

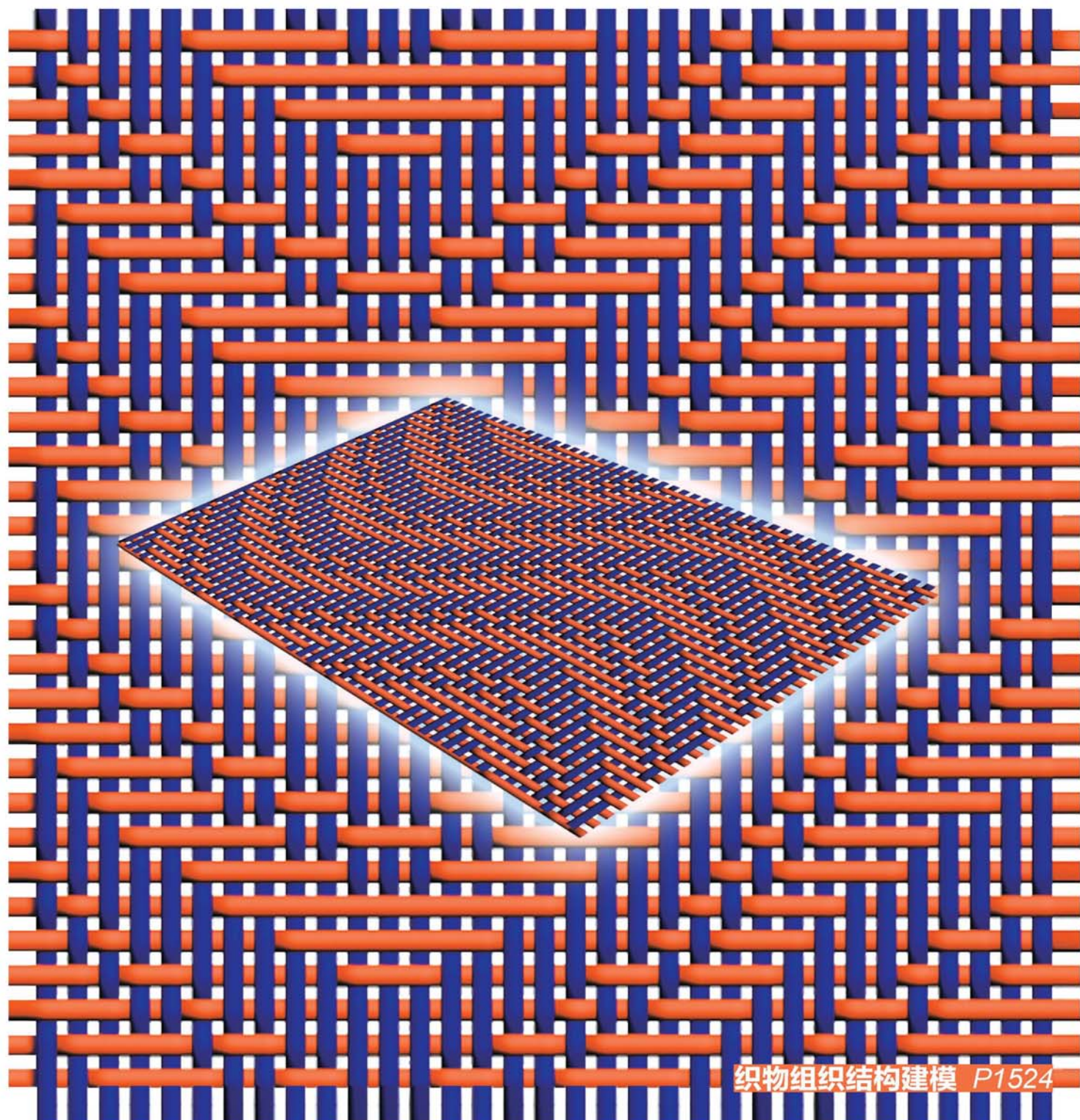


主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2014
10
VOL.19

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

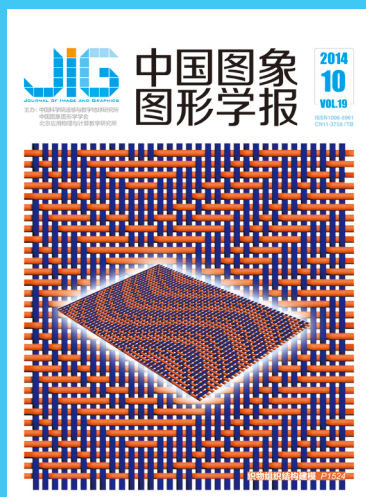


织物组织结构建模 P1524

中国图象图形学报

刊名题字：宋健

月刊（1996年创刊）



第19卷第10期（总第222期）

2014年10月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@irsa.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司
(邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048)

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS
China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of
Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@irsa.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China))

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

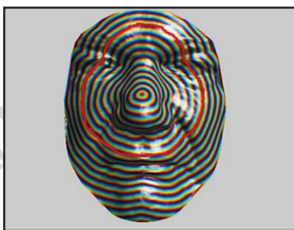
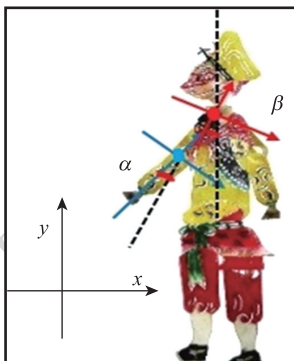
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

国内定价 50.00元

自适应梯度重建分水岭分割
算法(第1430页)基于特征点针对表情变化的
3维人脸识别(第1459页)数字皮影的交互仿真和动画
绘制(第1490页)

