,本文同时提出多阈值误差扩散方法的对称扩散方法,即将误差扩散分两次完成,两次误差扩散处理的方向相反,且在相应方向上的扩散比例相同,以使得两次误差扩散的效果对称,避免单次误差扩散后出现图像偏移的现象。例如第一次误差扩散的处理顺序为从左到右、从上到下,误差扩散方向为右、右下、下、左下四个方向;对应的第二次误差扩散的处理顺序则为从右到左,从下到上,误差扩散方向为左、左上、上、右上四个方向,正好与第一次误差扩散的方向相反。两次多阈值误差扩散的目标色阶级数和阈值有所不同:第一次误差扩散时,目标色阶级数为  $2n-1$ ,为第二次误差扩散提供误差修正空间,所对应的颜色灰度值即阈值取目标色阶灰度值及其两两之间的中间值;第二次误差扩散的目标色阶级数为  $n$ ,阈值为所选用织物组织实际织造的灰阶值。对于误差在各扩散方向的扩散比例根据图像实际的误差扩散效果而定,本文各扩散方向的扩散比例采用  $7/16 : 3/16 : 3/16 : 3/16$ 。对称多阈值误差扩散的过程可以归纳为两步:a) 阈值化,产生量化误差;b) 将量化误差按照一定的方向和比例扩散到相邻未被处理过的像素点上<sup>[16]</sup>。如图 1 所示为本文提出的对称多阈值误差扩散方法的方向、比例及效果示意图。

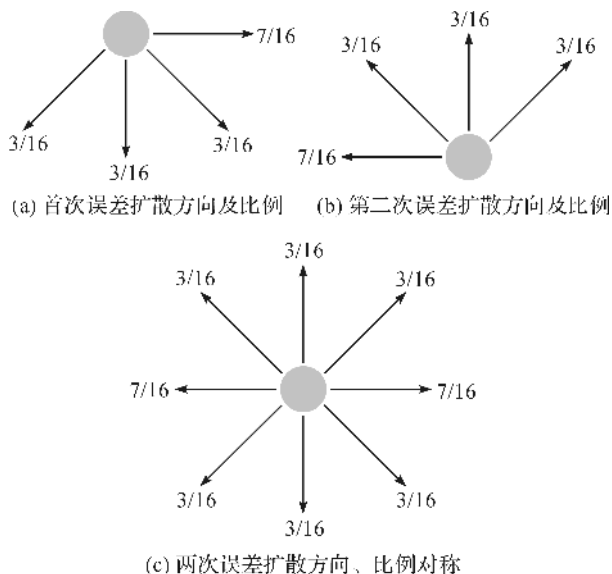


图 1 两次误差扩散的方向、比例及效果示意图

为进一步表明本文提出的对称误差扩散方法能够有效改善传统误差扩散方法带来的图像偏移问题,本文以图 2(a)所示的圆形渐变图为例来说明。分别使用传统误差扩散方法和本文提出的对称误差扩散方法对原图(a)进行色阶归并,将归并完成后的图像和原图导入 Photoshop 软件中,以原图(a)的圆心位置为基准建立纵横向参考线,将各图放大至最大倍数(3200 倍),其部分效果呈现如图 2 中(b)、

(c)、(d)图所示。在相同参考线下观察归并处理后的图 2(c) — (d),可见:经传统误差扩散方法处理后,图 2(c)图像圆心位置较图 2(b)原图圆心位置向下发生了 3 个像素量的明显偏移,而对称误差扩散方法处理后的图 2(d)的圆心位置与图 2(b)相接近,基本没有偏移量。由此可见,本文提出的对称误差扩散方法能够更好地改善传统误差扩散方法带来的图像偏移现象。

