

DOI: 10. 13475 /j. fzxh. 20151002606

基于纱线纹理的横编线圈快速仿真与计算机实现

卢致文, 蒋高明

(江南大学 教育部针织技术工程研究中心, 江苏 无锡 214122)

摘 要 为建立适用于横编针织物 CAD 快速设计的真实感较强的线圈图元, 对线圈模型以及线圈表面纹理变化等进行研究, 建立了从平直纱线向弯曲线圈变形的纹理变化模型, 形成线圈的真实感纹理, 并在此基础上结合光照变化对线圈真实感进行优化。结合理论算法研究开发了计算机实现程序, 并实现了不同纱线的线圈纹理模拟, 验证了本算法的可行性, 为开发基于线圈结构的针织物 CAD 快速设计提供了真实感较强, 且纱线原料可调的线圈图元模拟方法, 对于针织物仿真具有一定理论参考价值。

关键词 横编; 纱线纹理; 快速仿真; 线圈图元

中图分类号: TS 131. 9 **文献标志码**: A

Rapid simulation and computer implementation of flat knitting loops based on yarn texture

LU Zhiwen, JIANG Gaoming

(Engineering Research Center of Knitting Technology, Ministry of Education,
Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract To provide rapid CAD of the flat knitted fabric with more lifelike loop primitives, geometric model and the variation of the texture on the surface of the loop are studied. The model that captures the texture variation from the flat yarn to the bent loop is constructed to form the lifelike texture of the loop. And the lifelikeness of the loop with varying illuminations is optimized. The computer program is developed with the optimization algorithm. The loop texture of different yarns is simulated to prove the feasibility of the proposed algorithm. Our work provides rapid CAD of loop structure in the knitted fabric with a loop primitive simulation method that is not only more lifelike but also supports material adjustment of the yarn. This paper also provides theoretical value for the flat knitting fabric computer simulation.

Keywords flat knitting; yarn texture; rapid simulation; loop primitive

织物外观仿真是利用计算机图形技术将设计人员的设计意图以织物仿真模拟的方法在显示器屏幕上快速、形象、直观地显示出来^[1], 这种技术的应用对于提高设计效率、降低开发成本、提高企业生产效率和快速反应能力均具有重要意义。纱线作为织物形成的基本单元^[2], 有很多学者对其进行研究, 相对成熟。机织物是由经纬纱按照一定规律交织而成的^[3], 纱线在交叠过程中呈现一维的弯曲, 而针织

物是由纱线弯曲成圈并相互串套而成^[4], 线圈呈现复杂的三维曲线, 纱线表面纹理出现扭曲变化, 因此, 在织物外观仿真研究中, 针织物仿真一直是比较困难的, 也是基于真实感设计的针织物 CAD 系统要解决的重要问题。

目前市场上应用成熟的针织 CAD 软件对线圈仿真技术采取保密措施, 仅对仿真功能做介绍, 并未公开算法。相关文献中对针织物外观仿真主要分为

收稿日期: 2015-07-12 修回日期: 2015-10-22

基金项目: 江南大学自主科研计划项目 (JUSRP51404A); 江苏省产学研项目 (BY2015019-31, BY2014023-34)

作者简介: 卢致文 (1983—), 女, 博士生。研究方向为横编针织物的计算机辅助设计与产品开发。蒋高明, 通信作者, E-mail: jgm@jiangnan.edu.cn。

基于线圈^[5]与基于织物表面纹理^[6]效果的方法。2种方法各有优势,基于线圈的方法,由于能够准确地描述线圈的空间结构,得到较逼真的三维立体模拟效果,受到很多学者的关注,但是如果用简单的几何形状来模拟纱线,线圈无法体现出纱线毛羽及捻度效果,如果用复杂的多边形来模拟,则会增加很多运算量,速度变慢。基于表面纹理的方法是通过某一类针织产品纹理图像特征的研究,运用块拼接的纹理合成算法实现针织物的模拟,效果逼真,但这种仿真方法有产品局限性且不能体现线圈间的连接关系。本文在纱线表面纹理提取或仿真的基础上,建立了从平直纹理向弯曲线圈纹理变形的计算模型,再结合纱线表面亮度变化对线圈真实感进行优化,最终通过 VC++ 编程实现,从仿真效果可看出,线圈不仅具有较逼真的三维立体效果,且在一定程度上可体现纱线纹理,可作为一种针织物仿真方法,也可用于针织 CAD 系统的快速设计。