综述

2维至3维图像/视频转换的深度图提取方法综述

李可宏, 姜灵敏, 龚永义 1393

图像处理和编码

优化参数化二元模映射信息隐藏

廖琪男, 柯琦, 赖振丹 1407

基于分数阶微积分的噪声检测和图像去噪

杨柱中, 周激流, 郎方年 1418

图像分析和识别

自适应梯度重建分水岭分割算法

张志禹, 孟令辉, 雷涛 1430

鲁棒空间约束的模糊聚类图像分割

刘金尧, 纪则轩 1438

灰度级信息的目标边界精确周长估算

吴秦, 周琪, 梁久祯 1449

基于特征点表情变化的3维人脸识别

李燕春, 达飞鹏 1459

图像理解和计算机视觉

曲率无穷范数约束的曲线3维重建

贺磊盈, 武传宇, 杜小强 1468

光照变化条件下的光流估计

刘骏, 祖静, 张瑜, 张红艳 1475

GPU近实时线性双目立体代价聚合

陈彬, 陈和平, 李晓卉 1481

计算机图形学

数字皮影的交互仿真和动画绘制

陈璇, 张明敏, 潘志夷 1490

遥感图像处理

由航空影像自动重建大范围3维地形

杨阿华, 李学军, 谢剑薇, 李东岳 1500

结合结构相似度的自适应多尺度SAR图像变化检测

崔莹, 熊博莅, 蒋咏梅, 匡纲要 1507

第11届全国智能CAD与数字娱乐学术会议专栏

特征驱动先验的归一化卷积超分辨率重建

徐枫, 严锡君, 黄陈蓉, 郑胜男, 黄凤辰, 徐立中 1514

机织物组织图的数学描述与3维几何建模

杨允出, 李基拓, 陆国栋 1524

虚拟手术流血模拟的GPU加速实现

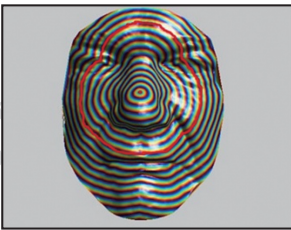
赖颢升, 向辉 1532

CONTENTS

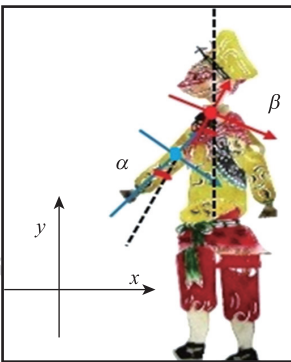
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Adaptive gradient reconstruction for watershed based image segmentation (P1430)



Expression-insensitive 3D face recognition method based on facial fiducial points(P1349)



Interaction and animation simulation of digital shadow play(P1490)

Review

- Depth map extraction methods in 2D-3D image/video conversion
Li Kehong, Jiang Lingmin, Gong Yongyi 1393

Image Processing and Coding

- Optimal parameterized binary modulo mapping steganography
Liao Qinan, Ke Qi, Lai Zhendan 1407
- Noise detection and image de-noising based on fractional calculus
Yang Zhuzhong, Zhou Jiliu, Lang Fangnian 1418

Image Analysis and Recognition

- Adaptive gradient reconstruction for watershed based image segmentation
Zhang Zhiyu, Meng Linghui, Lei Tao 1430
- Robust spatial factor based fuzzy clustering for image segmentation
Liu Jinyao, Ji Zexuan 1438
- Accurate perimeter estimation of target boundary based on gray-level information
Wu Qin, Zhou Qi, Liang Jiuzhen 1449
- Expression-insensitive 3D face recognition method based on facial fiducial points
Li Yanchun, Da Feipeng 1459

Image Understanding and Computer Vision

- Three dimensional curve reconstruction under the L-infinity norm of curvatures
He Leiying, Wu Chuanyu, Du Xiaoqiang 1468
- Optical flow estimation method under the condition of illumination change
Liu Jun, Zu Jing, Zhang Yu, Zhang Hongyan 1475
- Near real time linear stereo cost aggregation on GPU
Chen Bin, Chen Heping, Li Xiaohui 1481

Computer Graphics

- Interaction and animation simulation of digital shadow play
Chen Xuan, Zhang Mingmin, Pan Zhigeng 1490

Remote Sensing Image Processing

- Automatic reconstruction of large area 3D terrain from aerial imagery
Yang Ahua, Li Xuejun, Xie Jianwei, Li Dongyue 1500
- Multi-scale approach based on structure similarity for change detection in SAR images
Cui Ying, Xiong Boli, Jiang Yongmei, Kuang Gangyao 1507

Column of CIDE'2014

- Normalized convolution based super-resolution reconstruction using feature-driven prior
Xu Feng, Yan Xijun, Huang Chenrong, Zheng Shengnan, Huang Fengchen, Xu Lizhong 1514
- Mathematical expression and 3D geometrical modeling of weave diagram
Yang Yunchu, Li Jituo, Lu Guodong 1524
- Bleeding simulation of virtual surgery implemented on GPU
Lai Haosheng, Xiang Hui 1532

中图法分类号: TP391.72 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2014)10-1524-08

论文引用格式: Yang Y C, Li J T, Lu G D. Mathematical expression and 3D geometrical modeling of weave diagram[J]. Journal of Image and Graphics, 2014, 19(10): 1524-1531. [杨允出, 李基拓, 陆国栋. 机织物组织图的数学描述与3维几何建模[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(10): 1524-1531.] [DOI:10.11834/jig.20141015]

机织物组织图的数学描述与3维几何建模

杨允出^{1,2}, 李基拓², 陆国栋²

1. 浙江理工大学 浙江省服装工程技术研究中心, 杭州 310018; 2. 浙江大学机械工程学系, 杭州 310027

摘要:目的 织物组织结构的3维几何模型是进行机织物的3维外观模拟和性能预测的基础。提出直接由组织结构参数建立机织物3维几何模型的方法。**方法** 根据构成机织物组织交织规律的浮长序列、交叉数、飞数、经纬纱循环数等参数,建立单层织物的组织图矩阵生成的数学公式;结合组织图矩阵和织物中纱线的屈曲模型,采用直线和余弦曲线分段函数建立组织矩阵中组织点间纱线路径的数学公式,并基于椭圆截面模型实现机织物的3维模拟;通过对经、纬纱的 X 或 Y 坐标函数中引入修正因子,实现纱线路径的扭曲变形。**结果** 实现不同组织类别、不同结构参数、不同纱线截面及基于均匀分布的纱线扭曲等条件下单层机织物的3维几何结构模拟,仿真效果较好。**结论** 本文方法将组织图矩阵生成和织物结构3维建模两个过程结合,快速生成单层机织物的3维几何模型。通过实时更改结构参数,实现不同结构织物的模拟,而且可以模拟经、纬纱平面外扭曲现象。

