

新疆民族民间艺术图案生成方法^①

赵海英^{1,2}, 杨一帆², 徐光美³

¹(新疆师范大学 计算机科学技术学院, 乌鲁木齐 830054)

²(北京科技大学 信息工程学院, 北京 100083)

³(北京联合大学 信息工程学院, 北京 100101)

摘要: 目的: 解决如何数字化具有民族风格的图案是一个富有挑战的问题。提出演化组合图元基因再生图案基因的方法, 并通过变形技术快速生成具有相似民族风格的图案基因。方法: 首先, 引入图元基因和再生基因概念, 提出图元基因生成方法; 然后, 通过设置再生基因的生成参数, 组合排列图元再生具有民族传承意义的图案基因; 最后借助图像变形技术扩展图案基因。实验结果: 利用图元基因和再生基因能够生成传承原有图案风格与特色的图案。结论: 所提方法以图案基因为设计核心, 具有保持民族风格、简单灵活、推广强的特点, 为下一步计算机智能生成图案奠定基础。

关键词: 民族图案; 图元基因; 再生基因; 组合规则; 变形设计

Design Method for Xinjiang Folk Art Pattern

ZHAO Hai-Ying^{1,2}, YANG Yi-Fan², XU Guang-Mei³

¹(College of Computer Science and Technology, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)

²(School of Information Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

³(Department of Computer Science and Technology, Beijing Union University, Beijing 100101, China)

Abstract: Objective: To address how to digital design with the characteristics of ethnic minorities in Xinjiang is a challenging problem. A method is put forward to evolution and combination primitive genes to regenerate gene and the introduction of morphing technology to fast generate with similar national style design genes. Methods: first, definition the concept of primitive gene and regeneration gene, to propose a primitive genetic generating method. Then, by setting the formation parameters of the regenerative gene, combine primitive gene to arrange regeneration gene which inherit the national significance. Finally, using the image morphing technology expand the pattern genes. Experimental results: a variety of patterns are generated by primitive gene and regenerative gene. Conclusion: proposed method is closely keeping the national style of design, it has the nice generalization ability and a promising future in the digital design fields and it is simple and easy in operation and can be widely popularized. So it can lay the foundation for auto-genetic pattern genes to establish folk design.

Key words: national pattern; primitive gene; regenerative gene; combination rule; morph design

1 引言

新疆民族民间艺术图案反映了少数民族共同的文化特点和历史沿革。纵观图案造型, 它既源于民族文化, 依存于民族文化; 又是民族文化内涵的外延和形象表达, 抓住其精神内涵的实质, 注入到现代的设计

中, 从而设计更具民族特色的图案。进行新疆民间艺术图案的设计要重视其“形”, “形”即外在形式, 是构成新疆民间艺术图案表面的、显而易见的设计元素。这些元素具有鲜明的民族特色, 在设计中早已被大量应用, 但市面杂乱而不精, 重复较多, 没有任何创新

① 基金项目: 国家自然科学基金(60863010); 973 前期计划专项课题项目(2010CB334709); 新疆自然科学基金(2010211a19)

收稿时间: 2010-10-26; 收到修改稿时间: 2010-12-01

突破,设计倍感困乏。尽管计算机的快速和复制能力强,可以取得某些方便,但民间艺术产品的设计过程存在复杂、周期长、效率低、费用高、针对性差的局限性。阻碍了新疆民族艺术图案的应用和发展。浙江大学的潘云鹤教授和孙守迁教授为首的研究小组对中国剪纸图案进行了深入研究,提出了计算机辅助生成剪纸形象的方法^[1]。通过构建剪纸纹样库,由用户设计的动物形象轮廓,在纹样库中选出适当的纹样嵌入到剪纸轮廓内的指定位置上。这些技术实现了中国剪纸CAD系统研究的创新形式,而且建立了大批剪纸常用元素符号数据库,大大加速了剪纸传统艺术数字化CAD技术的发展。这为新疆民族民间艺术图案数字化技术的发展指引了方向。