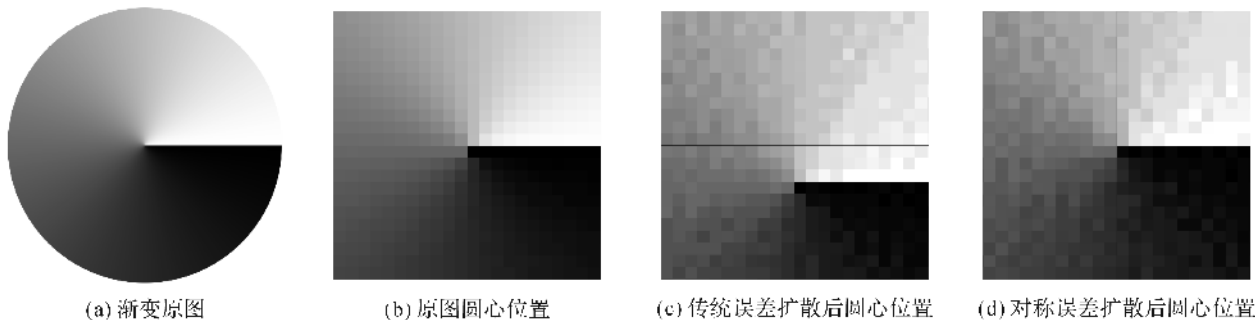


图 2 两次误差扩散图像偏移量对比

### 3 应用分析与讨论

#### 3.1 应用分析

下文举例详细说明该对称多阈值误差扩散方法的应用效果。对于图 3(a)所示渐变图像,按照传统数码提花技术的色阶归并方法,将图像由 256 级归并至 14 级,可以得到如图 3(b)所示的效果,色阶过渡效果非常不好。图 3(c)为使用本文提出的对称

多阈值误差扩散方法的处理结果,较图 3(b)有明显的改善,视觉效果接近原图。值得注意的是,使用传统的 256 色索引扩散方法对图像进行归并处理,图像经抖动扩散后在视觉上的效果也近似于原图,但是图像颜色总数被限制在 256 种索引颜色内,图像色彩信息有较严重的丢失;而使用本文提出的方法对图像处理,可达到的实际颜色数依然为  $14^4$  种。

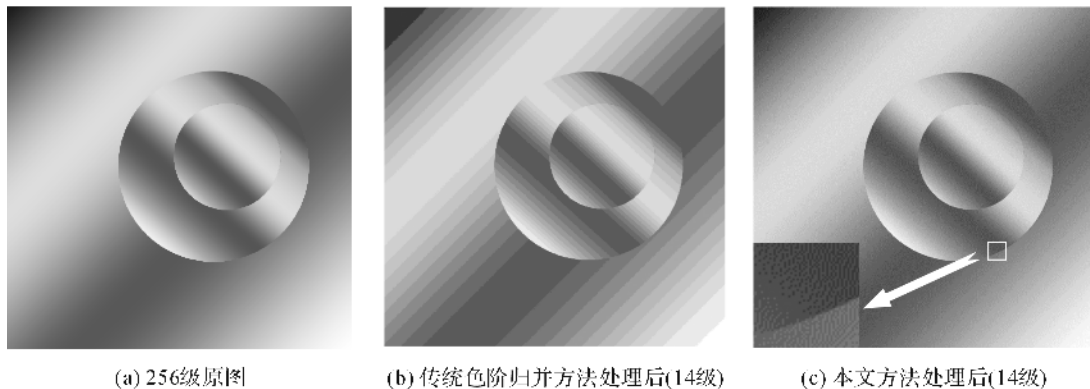


图 3 渐变图像

将图 3 中各分图导入 Photoshop 软件中,得到图像色彩信息相应的灰阶直方图,如图 4 所示。图 4 中直方图横轴代表图像亮度从全黑到全白的渐变,表示图像的灰阶渐变,具有 256 个等级;纵轴为频数,代表各灰阶等级的像素数量<sup>[17]</sup>。理论上,横轴坐标峰数越多,峰与峰之间分布越连续,则图像的色彩数越多,色阶连续性越好,图像色彩越丰富。

图 4 中(a)图峰-峰分布连续,表示原图具有丰富的色阶数;经不同方法归并后的(b)、(c)两图都只剩余 14 个峰,即均具有 14 级灰度,表示图像经传统色阶归并方法和本文提出的对称多阈值误差扩散方法处理后的色阶数相同,对于织造工艺的要求也相同。

视觉效果分析:根据误差扩散原理,图像处理后的视觉呈像是利用人眼的低通滤波特性来实现图像

的连续色调呈现的<sup>[9]</sup>。因此,本文使用 Photoshop 中的高斯模糊模拟人眼的低通滤波特性,调整模糊半径,达到将误差扩散像素散点模糊掉形成连续色调,但又不明显降低图像清晰度的效果。高斯模糊半径取 1.5,分别对图 3 中(b)、(c)两图进行高斯模糊处理,得到新的灰阶直方图,如图 5 所示。