关键词:机织物;组织图;矩阵;几何建模

Mathematical expression and 3D geometrical modeling of weave diagram

Yang Yunchu^{1,2}, Li Jituo², Lu Guodong²

1. Zhejiang Provincial Research Center of Clothing Engineering Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China

2. Mechanical Engineering Department, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China

Abstract: Objective In order to simulate three dimensional appearances and predict the performance of woven fabrics based on the weave structure, this paper presented a method to create the three dimensional geometrical models of yarn buckling in woven fabrics directly from weave structural parameters. **Method** In the method, two steps are combined, including weave diagram generation from structure parameters and three dimensional geometrical modeling from weave diagram. In first step, weave diagram is looked as a Boolean matrix. According to the weave category, the yarns interlacing rules in the weave diagram are described by a series of parameters, such as the float array, crossing number, step number and the numbers of ends or filling in weave repeat. Several functions are created to generate the matrixes of common single layer weaves according to these parameters. The weaves are separate into regular weave, quasi regular weaves and un-regular weave. In second step, the yarn paths are separated into two segment types (straight line and cosine curve) according to the warp or filling yarns buckling models. The yarns cross section shape are looked as circle or ellipse. The three dimensional geometrical coordinates of warp and filling yarn buckling path are expressed by some piecewise functions according to weave matrix. The parameters in these functions include the long radius and short radius of ellipse, the straight distances of line segment in warp yarns or weft yarns, the straight distances of cosine curve segment in warp yarns or weft yarns, the am-

收稿日期:2014-03-20;修回日期:2014-06-19

基金项目:浙江省自然科学基金项目(LQ12E05015, Y110504, LY13F020003);浙江省服装工程技术研究中心开放基金项目(2012002);浙江理工大学校科研创新团队项目(13070055-Y);浙江省教育厅高等学校访问学者专业发展项目(FX2013033)

第一作者简介:杨允出(1979—),男,副教授,2007年于东华大学获服装设计与工程专业博士学位,主要研究方向为服装及纺织品CAD技术、织物服用性能分析及数理建模。E-mail: gary0577@126.com

plitudes of warp and weft yarns buckling waves. Additionally, the modified functions also are created and two correcting factors are introduced to simulate three dimensional yarn buckling path by considering the distortion of warp and filling yarns in woven fabric. The values of the correcting factors can be generated by adopting a sine function or random function.

Result Finally, the three dimensional modeling experiments of single layer woven fabrics were performed. In these experiments, the input information includes weave types, structural parameters, yarn cross section shape and yarn distortion parameters. The created models in these experiments include plain weave, twill weave, satin weave, compound twill, waved twill curved twill, interlaced twill. The models of plain weaves with different structural parameter values are compared, including yarns cross section shape, yarn counts and the yarn buckling amplitude. The models of twisted plain weaves based on uniform random function are also compared with untwist plain weave model and the scanned fabric image. The results show that this method is feasible and convenient. All fabric models in the paper with different input parameters have good simulated effect. **Conclusion** This paper proposes a convenient method to create the three dimensional geometrical models of single layer fabric directly from weave structural parameters, which combined weave matrix generation and yarn buckling modeling. Only by changing the weave information and fabric structure parameters, the different fabric geometrical models can be created quickly. The method can not only simulate two dimensional yarn buckling models, but also for three dimensional yarn buckling.

Key words: woven fabric; weave diagram; matrix; geometrical modeling

0 引言

织物仿真,利用计算机图形、图像技术,根据织物组织与结构参数、纱线特征与色纱排列等信息,自动生成织物模拟效果。它能有效提高产品设计效率,加快对市场的反应速度。近年来,随着计算辅助技术的不断发展,对织物仿真的要求也越来越高,真实模拟织物 3 维外观结构特征及图案效果已成为织物 CAD 发展的重要方向。另外,纺织品作为材料(包括服用、装饰用和产业用),其几何结构特征很大程度上影响着产品的性能与应用。许多研究采用数值分析方法来研究纺织品(尤其是纺织复合材料)的结构与性能的关系,而建立纺织品的 3 维几何模型是这些研究的前提^[1-5]。本文结合规则性机织物组织的数学描述和经纬纱的屈曲模型,直接由组织结构参数信息构建 3 维织物的几何仿真模型,为进一步预测织物几何结构与外观、性能的关系奠定基础。

1 相关工作

由于织物结构类别多样,目前尚无统一的纺织品 CAD 系统,而以专用 CAD 形式出现,包括多臂机织物 CAD、纹织物 CAD、纬编针织物 CAD、经编针织物 CAD、印花 CAD、绣花 CAD 等;典型的系统如德国 EAT 公司 Design Scope Victor,英国苏格兰纺织学院开发的 ScotWeave 系统,荷兰 NedGraphics 公司 Tex-

celle 系统,浙江大学经纬公司的纺织品 CAD 系统等。但这些大多采用图像方式辅助设计与模拟,较少将织物 3 维虚拟设计与力学属性的预测结合在一起^[1]。

机织物的几何结构模型主要有 Peirce 圆形模型、Peirce 椭圆形改进模型、Kemp 跑道形模型、Hearle 透镜形模型等^[2],如图 1 所示。其中,经典 Peirce 圆形模型较适合计算稀疏或低密织物;而 Peirce 椭圆形模型、Kemp 跑道形模型和 Hearle 透镜形模型,考虑了纱线在织造过程中受到压力产生压扁变形效果,较适用于紧密织物的模拟。

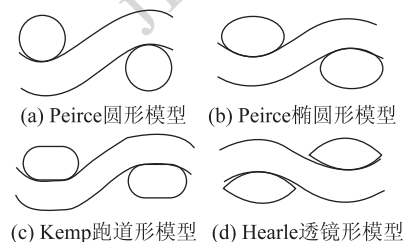


图 1 典型的机织物结构几何模型

Fig. 1 Typical geometry models of woven fabric structure

基于上述几何结构模型,一些学者提出了织物组织的 3 维建模方法。Sabit 等人^[1]采用圆形纱线截面模型,利用正弦曲线模拟纱线屈曲路径,开发了机织物 3 维设计与分析系统。Tuba 等人^[3]基于椭圆形纱线截面和正弦曲线的纱线屈曲路径建立了管状编织物的 3 维几何模型。Nikolay 等人^[4]采用 Peirce 圆形模型建立了机织毛圈组织的 3 维模型。Jiang 等人^[5]采用 2 维极坐标系统,控制纱线不同极