论文为了挖掘、解码图案内在本源,分析了新疆民间艺术图案的特点,借用生物学的基因词汇,把一定地域,一定民族文化环境中所形成具有某些稳定性、典型性、继承性的起着重要表征和制约作用的基本图案因素,定义为新疆民族民间艺术图案基因。一幅图案是由不同基因组成。只不过它不单是基因的机械性聚合体,而是更高语义层次的单位组合。从表面上看,图案本身只是一个和谐的组合体,其实它更是人类民族文化的载体。借助生物基因的研究方法,一是要忠实民族风格地复制图案基因,保持少数民族民间织物图案的基本特征;二是要基因能够“变形”或“重组”,给民族民间艺术图案输送创新性的原始材料,使图案可以在人类需求的选择中被选择出最适合民族的个体基因。

论文不同于常用图案的生成方法,提出生成粒度更小的基本单位——基因,并以曲线生成图元基因,变形扩展图元基因作为设计核心,通过组合变换再生基因图案,使得所提方法更具传承民族风格,设计推广性强的特点,这是其它论文没有重视的。

2 相关工作

如何利用数学理论及各类工具自动生成纺织纹样图案,为艺术设计人员提供新的创意,前人已提出许多行之有效的办法,尤其在织物几何造型和动态模拟方面,研究成果显著。如 Pentland^[2]和 Kawaguchi^[3]提出的分形生成模型在纺织花型设计中有很大的应用潜力,这种生成模型并不直接规定图形的外观,而是规定反映图形结构关系的生成规则。常用的分形模型有字符重写系统(String Rewriting System)、迭代函数系

统(Iteration Function System)、复数平面分形系统(Complex Plane Fractal System)、元胞自动机(Cellular Automata)、有限扩散凝聚模型(Diffusion Limited Aggregation)等。虽然各自生成图形的方法不同,但其生成图形都具有分形的特征,通常用迭代思想生成,使复杂景物用简单的规则表示,而图案纹样的变化是人们意想不到的,为此应用分形生成模型可极大地丰富纺织品的花色品种,缩短花型设计的周期。

其中 Barnsley^[4]讨论了迭代函数系统(IFS)的生成方法主要有确定性算法与随机性算法,通过调整IFS的参数就可以生成大量图案并成功应用于纺织艺术设计方面,为织物图案的设计提供新的设计思路。丹麦植物学家 A Lindenmayer^[5]1968年创造性地提出了一个植物形态学模型,简称为L系统。20世纪80年代由 A R Smith 和 P Prusuikieuciz^[6]等人将L系统引入计算机图形学,使之自然景物模拟的有效方法。而植物约束造型^[7,8]是从组成特征出发的,研究基本造型之间的数学函数及相关参数生成仿植物图案。中国的张聿对L系统上进行了推广应用^[9]。Wolfram^[10]提出的元胞自动机演化模型是通过给出一些元胞自动机初值和演化规则,并根据图案颜色的需要生成多彩色图案的一种方法。另外,剪纸图案的生成模型在国内也取得了进一步发展。张显全等人^[11]在二维平面上实现了计算机辅助生成剪纸形象。首先对剪纸图案做分析,将图案划分成不同的细节区域,然后针对每个区域研究如何构造参数控制的样条曲线表示,最后将这些区域组合起来得到最后的剪纸图案。Liu等人从另外一个剪纸构造角度实现了剪纸的建模^[12]。该方法模拟折叠剪纸技法,分为三个步骤:分析、折叠、合成,在对折过几次的纸张上按照一定的规则裁剪,展开后得到具有对称性的剪纸图案。

综上所述,图案的生成方法多种多样,但多从物理特性上或几何特征出发的,更多的是着重于视觉效果。论文对民间纹样图案的模拟也追求逼真的视觉效果,但更重视使民间艺术图案的风格得到保留与传承,为研究保护民族民间艺术图案的建模技术提供一种途径。

3 新疆民族民间艺术图案要素

3.1 图案基因、图元基因以及再生基因

新疆民族民间艺术图案在展示生命与自然之美、同宗教哲学有千丝万缕的联系、以植物生命为象征体系意

蕴着各民族的风格与特色。图案构成的基本要素的重用性很高,各类图案对比鲜明,构成有规可循,设计图案本身的规格化程序很高,为了提高创作过程的智能化,高重用性,引入“图案基因”。将图案中可重用“部件”抽取出来,构建以基因为单位的图案基因库。图案基因所表现的特点联系着远古和现在并显示独特的、顽强的生命力,这正是民间艺术图案的魅力所在。