1 纱线及线圈几何模型与纹理特征

纱线表面几何模型:将纱线几何模型简化为高为纱线直径 d ,宽为纱线单元循环长度 l 的矩形。

线圈几何模型^[7]:线圈几何模型为分段的几何形状。成圈线圈为高 H ,宽 W 的对称图形,以对称轴左侧为例,由 3 段组成,如图 1 所示。由下至上,第 1 段:以点 O_2 为圆心的 90° 圆环,内圆半径为 r ,模型设 r 等于纱线直径 d ,则外圆半径为 $2d$;第 2 段:高为 P ,底为 d 的平行四边形;第 3 段:圆心为 O_1 ,内圆半径为 r 的 90° 圆环。模型中设定 $H:W=2:1$,因此 $P=W=4d$, $H=8d$ 。

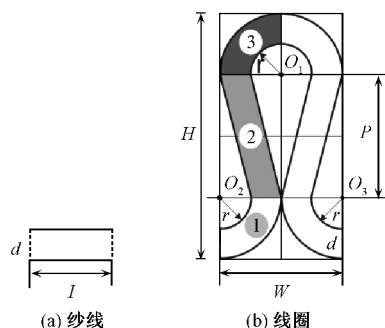


图 1 几何模型

Fig. 1 Geometry model of yarn (a) and loop (b)

纱线是织物构成的基础,纱线真实感的模拟效果决定了织物模拟的效果,纱线的纹理特征除粗细、颜色外,还包括毛羽、质感、捻度等^[8]。线圈由纱线

弯曲形成,除纱线本身的纹理以外,线圈还具有空间连续性。主要表现为:纱线的纹理需根据线圈的弯曲出现连续性变化,表现最明显的体现在捻度变化上,用多个圆构建股线加捻后再形成线圈可很好地解决捻度连续性,但表面纹理略差一筹;纱线在三维空间内串套形成线圈,这使得线圈表面的纹理具有明暗变化的空间感。因此,本文研究要解决的主要问题是,在纱线纹理的基础上实现线圈纹理连续以及对线圈进行亮度优化,加强线圈真实感。

2 纱线向线圈纹理转化的数学模型

2.1 纱线及线圈纹理的数学模型

如果将纱线几何模型中每个像素点看作一个元素,每个元素中包括 R、G、B 3 种颜色属性,则可将纱线纹理转化为二维矩阵,称为纹理矩阵 W ,即

$$W = \begin{bmatrix} w_{1,d} & \cdots & w_{1,l} \\ \vdots & & \vdots \\ w_{1,d} & \cdots & w_{1,l} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: w_{ij} 为纱线纹理中像素点的 RGB 值; i 为水平方向索引; j 为垂直方向索引; d 为纹理的像素点总高度; l 为纱线纹理循环单元长度。

同理,也可将线圈纹理转化为二维矩阵,称为线圈矩阵 S ,即

$$S = \begin{bmatrix} s_{1,8d} & \cdots & s_{4d,8d} \\ \vdots & & \vdots \\ s_{1,d} & \cdots & s_{4d,d} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: s_{xy} 为线圈纹理中像素点的 RGB 值; x 为水平方向索引; y 为垂直方向索引; $8d$ 为线圈纹理的像素点总高度; $4d$ 为线圈纹理宽度。

2.2 线圈纹理与纱线纹理的转化关系

纱线直径 d 以及纱线纹理矩阵为已知条件,为得到线圈纹理,需建立 x, y 坐标与 d, i, j 的关系。由于线圈模型为分段几何形,所以转换关系函数也需分段得出,且为保证线圈左右纹理的连续性,不能对称得到像素点的值,因此,将线圈划分为 6 部分,如图 2 所示。每部分都有不同的 x, y 的取值区间,每一区间内的点满足一定条件才需要计算对应关系,限定条件可减少计算量,按照从 1 到 6 的顺序对纹理进行拟合。