角的径向半径,建立不规则形状的纱线截面,并以周期插值 B 样条模拟纱线屈曲路径。Chen 等人^[6]对已成功应用于 3 维机织结构材料 CAD/CAM 系统的 3 维织物几何建模的数学方法进行了描述,所举的织物结构包括单层结构、3 维正交结构、3 维角联锁结构和 3 维中空结构等。Lin 等人^[7]采用椭圆截面模型,由样条曲线模拟纱线屈曲路径,建立了机织物的 3 维几何模型。Zheng 等人^[8]提出了一种新方法建立单纱结构且带有 3 维加捻效果的织物模型。该方法的纱线截面包括不同规则及非规则形状,同时沿纱线路径对截面进行位置旋转,从而实现 3 维加捻效果。罗敏等人^[2]基于圆形和椭圆形截面及正弦曲线屈曲路径,计算纱线的屈曲形态,并模拟平纹组织和透孔组织织物的 3 维效果。

综上所述,国内外纺织 CAD 中的织物 3 维几何建模已经取得了很大进展,但现有模拟方法大多假设纱线屈曲路径落在一个 2 维的截平面内,而未考虑由于捻度、张力等因素导致经、纬纱出现扭曲的问题。另外,文献[9-10]对不同类别的织物组织矩阵生成进行了数学建模,以便根据组织参数自动设计出织物上机所需的组织图、穿综图和纹板图。但这些文献未根据这些组织图矩阵进一步对织物 3 维几何结构进行数学描述。

本文提出将组织图矩阵生成和织物结构 3 维建模两个过程结合,建立了直接由组织结构参数到机织物 3 维几何模型的数学公式,同时还考虑了纱线路径由 2 维曲线扭曲转化 3 维曲线的模型修正问题,以便能更准确地模拟织物经、纬纱出现扭曲后的

几何结构特征。

2 机织物组织图的数学描述

机织物中经、纬纱相互交织的规律,通常用组织图来表述。如果将组织图中每个格子看做一个元素,经浮点“■”用 1 表示,纬浮点“□”用 0 表示,则可以将组织图转换为 2 维的布尔矩阵,称为组织矩阵 W ,即

$$W = \begin{bmatrix} w_{R_2,1} & w_{R_2,2} & \cdots & w_{R_2,R_1} \\ \vdots & \vdots & w_{i,j} & \vdots \\ w_{2,1} & w_{2,2} & \cdots & w_{2,R_1} \\ w_{1,1} & w_{1,2} & \cdots & w_{1,R_1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, $w_{i,j}$ 为组织点值, i 为行(纬纱)索引, j 为列(经纱)索引, R_1 为经纱循环数, R_2 为纬纱循环数,见式(1)。当组织图用矩阵进行数学描述后,组织图设计就可以转化为组织矩阵的赋值、运算和变换处理。

2.1 织物组织的分类及参数描述

机织物组织一般分为简单组织(三原组织、变化组织、联合组织)和复杂组织(重组织、双层及多层组织、起绒组织、纱罗组织)。简单组织相对于重组织和多层组织而言,其结构是单层,故又可分为单层组织。为了便于织物组织的计算机模拟生成与设计,根据构成织物组织的交织规律、交叉数和飞数,可将单层组织分为规则组织、准规则组织和非规则组织 3 类^[10]。表 1 给出了不同类别组织的特征、常用组织名称和对应的参数描述。

表 1 不同类别组织的参数描述^[10]

Table 1 Parameter description of different weaves^[10]

类别及特征	名称举例	参数描述
	基本平纹	$N_c = 2; C_1 = C_2 = 1; S_1 = S_2 = \pm 1$
	基本斜纹	$N_c = 2; \sum C \geq 3$ 且 $C_1 = 1$ 或 $C_2 = 1; S_1 = S_2 = \pm 1$
	加强斜纹	$N_c = 2; \sum C \geq 4$ 且 $C_1 \neq 1, C_2 \neq 1; S_1 = S_2 = \pm 1$
	复合斜纹	$N_c \geq 4; \sum C \geq 5; S_1 = S_2 = \pm 1$
规则组织:交织规律一定,飞数一定	角度斜纹	$N_c \geq 2; \sum C \geq 5$; 急斜纹 $S_1 > 1, S_2 = \pm 1$; 缓斜纹 $S_2 > 1, S_1 = \pm 1$
	基本缎纹	$N_c = 2; \sum C \geq 5, \sum C \neq 6$ 且 $C_1 = 1$ 或 $C_2 = 1$; $1 < S_1 = S_2 \leq \sum C - 1$ 且 S_1, S_2 与 $\sum C$ 无公约数
	加强缎纹	$N_c \geq 2; \sum C \geq 5, \sum C \neq 6$ 且 $C_1 \neq 1, S_2 \neq 1$; $1 < S_1 = S_2 \leq \sum C - 1$ 且 S_1, S_2 与 $\sum C$ 无公约数

续表 1

Continued to table 1

类别及特征	名称举例	参数描述
准规则组织: 交织规律一定, 变飞数	山形斜纹	$N_e \geq 2; \sum C \geq 3; \text{山峰位置参数 } K \geq \sum C$
	曲线斜纹	$N_e \geq 4; \sum C \geq 6; \text{mod}(\sum S, \sum C) = 0; \text{Max}(S) < \text{Max}(C)$
非规则组织变交织规律	芦席斜纹	基础组织为加强斜纹, $N_e = 2, \sum C \geq 3; \text{斜纹条数 } N_1 \geq 2$

表1中参数的具体定义及说明参考如下:

1) 交织规律: 即组织循环中每根经、纬纱交织时的沉、浮变化规律, 通常用分式表示, 其分子、分母按顺序组成了一组数, 这里记为浮长序列(C)。如图2中的第1根经纱的交织规律为2/1/3/2, 浮长序列 C_1, C_2, C_3, C_4 分别为2、3、1、2, 则 $\sum C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 = 8$ 。