定义1. 把在一定地域、一定民族文化环境中形成的具有某种稳定性、继承性、典型性特点;具有一定意义、较为独立的信息单元;呈现出一定民族特征的基本单元称之为民族民间艺术图案基因。

基因除具有稳定性、继承性、典型性外,还具有单一色彩、最小构图结构等特点。存在这些特点,可以小到一条直线、一个矩形、一个圆、一个地图符号、一个字符串等都是基因。大到若干基本图元的内部“组合、变异”。基因的表达在数据结构中可采用属性、处理参数及方法,如: Circle, x, y, R ——圆,圆心在(x, y),半径为 R ; Line, x_1, y_1, x_2, y_2 ——线,始点(x_1, y_1),终点(x_2, y_2),还可用纹样、色彩、构图等参数描述。

根据图案生成过程,将图案基因分为两类:图元基因和再生基因两类。

定义2. 所谓图元基因,是指由直线、曲线、类圆组合成的闭合小单元,也可以理解成在包含在一幅图案中多次重复而又不可再分的闭合元素。其特点是忠实民族风格的图案基因,以保持民间图案的基本特征。图元主要是由基本线生成或图案分割模型分解得到。根据图案生成的需求,引入图元基因概念作为图案生成的基本单位,也即图案基因的“构成”、“突变”或“重组”单位。具体实现中可以将图元基因封装成一个函数,作为图案基因设计的素材。

定义3. 所谓再生基因,是指由图元基因按照一个排列规则再生图案。其特点是再生基因可以包括许多突变单位和许多重组单位。选择其一小部分的“变形”或“重组”;还可由许多生成模型(分形生成模型、元胞自动机演化模型、植物约束生长模型)生成、重组拼接生成、基因遗传变异生成。

4 民间艺术图案生成方法

民间艺术图案生成方法由四个组成部分来实现:图元基因生成方法、再生图案基因生成方法、变形技

术生成图案方法以及整合图案生成方法。

4.1 图元基因生成方法

依据图案分解出有意义的最小单位或由设计师提供的图元进行临摹完成。此过程可以理解成通过调节矢量图形的节点参数拟合二值图像边缘。涉及的参数有参考原点、段起始点、段终止点、段弧度控制节点、中心点、圆半径、整体旋转角度、缩放尺度等。其中将参考原点、旋转角度、缩放尺度参数作为外部可调参数提供设计者,而其它参数是决定图元基因的基本性状参数,对外不可调。并将图元基因进行封装生成图元对象提供下一阶段设计使用。

生成图元基因的步骤如下:

step1. 对原图案进行图元抽象化分离。通过人工手段分析图元的构成要素(点、线、弧、圆等),以交互式方法实现要素类型确定、关键点选取并计算出对应参数。

step2. 采用三阶 BEZIER 函数表达式对图元中的直线、曲线进行表示,另外用极坐标的函数形式表示圆和椭圆。

BEZIER 函数的表达式为^[13]:

$$c(t) = (1-t)p_1 + 3t(1-t)^2 p_2 + 3t^2(1-t)p_3 + t^3 p_4 \quad (1)$$

圆的极坐标函数表达式为:

$$x(\theta) = a \cdot \cos(\theta) \quad y(\theta) = b \cdot \sin(\theta) \quad (2)$$

其中 BEZIER 曲线表达式中 t 变量,依此等间隔致密的取 0 到 1 间的数,得到不同 t 值处的 $C(t)$ 点坐标,依此短直线连接相邻的点近似构成弧线或直线;对于极坐标中变量 θ ,同法取 0 到 2π 间的值,依次连点得到近似圆形。

step3. 图元按矢量形式输出,即通过数学表达式及少量参数变量对图元边缘进行描述。矢量表示的图元具有数据量少,使用方便的特点。

4.2 再生基因生成方法

再生基因是由图元基因排列组成,其构成依据某些排列规律,在整幅图案中这种排列规律多次重复而又不可再分。值得注意的是,这些排列组合规律仅对某一类图元适用,不具有普适性,也就是说可能存在规律千变万化。但是针对某一类图元可以找出一些常见的排列规律特点,比如中心对称、轴对称、沿弧线切线角度一致等。对于中心对称问题,可以控制图元基因生成的保留参数:参考原点和旋转角度,使之按固定某一圆心等分角度依次旋转放置,形成花形图案;