图 3 示出不同区域线圈纹理的几何关系图。根据图 3(a) 所示的几何关系可推导出第 1 区域的纹理拟合计算公式为:

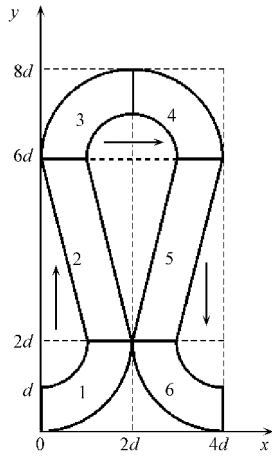
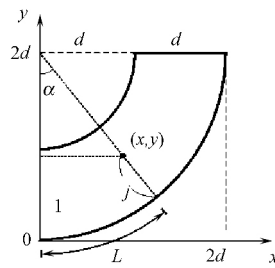
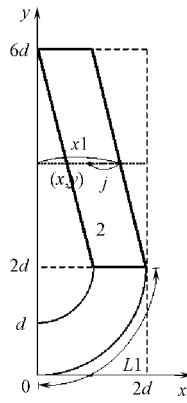


图2 线圈纹理分区

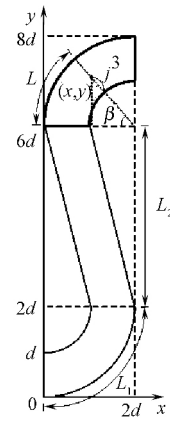
Fig.2 Loop texture partition



(a) 第1区域



(b) 第2区域



(c) 第3区域

图3 不同区域的线圈纹理几何关系图

Fig.3 Different region of loop texture partition. (a) Partition 1; (b) Partition 2; (c) Partition 3

$$i = L - n \times l = (2d \times a) - n \times l =$$

$$\left(2d \times \tan^{-1} \frac{x}{2d - y}\right) - n \times l \in N$$

$$j = 2d - \sqrt{x^2 + (2d - y)^2}$$

$$S(x, y) = W \left[(\pi d + y - 2d) - n \times l, \frac{10d - y}{4} - x \right] \quad (4)$$

取值范围:

$$0 < x \leq 2d, 2d < y \leq 6d$$

计算条件:

$$\frac{6d - y}{4} < x \leq \frac{10d - y}{4}$$

根据图 3(c) 所示的几何关系可推导出第 3 区域的纹理拟合计算公式为:

$$i = (L_1 + L_2 + L) - n \times l =$$

$$(\pi d + 4d + 2d \times \beta) - n \times l =$$

$$i = L - n \times l = (2d \times a) - n \times l =$$

$$\left(2d \times \tan^{-1} \frac{x}{2d - y}\right) - n \times l \in N$$

$$j = 2d - \sqrt{x^2 + (2d - y)^2}$$

$$S(x, y) = W \left[2d \times \tan^{-1} \frac{x}{2d - y} - n \times l, \right. \quad (3)$$

$$\left. 2d - \sqrt{x^2 + (2d - y)^2} \right]$$

取值范围:

$$0 < x \leq 2d, 0 < y \leq 2d$$

计算条件:

$$d < \sqrt{x^2 + (2d - y)^2} \leq 2d$$

根据图 3(b) 所示的几何关系可推导出第 2 区域的纹理拟合计算公式为:

$$\left(\pi d + 4d + 2d \times \tan^{-1} \frac{y - 6d}{2d - x} \right) - n \times l \in N$$

$$j = \sqrt{(2d - x)^2 + (y - 6d)^2} - d$$

$$S(x, y) = W \left[\left(\pi d + 4d + 2d \times \tan^{-1} \frac{y - 6d}{2d - x} \right) - n \times l, \right. \quad (5)$$

$$\left. \sqrt{(2d - x)^2 + (y - 6d)^2} - d \right]$$

取值范围: $0 < x \leq 2d, 6d < y \leq 8d$ 计算条件: $d < \sqrt{(2d - x)^2 + (y - 6d)^2} \leq 2d$