2) 交叉数(N_e): 包括经向交叉数 N_{e1} 和纬向交叉数 N_{e2} 。交叉数等于经纱或纬纱交叉规律表达式中分子个数与分母个数之和, 如图2中 $N_e = 4$ 。

3) 飞数(S): 为相邻两根经(纬)纱上相似组织点之间相隔的纬(经)纱根数, 有经向飞数 S_1 和纬向飞数 S_2 之分, 向上(右)为正, 向下(左)为负。如果飞数变化, 将采用飞数数组来表示, 对应的飞数之和用 $\sum S$ 表示。

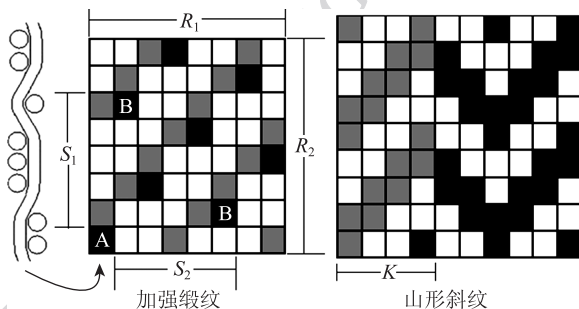


图2 组织图相关参数说明

Fig. 2 Parameters illustration in weave diagram

2.2 织物组织数学模型及生成

2.2.1 规则组织矩阵的生成

已知规则组织的浮长序列 C 和飞数 S , 要获得组织矩阵, 首先要计算它的经、纬纱循环数, 确定组织矩阵的大小, 从而进一步对组织矩阵元素进行赋值。现按经向飞数进行讨论, 假设规则组织的经向交叉数用 N_e 表示, 首列第 k 次交叉的浮长为 C_k ($k = 1, 2, \dots, N_e$) 经向飞数 S_1 , 则织物组织的经纱循环数

R_1 和纬纱循环数 R_2 为^[9]

$$\begin{cases} R_2 = \sum C_k & k = 1, 2, \dots, N_e \\ R_1 = \begin{cases} R_2 & \text{mod}(R_2, |S_1|) \neq 0 \\ R_2/|S_1| & \text{mod}(R_2, |S_1|) = 0 \end{cases} \end{cases} \quad (2)$$

对于组织循环中飞数 S_1 , 一般取 $0 < S_1 < R_2$ 。对于组织矩阵 W 中的每个元素 $w_{i,j}$, 可根据首列经纱的交织规律 C_k 和飞数 S 进行赋值, 具体数学模型为:

当 $j=1, i=1, 2, \dots, R_2$ 时

$$w_{i,1} = \begin{cases} 1 & i < \sum C_k \wedge \text{mod}(k, 2) = 1 \\ 0 & i < \sum C_k \wedge \text{mod}(k, 2) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

当 $j=2, 3, \dots, R_1, i=1, 2, \dots, R_2$ 时

$$\begin{cases} w_{i+S_1,j} = w_{i,j-1} & i + S_1 \leq R_2 \\ w_{i+S_1-R_2,j} = w_{i,j-1} & i + S_1 > R_2 \end{cases} \quad (4)$$

2.2.2 准规则组织矩阵的生成

准规则组织与规则组织的区别仅为飞数在整个组织循环内是一个变值, 可用飞数数组来替换规则组织中的飞数常数。对于山形斜纹, 为求出飞数数组的长度和数组元素的值, 还应先给出改变斜纹方向时的山峰位置参数 K 。纬山形斜纹的经纬纱循环数 R_1, R_2 和飞数数组 $S_1[j]$ 的值为

$$\begin{cases} R_1 = 2K - 2 \\ R_2 = \sum C_k & k = 1, 2, \dots, N_e \\ S_1[j] = \begin{cases} 1 & j \leq K \\ -1 & j > K \end{cases} & j = 2, 3, \dots, R_1 \end{cases} \quad (5)$$

对于曲线斜纹, 需要直接给出飞数数组值。除了飞数数组的赋值外, 准规则组织矩阵元素的赋值算法与规则组织一致, 参见式(3)(4)。

2.2.3 非准规则组织矩阵的生成

非规则组织包括一些斜纹变化组织(如芦席斜纹、菱形斜纹、交叉数大于2的破斜纹)以及联合组织等。部分非规则组织可调用规则组织矩阵, 采用

组织设计中一个或几个映射变换方法组合形成,也有部分非规则组织,不能调用其他规则组织生成,需要找寻规律,建立独立的数学模型。下面就芦席斜纹的数学模型进行描述^[10]。

芦席斜纹组织由左、右斜纹有机地结合在一起,其外观好似编好的芦席。在芦席斜纹中,基础组织一般为双面加强斜纹,组织点飞数一般为 ± 1 ,所以在绘制这类组织时,首先应当明确的参数是:基础组织(加强斜纹)的浮长序列 C_1, C_2 (一般 $C_1 = C_2$)和同

一方向的斜纹条数 N_t (一般 $N_t \geq 2$)。根据基础组织和斜纹条数的情况,该组织的经、纬纱循环数计算为

$$R_1 = R_2 = (C_1 + C_2) \times N_t \quad (6)$$

设组织矩阵中右斜部分的组织点所对应的元素用 $w_{row1, col1}$ 表示,而左斜部分的组织点所对应的元素为 $w_{row2, col2}$,其中 $row_1, row_2 \in 1, 2, \dots, R_2, col_1, col_2 \in 1, 2, \dots, R_1$,斜纹条序号用 t 表示, $t = 0, 1, \dots, N_t - 1$ 则左、右斜条纹对应的组织点在矩阵 $\mathbf{W}$ 中的行、列索引为

$$\begin{cases} row_1 = \begin{cases} R_2 + C_1 t + 2 - (i' + j') & C_1 t + 2 - (i' + j') \leq 0 \\ C_1 t + 2 - (i' + j') & C_1 t + 2 - (i' + j') > 0 \end{cases} \\ col_1 = j' + C_2 t \\ row_2 = \begin{cases} \frac{R_2}{2} - C_1(t+1) + 1 - (i' - j') & \frac{R_2}{2} - C_1(t+1) + 1 - (i' - j') > 0 \\ \frac{3R_2}{2} - C_1(t+1) + 1 - (i' - j') & \frac{R_2}{2} - C_1(t+1) + 1 - (i' - j') \leq 0 \end{cases} \\ col_2 = \begin{cases} j' + C_2 t + \frac{R_1}{2} & j' + C_2 t - \frac{R_1}{2} \leq 0 \\ j' + C_2 t - \frac{R_1}{2} & j' + C_2 t - \frac{R_1}{2} > 0 \end{cases} \end{cases} \quad (7)$$