对于轴对称，通过设置对称轴向量，计算对称图元对应的原点位置和旋转角并绘制，产生轴对称图案；对于沿弧线切线角度一致排列，首先应人工确定弧线产生方程，计算等间隔点间的相对切线方向，从而确定安置图元的角度，将弧上点坐标和对应切向量角度加上固定旋转角度输入所需图元的生成函数，从而得到再生基因图案。

具体过程：一幅再生基因图案创作的过程可以简略为一个图元按规则填充的过程，图元规则可根据设计进行选择，具体再生图案的实施步骤如下：

- 1) 利用定义选择基因库中的图元基因；
 - 2) 选择已设计好的各种规则以及需要设置的规则参数；
 - 3) 调整需要在设计构图 composition 上分布的图元对象 texton 数目 n ；
 - 4) 根据布局大小，对图元基因进行方向、大小调整变换；以便同全局方向校准；
 - 5) 确定图元基因在构图 composition 上分布的方向，计算路径上 n 个点的方向角 $\theta_i (1 \leq i \leq n)$ 和嵌入位置 $(x_i, y_i) (1 \leq i \leq n)$ ；
 - 6) 复制变换 texton 1 对象为 texton 2, ... texton i ，将 texton i 移到点 (x_i, y_i) ，旋转 θ_i ，循环 n 次。
- 经过以上六个步骤，通过规则实现图元生成。图 5 为生成再生基因图案。



(a)图元基因 (b)再生基因
图 1 按规则生成基因图案

4.3 基于变形技术的民族图案基因生成方法

定义 4. 基因图案变形指根据图案的类型及等数量的关键点，进行的不同图案之间的转换。其目的是，希望在变形过程中得到介于两种不同基因图案之间的新图案，从而扩充基因图库。图案变形的前提是可以找到源和目标间的点对应关系。

step1. 确定基因图案的要素类型及关键点数，这是算法的前提条件。

step2. 标注不同图案中关键点的对应关系(如图 2 所示)。

step3. 参数变换，取两图间对应关键点矢量之差，

矢量差等均匀分，依次累加到初始图案的关键点矢量上，从而得到中间过程的新图案。

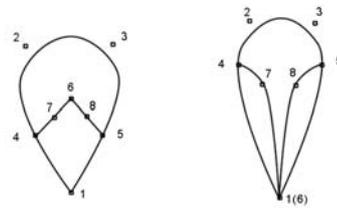


图 2 标出图案变换的对应关键点

α 为等分整数， j 取 0 到 α 间整数， s 表示变换初始图案， D 表示变换终止图案， M 表示中间过程图案， i 表示图案像素。

step4: 模仿手工绘制重复图案时，做出一个微小形变，以免给人有机器生成的生硬感。在关键点矢量参数上掺入较小随机扰动。这样生成的同一类型的图案有宽有窄、有凸有凹，不再千篇一律，如下图 3 所示。

$$P_i = P_i + \alpha * rand() \tag{3}$$

α 为随机量控制系数

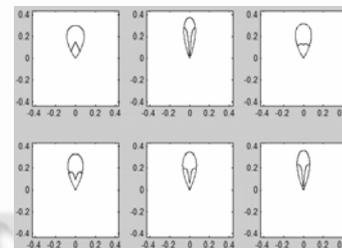


图 3 图元变形过程

4.4 整合图案基因生成具有民族风格的艺术图案

图案的核心就是基因。一幅图案创作的过程可以理解为一个构图填充的过程，构图结构中的每个节点均可放一个基因。图中边可以是任何路径或区域。

新疆民族民间织物图案设计中常用连续变换与拼合图案的创作技术。连续变换主要是二方/四方连续变换以及路径积木拼合造型。

1) 二方/四方连续变换

二方连续变换为对某一个基因沿一个方向连续重复变换，以形成一维的连续纹样；四方连续变换为沿水平和垂直的两个方向连续重复变换，以形成二维连续纹样。

2) 路径积木拼合

把图案设计中的路径运算想象为搭积木，各种各样的基因积木搭在一起，形成一个复杂的新形状图案。在搭积木中可以进行相加、相减运算、交叉区域和重叠四种组合方式，生成不同的造型。