以此类推, 即可得到 6 个区域纹理的计算方法, 计算条件以及计算公式。

第 4 区域:

$$S(x, y) = W \left[\left(2\pi d + 4d + 2d \times \tan^{-1} \frac{x - 2d}{y - 6d} \right) - n \times l, \right. \quad (6)$$

$$\left. \sqrt{(x - 2d)^2 + (y - 6d)^2} - d \right]$$

取值范围:

$$2d < x \leq 4d, 6d < y \leq 8d$$

计算条件:

$$d < \sqrt{(x - 2d)^2 + (y - 6d)^2} \leq 2d$$

第 5 区域:

$$S(x, y) = W \left[(3\pi d + 4d + 6d - y) - n \times l, x - \frac{6d + y}{4} \right] \quad (7)$$

取值范围:

$$2d < x \leq 4d, 2d < y \leq 6d$$

计算条件:

$$\frac{6d + y}{4} < x \leq \frac{10d + y}{4}$$

第 6 区域:

$$S(x, y) = W \left[\left(3\pi d + 8d + 2d \times \tan^{-1} \frac{2d - y}{4d - x} \right) - n \times l, 2d - \sqrt{(4d - x)^2 + (2d - y)^2} \right] \quad (8)$$

取值范围:

$$2d < x \leq 4d, 0 < y \leq 2d$$

计算条件:

$$d < \sqrt{(4d - x)^2 + (2d - y)^2} \leq 2d$$

为验证本算法,采用简单的纹理做实验,结果如图 4 所示。图 4(a) 为高度 13 个像素,宽度 26 像素的简单纹理循环单元,由以上算法拟合的线圈纹理,可看出纱线纹理在线圈上随着弯曲度连续无突变。图 5 示出从照片中截取的纱线彩色纹理循环单元和通过算法生成的线圈,由图可知对于色彩复杂的纹理,本算法同样适用。需要注意的是纱线纹理可在线圈中保持连续,但线圈间的连接处可能不连续,当纹理长度为线圈长度的公约数时,线圈间的连接处才会保持连续,本算法计算的线圈总长度为纹理高度的 20 倍,可作为纹理长度选择的参考。

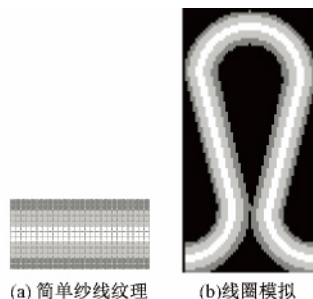


图 4 简单纹理线圈仿真

Fig. 4 Simple texture (a) and loop simulation (b)

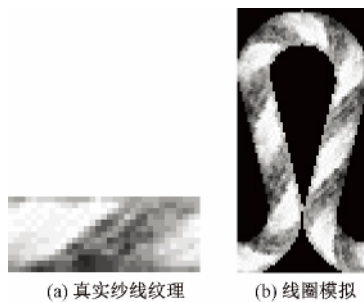


图 5 真实纱线纹理线圈仿真

Fig. 5 Actual yarn texture (a) and loop simulation (b)

3 线圈的亮度处理

由于线圈有前后的消隐关系^[9],从而线圈上具有亮度的明暗变化,如上文所述方法仅仅将平直的纱线纹理对应到平面的线圈几何形状上,并不具有三维的外观,需对平面的图形的亮度加以变化,才能使线圈具有更加逼真的效果,也能从一定程度上反映线圈间的结合关系。不同的线圈结合方式会使线圈的光照发生变化,因此首先需要研究线圈与线圈之间的连接关系种类,进而研究线圈明暗变化的规律。