式中, $i' = 1, 2, \dots, C_1, j' = 1, 2, \dots, R_1/2$ 。

进一步组织矩阵 $\mathbf{W}$ 中各元素 $w_{i,j}$ 的赋值为

$$w_{i,j} = \begin{cases} 1 & (i = row_1, j = col_1) \vee \\ & (i = row_2, j = col_2) \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

3 机织物组织的3维几何建模

机织物中纱线交织的3维几何模型主要包含两个方面:纱线的截面形状和纱线的屈曲路径。本文采用椭圆截面模型,由直线段和余弦曲线分段函数模拟经纱中心轴沉浮交织的屈曲路径。图3给出了经纬纱线交织的截面示意图, Y 轴为经纱方向, Z 轴为与布面垂直的方向。图3中: P_0P_1 和 P_2P_3 均为直线段; P_1P_2 和 P_3P_4 均为余弦曲线段; a_1, b_1 和 $a_2,$

b_2 分别为经纱、纬纱截面的长、短轴半径; A_1, A_2 分别为经纱、纬纱中心轴余弦曲线波幅的2倍。根据以上分段曲线形状的假设和相关参数,并基于织物组织矩阵 $\mathbf{W}$,对经纱中心轴曲线 X, Y, Z 3维坐标通过以下分段函数进行描述,见式(9)~(11)。

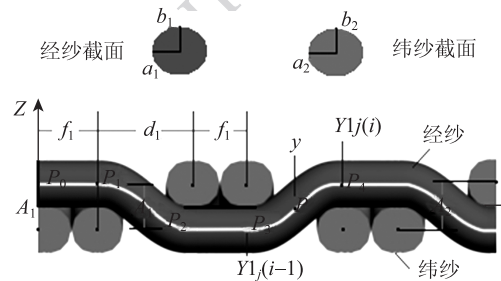


图3 经、纬纱线交织模型

Fig. 3 Crossed model with warp yarn and filling yarn

$$X1_j = \begin{cases} 0 & j = 0 \\ X1_{j-1} + f_2 & j \geq 1 \wedge \mathbf{W}_j = \mathbf{W}_{j-1} \\ X1_{j-1} + d_2 & j \geq 1 \wedge \mathbf{W}_j \neq \mathbf{W}_{j-1} \end{cases} \quad (9)$$

$$Y1_j(t) = \begin{cases} 0 & t = i = 0 \\ Y1_j(i-1) + f_1 & t = i \geq 1 \wedge a_{i,j} = w_{i-1,j} \\ Y1_j(i-1) + d_1 & t = i \geq 1 \wedge w_{i,j} \neq w_{i-1,j} \\ Y1_j(i-1) + d_y & i-1 < t < i \end{cases} \quad (10)$$

$$Z1_j(y) = \begin{cases} \frac{A_1}{2} \cos\left(\frac{y - Y1_j(i-1)}{d_1} \pi\right) & Y1_j(i-1) < y \leq Y1_j(i) \wedge (w_{i,j} = 0, w_{i-1,j} = 1) \\ -\frac{A_1}{2} \cos\left(\frac{y - Y1_j(i-1)}{d_1} \pi\right) & Y1_j(i-1) < y \leq Y1_j(i) \wedge (w_{i,j} = 1, w_{i-1,j} = 0) \\ \frac{A_1}{2} & (y = 0, w_{0,j} = 1) \vee (w_{i,j} = 1, w_{i-1,j} = 1) \\ -\frac{A_1}{2} & (y = 0, w_{0,j} = 0) \vee (w_{i,j} = 0, w_{i-1,j} = 0) \end{cases} \quad (11)$$

式中, $X1_j$ 为第 j 根经纱的 X 轴位置坐标; $Y1_j(t)$ 为第 j 根经纱曲线的 Y 轴坐标函数, t 为 Y 轴的位置参数; $Z1_j(y)$ 为组织循环中第 j 根经纱中心轴曲线的 Z 坐标函数, 是关于 Y 轴坐标的分段函数; f_1, f_2 分别为相同组织规律的相邻两根纬纱或经纱的距离, 即经纱或纬纱曲线中的直线段距离; d_1, d_2 分别为不同组织规律的相邻两根纬纱或经纱的距离, 即为经纱或纬纱曲线中的余弦曲线段距离; y 为经纱曲线上任意 t 位置点 P 所对应的 Y 坐标值; d_y 为 Y 轴上 t 位置到 $i-1$ 位置的增量; $Y1_j(i)$ 和 $Y1_j(i-1)$ 分别为第 j 根经纱第 i 个和 $i-1$ 个组织点所对应的 Y 坐标值; W_j 和 W_{j-1} 分别为组织矩阵中第 j 根和 $j-1$ 根经纱的组织点数组。

同理, 纬纱中心轴曲线 X, Y, Z 3 维坐标将可以描述为

$$Y2_i = \begin{cases} 0 & i = 0 \\ Y2_{i-1} + f_1 & i \geq 1 \wedge W_i = W_{i-1} \\ Y2_{i-1} + d_1 & i \geq 1 \wedge W_i \neq W_{i-1} \end{cases} \quad (12)$$

$$X2_i(t) = \begin{cases} 0 & t = j = 0 \\ X2_i(j-1) + f_2 & t = j \geq 1 \wedge w_{i,j} = w_{i,j-1} \\ X2_i(j-1) + d_2 & t = j \geq 1 \wedge w_{i,j} \neq w_{i,j-1} \\ X2_i(j-1) + d_x & j-1 < t < j \end{cases} \quad (13)$$

$$Z2_i(x) = \begin{cases} \frac{A_2}{2} \cos\left(\frac{x - X2_i(j-1)}{d_2} \pi\right) & X2_i(j-1) < x \leq X2_i(j) \wedge (w_{i,j} = 1, w_{i,j-1} = 0) \\ -\frac{A_2}{2} \cos\left(\frac{x - X2_i(j-1)}{d_2} \pi\right) & X2_i(j-1) < x \leq X2_i(j) \wedge (w_{i,j} = 0, w_{i,j-1} = 1) \\ \frac{A_2}{2} & (x = 0, w_{i,0} = 0) \vee (w_{i,j} = 0, w_{i,j-1} = 0) \\ -\frac{A_2}{2} & (x = 0, w_{i,0} = 1) \vee (w_{i,j} = 1, w_{i,j-1} = 1) \end{cases} \quad (14)$$