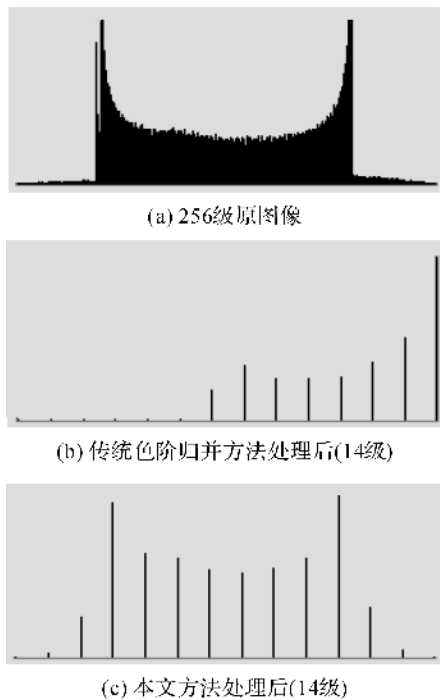


图 4 各图像对应的灰阶直方图

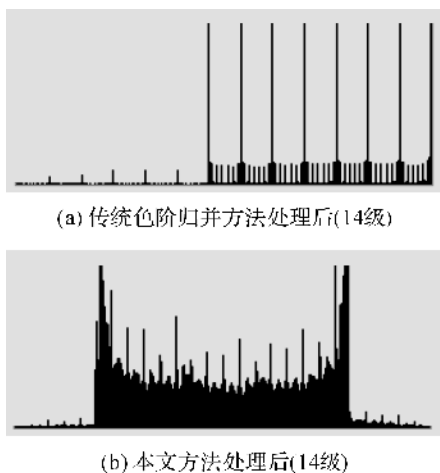


图 5 高斯模糊处理后各 14 级图像对应的灰阶直方图

对比图 4、图 5 中的直方图可以看出,图 5(b)的视觉色阶数明显增多,色阶连续性大大优于图 5(a),在色阶分布上更加接近原图的色阶分布(图 4(a)),而图 5(a)仍表现出跳跃、不连续的色阶分布。由此说明,本文提出的对称多阈值误差扩散方法能够在保持图像归并后色阶数不变(即织造工艺不变)的情

况下,在视觉上丰富图像色彩,使图像视觉效果更接近于原图。

### 3.2 应用实践

为了更好地验证该对称多阈值误差扩散方法的实际应用效果,实际织造如图 6 所示的渐变图。



图 6 实例渐变原图

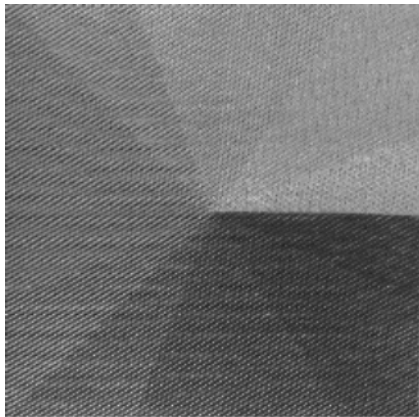
本例选用青(C)、品红(M)、黄(Y)、黑、白(K,K 包含黑白两色)几种色纱,其中白纱作经纱,其余色纱作纬纱进行织造。所选用的组织是以 16 枚缎纹组织为基础组织的全显色组织,其对应的基色色阶级数为 14 级,即 C、M、Y、K 的渐变均包含十四种变化。实际织造图像前,首先根据所选用的织物组织织造相应的基色灰阶色卡,用于测量获得各色阶对应的颜色灰度值,便于图像色阶归并时使用。通过测量灰阶色卡得到的各色阶相应的颜色灰度值(阈值  $T_i$ )如表 1 所示。

表 1 本文实例应用中的色阶等级及相应的颜色灰度值

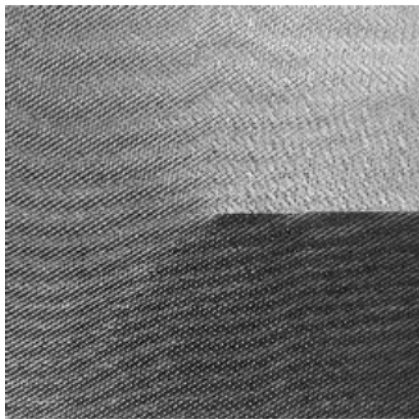
色阶等级	颜色灰度值(阈值 $T_i$ )	色阶等级	颜色灰度值(阈值 $T_i$ )
1	0	8	53.85
2	7.69	9	61.54
3	15.18	10	69.23
4	23.08	11	76.92
5	30.77	12	84.62
6	38.46	13	92.31
7	46.15	14	100.00

将实例图像经过 CMYK 基色分色后,得到 C、M、Y、K 四基色灰度图,对各单基色灰度图分别使用本文提出的对称多阈值误差扩散方法和传统色阶归并方法进行色阶归并,并按照与织造灰阶色卡相同的工艺参数织造图像,其成品实物效果如图 7 所示。需要说明的是,由于本例选用的全显色组织的