3.1 线圈的结合方式

线圈主要包括成圈、集圈、浮线 3 类,浮线呈现平直状态,纱线明暗度没有变化,集圈与成圈的纱线会有三维弯曲现象,有明暗变化,其中成圈的变化更为复杂。以成圈结构为例,线圈的结合方式有 4 种模式:前针床成圈接前针床成圈,后针床成圈接后针床成圈,前针床成圈后翻针至后接后针床成圈,后针床成圈后翻针至前接前针圈成圈,正面观察如图 6 所示;从侧面看,线圈呈现 4 种状态,如图 7 所示。

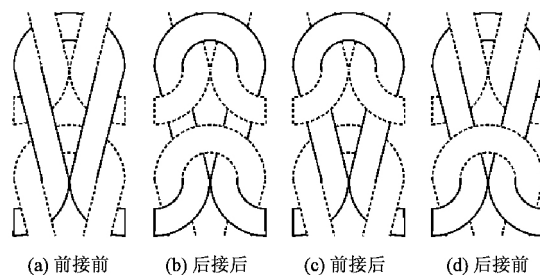


图 6 不同的线圈结合方式(正视图)

Fig. 6 Different ways of joining the loops (front view). (a) Front view of face loop join face loop; (b) Back loop join back loop; (c) Face loop join back loop; (d) Back loop join face loop

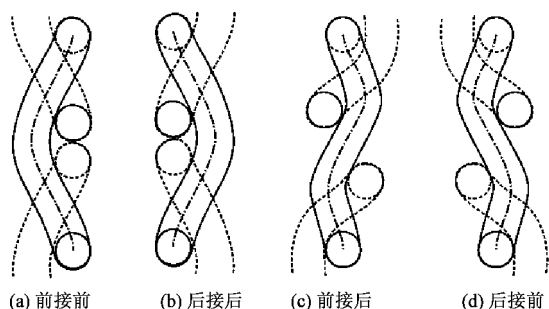


图7 不同的线圈结合方式(侧视图)

Fig. 7 Different ways of joining the loops (side view).

- (a) Side view of face loop join face loop; (b) Back loop join back loop; (c) Face loop join back loop; (d) Back loop join face loop

3.2 线圈亮度变化曲线

通过对上述几种线圈结构变化的研究,提取纱线表面的弯曲曲线作为理想化的亮度变化曲线,如图8所示。由于考虑到线圈间的连贯性,因此图中选择相同的亮度起点, x 轴表示线圈高度百分比变化, y 轴表示线圈亮度百分比变化, a 表示线圈原始亮度曲线, b 、 c 、 d 、 e 分别表示前针床线圈、后针床线圈、前针床线圈翻后针床、后针床线圈翻前针床的线圈表面纹理亮度变化理想化曲线。

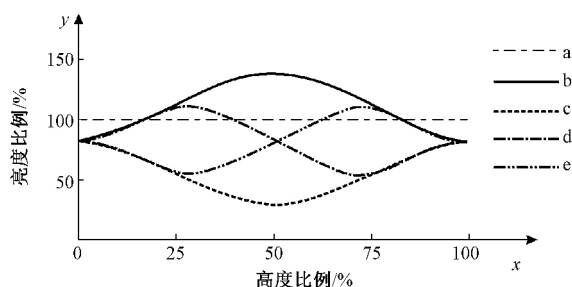


图8 不同方式结合的线圈表面明暗曲线

Fig. 8 Different ways of joining loops

曲线 b 与 c 呈余弦变化曲线, d 曲线呈现先平缓上升,下降再上升的曲线, e 曲线与之相反,以下为4条曲线方程:

$$L_b = L_0 + \frac{L_{\max} - L_0}{2} - \frac{L_{\max} - L_0}{2} \cos \frac{2\pi x}{H} \quad (9)$$

$$L_c = L_0 - \frac{L_0 - L_{\min}}{2} + \frac{L_0 - L_{\min}}{2} \cos \frac{2\pi x}{H} \quad (10)$$

$$L_d = L_0 + (L_{\max} - L_0 - \Delta) \sin \frac{2\pi x}{H} + 2\Delta \sin \left(\frac{4\pi x}{H} + \pi \right) \quad (11)$$

$$L_e = L_0 + (L_{\max} - L_0 - \Delta) \sin \left(\frac{2\pi x}{H} + \pi \right) + 2\Delta \sin \frac{4\pi x}{H} \quad (12)$$