式中, $Y2_i$ 为第 i 根纬纱的 Y 轴位置坐标; $X2_i(t)$ 为第 i 根纬纱曲线的 X 轴坐标函数, t 为 X 轴的位置参数; $Z2_i(x)$ 为组织循环中第 i 根纬纱中心轴曲线的 Z 坐标函数, 是关于 X 轴坐标的分段函数; x 为纬纱曲线上任意 t 位置点所对应的 X 坐标值; d_x 为 X 轴上 t 位置到 $j-1$ 位置的增量; $X2_i(j)$ 和 $X2_i(j-1)$ 分别为第 i 根纬纱第 j 个和 $j-1$ 个组织点所对应的 X 坐标值; W_i 和 W_{i-1} 分别为组织矩阵中第 i 根和 $i-1$ 根纬纱的组织点数组。

上述模型中每根经纱或纬纱的中心轴路径曲线均假定在一个截平面上, 属于 2 维平面曲线。但是, 有些真实织物中纱线由于捻度、张力及织造工艺等各种因素的影响会有出现轻微扭曲, 从而使其从

2 维的平面曲线转换为 3 维的空间曲线。因此, 这里对经纱的 X 坐标函数和纬纱的 Y 坐标函数进一步进行修正, 即

$$\begin{cases} X1'_j = X1_j + \xi1_{i,j} \\ Y2'_i = Y2_i + \xi2_{i,j} \end{cases} \quad (15)$$

式中, $X1'_j$ 和 $Y2'_i$ 分别为修正后第 j 根经纱的 X 坐标和第 i 根纬纱的 Y 坐标, $X1_j$ 和 $Y2_i$ 分别为修正前第 j 根经纱的 X 坐标和第 i 根纬纱的 Y 坐标, $\xi1_{i,j}$ 和 $\xi2_{i,j}$ 分别为经纱 X 坐标和纬纱 Y 坐标第 (i, j) 个组织点位置的扭曲修正值。

对于 $\xi1_{i,j}$ 和 $\xi2_{i,j}$, 可以根据对实际织物中纱线扭曲的测量平均值和方差, 采用正弦曲线建立波形函数得到规则性的修正值, 或采用随机函数生成一组无规则的修正值。

4 实验及结果分析

最后利用 VC++ 编程实现参数可控的单层织物经、纬纱中心轴曲线的路径计算,然后借助 3DS MAX 软件进一步对路径曲线进行放样,实现对不同截面纱线的 3 维建模实验。

图 4(a)~(e) 分别为 1/1 平纹、2/1 右斜纹、4/2 加强斜纹、3/1/2/1 复合斜纹、5 枚 3 飞经面缎纹的 3 维模拟,这些为规则组织,相应的组织参数较简单,可参见表 1。

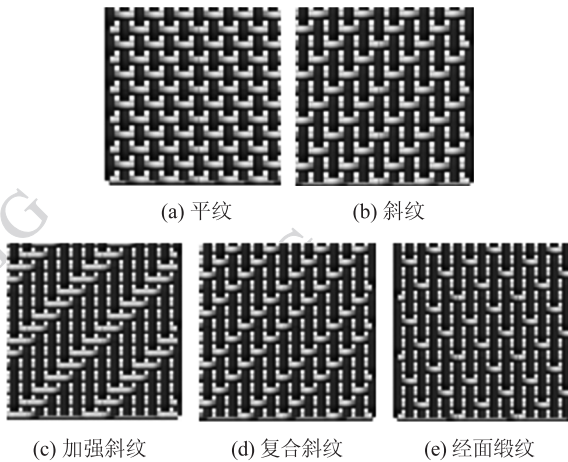


图 4 规则组织 3 维模型实例

Fig. 4 Three dimensional models of regular weaves

图 5(a) 为山形斜纹的 3 维模拟,相应参数为:交叉数 $N_c=2$,浮长序列 $C=[3,3]$;飞数 $S=[1,1,1,1,1,-1,-1,-1,-1]$;山峰位置参数 $K=6$;经纱循环数 $R_1=10$,纬纱循环数 $R_2=6$ 。图 5(b) 为曲线斜纹,相应参数为:交叉数 $N_c=4$,浮长序列 $C=[3,3,1,1]$;飞数数组 $S=[1,1,1,1,0,1,1,0,1,0,1,0,0,-1,0,-1,0,-1,-1,0,-1,-1,-1,-1,-1,-1,0,-1,-1,0,-1,0,1,0,1,0,1,1,0,1,1,1]$;经纱循环数 $R_1=47$,纬纱循环数 $R_2=8$ 。

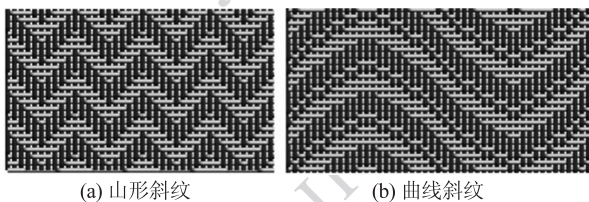


图 5 准规则组织 3 维模型实例

Fig. 5 Three dimensional models of quasi regular weaves

图 6 为芦席斜纹的 3 维模拟实例(其中图 6(a) 的相应参数为:基础斜纹的浮长序列 $C=[2,2]$,斜纹条数 $N_t=2$,经纱循环数 $R_1=8$,纬纱循环数 $R_2=8$ 。图 6(b) 的相应参数:基础斜纹的浮长序列 $C=[2,2]$,斜纹条数 $N_t=4$,经纱循环数 $R_1=16$,纬纱循环数 $R_2=16$ 。图 6(c) 的相应参数:基础斜纹的浮长序列 $C=[3,3]$,斜纹条数 $N_t=3$,经纱循环数 $R_1=18$,纬纱循环数 $R_2=18$ 。)