织造特点是所有色纱均参与显色,所以实物布面白色部分由于空间混色效应呈现出灰白色。但是无论实物的色彩效果如何,通过对比表明,本文提出的对称多阈值误差扩散方法的应用对于数码提花机织物图像色彩过渡有明显的改善效果,能够在不改变织造工艺(色纱、组织循环数、密度等)的情况下,实现视觉上的图像色彩丰富化。



(a) 传统色阶归并方法处理后(14级)



(b) 本文方法处理后(14级)

图7 实例渐变14级图像实物图

## 4 结 论

本文针对数码提花技术可呈现的颜色色阶数有限,使用传统图像色阶归并方法带来的色阶过渡不均匀问题,提出一种新的适用于数码提花机织物图像色阶归并方法,主要结论如下:

a) 引入误差扩散算法,提出多阈值误差扩散方法,改善了数码提花机织物图像由较高色阶数向较低色阶数归并的效果,实现织物图像色彩在视觉上的层次丰富化;

b) 通过对称误差扩散处理,消除了传统误差扩散带来的目标图像偏移现象;

c) 利用高斯模糊方法模拟人眼的低通滤波特性,客观对比分析应用效果,表明图像使用本文提出的方法处理后,其视觉效果接近原图;

d) 通过实际织造效果的对比验证,表明该方法能够在不改变织造工艺的情况下,实现图像色彩在视觉上的丰富化,具有较好的实用性和可行性。

## 参考文献:

- [1] 李加林,陶永政. 数码仿真彩色丝织技术及其应用[J]. 纺织学报,2004,25(1):123-125.
- [2] 周赳,龚素娣. 电子提花彩色像景织物的设计原理[J]. 丝绸,2001,38(9):31-37.
- [3] 李启正,周赳. 数码多色经提花织物设计的色彩模型[J]. 丝绸,2005,42(5):14-16.
- [4] 李加林. 高密度全显像数码仿真彩色丝织物[J]. 现代纺织技术,2011,19(3):52.
- [5] 周赳,吴文正. 数码提花织物创新设计的实质[J]. 纺织学报,2007,28(7):33-37.
- [6] Floyd R, Stainberg L. An adaptive algorithm for spatial gray scale[J]. Society for Information Display,1976,17(2):75-77.
- [7] 张寒冰,袁昕. 数字半色调技术中的误差扩散算法的研究[J]. 计算机应用,2010,3(4):925-928.
- [8] 张大宁. 基于视觉差反馈的误差扩散半色调算法[D]. 西安:西安电子科技大学,2012.
- [9] 王晓红,刘丽丽,陈豪,等. 一种基于动态误差扩散系数的数字半色调算法[J]. 包装工程,2017,38(13):199-203.
- [10] Metaxas P T. Optimal parallel error-diffusion dithering[J]. SPIE, 1998,3648:485-494.
- [11] Ostromoukhov V. A simple and efficient error-diffusion algorithm [C]//Proceedings of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York:ACM,2001:567-572.
- [12] 冯伟. 多级半色调技术研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2014.
- [13] 于晓庆. 浅谈几种常用的数字半色调算法[J]. 印前技术,2009,59(2):16-18.
- [14] 叶玉芬. 数字半色调技术中的误差扩散算法研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2006.
- [15] 白高峰. 半色调数字水印算法研究[D]. 天津:天津大学,2005.
- [16] 半色调技术简介[EB/OL]. [2017-08-30]. <http://blog.csdn.net/majinlei121/article/details/49335693>.
- [17] 万钦. Photoshop 色阶直方图在数码照片处理中的应用[J]. 电子商务,2013(6):62-63.

## Symmetric multi-threshold error diffusion method for image color merging of digital jacquard woven fabric

CHEN Jie, MEI Fan, LI Zehua, WANG Yuanyuan, ZHOU Hua

(The Key Laboratory of Advanced Textile Materials and Manufacturing Technology,  
Ministry of Education, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 320018, China)

**Abstract:** The number of colors expressed by digital jacquard technology is limited, and the color of the fabric is prone to be uneven. For the above problems, error diffusion algorithm was introduced in the process of image color merging, and a symmetric multi-threshold error diffusion method was proposed for digital jacquard woven fabric. The method can improve the effect of color gradation merging, and avoid the image offsetting caused by traditional error diffusion method. The objective analysis and practical weaving verification of the method show that the method can improve the effect of color merging without changing the existing fabric structure and weaving technology. The method is convenient, feasible and practical, providing a new way for image color merging of the digital jacquard woven fabric.

**Key words:** digital jacquard woven fabric; color merging; symmetric; multi-threshold; error diffusion

(责任编辑:唐志荣)