式中 L_b 、 L_c 、 L_d 、 L_e 分别为4种成圈线圈的明暗变化曲线, L_0 为初始亮度, $L_{\max}$ 为最大亮度设定值, $L_{\min}$ 为最小值, H 为线圈高度, Δ 为调节参数, Δ 越大, d 、 e 2条曲线的初始和结束曲线越平滑,中间变化越急剧。设 L_0 为80%, b 曲线最大值为140%, c 曲线最小值为40%, d 、 e 曲线最大值为110%, Δ 等于3。图9示出加入不同明暗变化的线圈图。与未处理的曲线相比,经明暗处理的线圈 b 、 c 、 d 、 e 表面的纹理具有明暗变化,分别以二维的方式呈现出凸起、凹下、先凸后凹,先凹后凸的三维效果。

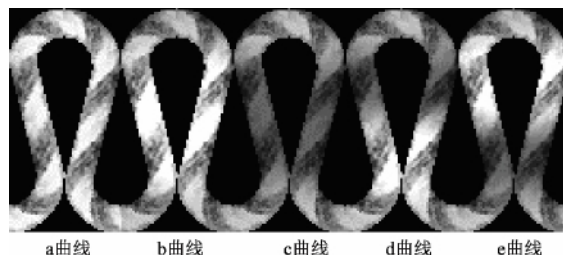


图9 不同明暗曲线变化的线圈

Fig. 9 Loop with varying brightness line a to line e

4 线圈仿真的计算机实现

根据上述算法,采用VC++计算机编程实现了由纱线纹理到线圈纹理的模拟过程。数据结构如下:

```
struct TEXTURES{ int r; int g; int b; } textures;
vector<vector<struct TEXTURES>> W;
vector<vector<struct TEXTURES>> S;
```

每个TEXTURES中均包括 r 、 g 、 b 3个数据元素, W 与 S 均为数据类型为TEXTURES的动态二维数组。由 W 得到 S 的具体实现流程如图10所示。

根据该程序实现一个高度100像素、宽度50像素的线圈时间很短,设计重复实验,将得到纱线纹理、转化线圈纹理、对线圈纹理进行亮度变化的过程重复100次的时间为546 ms,即从纱线到经过亮度处理的线圈仅需不到6 ms。相较三维纹理计算简便快捷,可作为横编CAD图元建立的方法,不会因为复杂的三维计算过程影响设计效率。图11示出用这些图元生成的织物结构,其中图11(a)为纬平针组织,图11(b)为罗纹织物,图11(c)为正反针组织1#,由 4×4 的正针组织和反针组织交错排列,形成凹凸的方格纹理,图11(d)为正反针组织2#,由