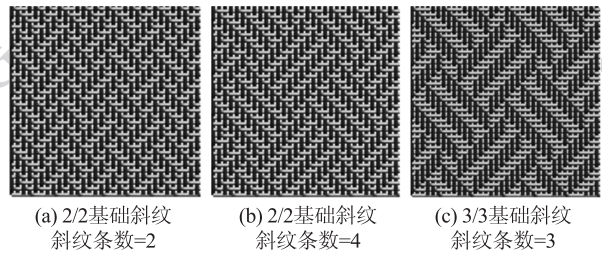


图 6 非规则组织 3 维模型实例(芦席斜纹)

Fig. 6 Three dimensional model of irregular weaves (entwining twill)

图 7 给出了不同几何参数及纱线截面形状条件下平纹织物的 3 维几何模型实例。图 7(a) 中经纬纱截面均为椭圆形,纱线截面长短轴半径 $a_1=a_2=1.5 \times b_1=1.5 \times b_2$,纱线屈曲波幅 $A_1/2=A_2/2=b_1=b_2$;纱线间距 $d_1=d_2=4 \times b_1$;图 7(b) 中,经纱截面均为圆形,纬纱为椭圆形,纱线截面长短轴半径 $a_1=1.5 \times b_1, a_2=b_2=b_1$,纱线屈曲波幅 $A_1/2=A_2/2=b_1=b_2$,纱线间距 $d_1=d_2=6 \times b_1$;图 7(c) 中,经纬纱截面均为椭圆形,纱线截面长短轴半径 $a_1=a_2=1.5 \times b_1=1.5 \times b_2$,纱线屈曲波幅 $A_1/2=1.3 \times b_1, A_2/2=0.7 \times b_1$,纱线间距 $d_1=d_2=4 \times b_1$ 。

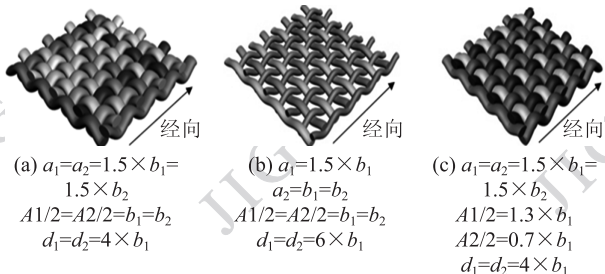


图 7 不同参数条件下平纹织物的 3 维模型实例

Fig. 7 3D models of plain weaves with different parameter values

图 8(a) 为纱线扭曲的平纹织物扫描实例;图 8(b) 为纱线扭曲修正前平纹织物模型实例;图 8(c) 为纱线扭曲修正后平纹织物的 3 维模型实例,修正参数由均匀分布的随机初始值和正弦曲线函数构成。

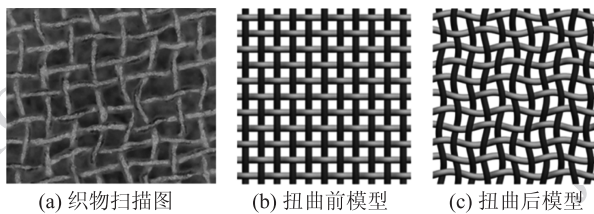


图8 纱线扭曲前后平纹织物的3维模型实例

Fig. 8 Three dimensional models of untwisted and twisted plain weaves

5 结 论

为了建立预测组织结构参数对机织物性能影响所需的织物3维几何模型,本文提出了一种直接由组织结构参数信息构建机织物中纱线屈曲的3维几何模型方法,主要工作包括:1)由组织参数信息生成织物组织矩阵的数学描述;2)参数可控的组织点间纱线屈曲路径的数学描述;3)完成了不同组织、不同结构参数、不同纱线截面和纱线扭曲等条件下的3维建模实验。实验结果表明,不同输入参数的织物3维仿真效果较好。

本文仅对具有规律性的单层织物的组织图进行数学描述和3维建模,今后将进一步研究复杂结构的织物组织图的3维几何建模。

参考文献 (References)

- [1] Sabit A, Jaget S V. Woven fabric design and analysis in 3D virtual reality Part 1: computer aided design and modeling of interlaced structures [J]. Journal of the Textile Institute, 2013, 104(7): 715-723.
- [2] Luo M. Design on woven and 3D simulation of fabric structure [D]. Wuhan: Wuhan textile university, School of textile Science and Engineering, 2010: 7-10. [罗敏. 机织物产品设计及其交互形态三维仿真[D]. 武汉: 武汉纺织大学纺织系, 2010.]
- [3] Tuba A. 3D geometrical modelling of tubular braids [J]. Textile Research Journal, 2012, 82(5): 443-453.
- [4] Nikolay N. Development of a 3D model of terry fabric [J]. International Journal of Clothing Science and Technology, 2012, 24(4): 237-250.
- [5] Jiang Y, Chen X. Geometric and algebraic algorithms for modeling yarn in woven fabrics [J]. Journal of the Textile Institute, 2005, 96(4): 237-245.
- [6] Chen X G. Mathematical modelling of 3D woven fabrics for CAD/CAM software [J]. Textile Research Journal, 2011, 81(1): 42-50.
- [7] Lin H, Zeng X H, Martin S, et al. Automated geometric modeling of textile structures [J]. Textile Research Journal, 2012, 82(16): 1689-1702.
- [8] Zheng T Y. Study on general geometrical modeling of single yarn with 3D twist effect [J]. Textile Research Journal, 2010, 80(10): 867-878.
- [9] Gu P. The theory and Application of Textile CAD [M]. Beijing: China Textile & Apparel Press, 2005: 55-64. [顾平. 纺织品CAD原理与应用[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2005: 55-64.]
- [10] Zhu S W. Textile CAD/CAM [M]. Beijing: China Textile & Apparel Press, 2007: 58-74. [祝双武. 纺织CAD/CAM[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2007: 58-74.]