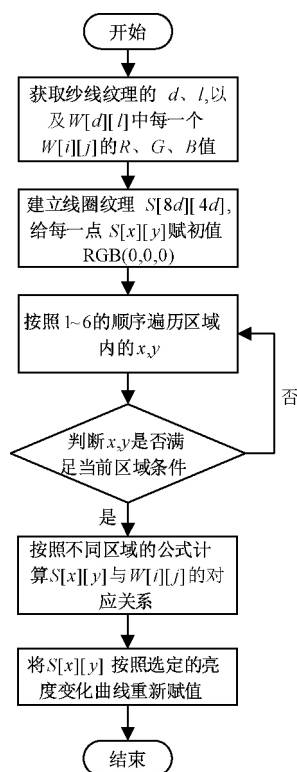


图 10 算法流程图

Fig. 10 Algorithm flow chart

正针与反针 1 隔 1 交错排列, 也称米粒针组织。

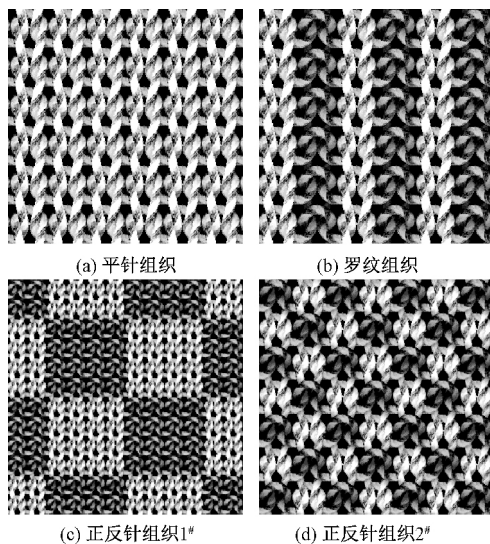


图 11 横编组织仿真

Fig. 11 Stitch simulation. (a) Plain jersey stitch;
(b) Rib stitch; (c) Knit and purl stitch 1#;
(d) Knit and purl stitch 2#

5 结 论

本文探索了一种基于线圈几何模型由纱线纹理

得到线圈纹理的算法, 经实验证明是一种可保持纱线纹理在线圈弯曲变化中连续, 真实感较好且速度快的方法, 为实现织物真实感设计的线圈图元建立提供了参考价值。

1) 建立了纱线纹理模型与线圈纹理模型, 根据线圈几何模型建立了分区域的纱线纹理向线圈纹理的转化关系的数学模型。

2) 以成圈线圈为例, 通过对三维线圈形态变化的研究, 建立了线圈表面亮度变化理想化曲线函数, 实现了线圈的凹凸空间感, 提高了线圈纹理的真实感。

3) 通过 VC++ 编程实现了从纱线纹理提取、纱线向线圈纹理转化、线圈纹理亮度变化的图元生成程序, 可用于生成不同纹理的线圈, 为基于线圈的织物设计提供便捷, 真实感较强的图元。本文仅研究了成圈线圈的模拟仿真, 对于集圈、移圈以及花式纱线线圈仿真尚有待进一步研究。

FZXB

参考文献:

- [1] FOLEY J D, VAN Dam A. Fundamentals of Interactive Computer Graphics [M]. Reading, MA: Addison-Wesley, 1982: 8-12.
- [2] FRANCOIS Sieve, SERGEI Grishanov, THOMAS Cassidy, et al. An application of queuing theory to modeling of melange yarns: part I: a queuing model of melange yarn structure [J]. Textile Research Journal, 2009, 16: 1467-1485.
- [3] ÖZDEMİR H, BASER G. Computer simulation of plain woven fabric appearance from yarn photographs [J]. Journal of the Textile Institute, 2009, 100(3): 282-292.
- [4] YUKSEL C, KALDOR J M, JAMES D L, et al. Stitch meshes for modeling knitted clothing with yarn-level detail [J]. ACM Transactions on Graphics, 2012, 31(4): 37.
- [5] KURBAK A, EKMEK O. Basic studies for modeling complex weft knitted fabric structures: part I: A geometrical model for widthwise curling of plain knitted fabrics [J]. Textile Research Journal, 2008, 78(3): 198-208.
- [6] EFROS A A, FREEMAN W T. Image quilting for texture synthesis and transfer [C]//Proceedings of the 28th annual conference on computer graphics and interactive techniques. [S. l.]: ACM, 2001: 341-346.
- [7] PEIRCE F T. Geometrical principles applicable to the design of functional fabrics [J]. Textile Research Journal, 1947, 17(3): 123-147.
- [8] HALEEM Noman, WANG Xungai. Recent research and developments on yarn hairiness [J]. Textile Research Journal, 2015(2): 211-224.
- [9] 汪育桑, 冯勋伟. 基于几何模型的纬编提花织物结构计算机辅助设计 [J]. 中国纺织大学学报, 2000, 26(6): 66-70.

WANG Yusang, FENG Xunwei. CAD of weft knitted jacquard fabrics based on geometrical model [J]. Journal of China Textile University 2000 26(6): 66-70.