3) 多方案的组合创意

当图案设计师已经确定图案布局构形以及基因后，余下的工作就是对图案进行装饰。装饰图案时需要借助路径的装饰技术以及连续变换、拼合技术等辅助，此时多方案组合创意便体现出很大的价值。设计师一方面可以修改需要进行设计的装饰基因；一方面可以修改每一种组合的参数，这样就可以产生某一特定布局构形和不同基因的多方案民间艺术图案。

5 新疆民族民间艺术图案基因生成案例

5.1 图元基因生成案例

案例 1：依据图案分解出有意义的最小单位或由设计师提供的图元进行临摹完成。

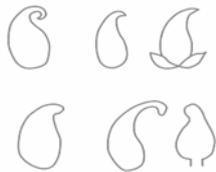


图 4 临摹图元基因 (出自新疆维吾尔族丝巾图案设计)

将图案基元按矢量形式输出，即通过数学表达式及少量参数变量对图案边缘进行描述。方法主要采用三阶 BEZIER 函数表达式对图案中的直线、曲线进行表示，另外用极坐标的函数形式表示圆和椭圆。这样矩阵的图像数据即可用少量的参数对原图案基元进行矢量表示。

案例 2：利用论文所提方法生成图元基因



图 5 生成图元基因

5.2 再生基因生成案例

案例 3：经过上述方法得到图元基因，对图元进行重新组合。根据民间图案绘制特点，常见的组合方法有：中心旋转组合、轴对称组合、沿曲线排列组合等。组合后形成新的纹样。如图 6 所示。

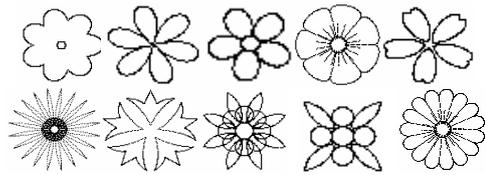


图 6 再生基因展示

5.3 基因变形生成案例

案例 1：首先要将用矩阵表示的二值图像转换为用函数表示的矢量图形。矢量图形可用少量关键点对图案进行表示，源和目标必须找到共同的关键点；矢量表示图案的参数具有有序性，因此源和目标中的关键点必须保证相同的顺序和序位。图案的变形可以化简为其包含的图元的变形。

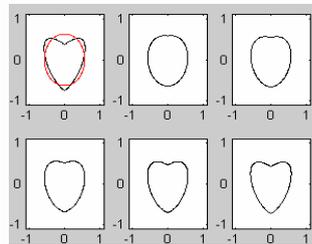


图 7 植物图元基因变形

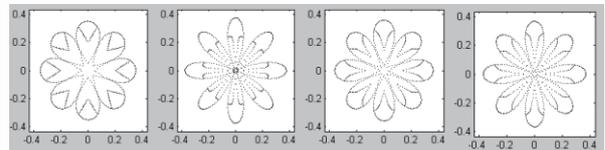


图 8 再生基因变形

5.4 基因图案生成织物图案案例

新疆民族民间织物图案设计中常用的连续变换与拼合图案的创作技术。

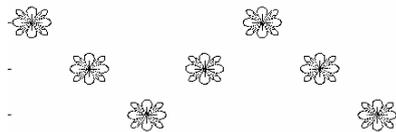


图 9 采用路径积木拼合生成民间图案

5.5 基因图案生成剖析

1) 生成的图元基因具有一定的民族风格与寓意，如图 4 中的图元就是象征长生不老，永远健康的“长生果”，维吾尔族中称之为“巴旦木”。图 5 中的图元基因 (从左到右) 分别代表了斯勒纹、一组米哈拉甫纹丝 (6 个)、叶、忍冬纹等。

2) 图 6 经过组合再生基因图案。这组图案是民间

织物中常见的装饰花纹, 可见于围巾、上衣、裙子等饰物, 代表着少数民族在游牧生活可对花草植物的眷恋。

3) 图7和图8展示变形过程, 其得到中间图元和再生基因与源图案具有很大相似性, 传承了民族艺术图案的特色和风格。而其理论的相似证明可作为进一步研究的方向。

4) 观察图9和图10, 用户可以从生成的图案中找到源图案的元, 传承了民族艺术图案的特色和风格。

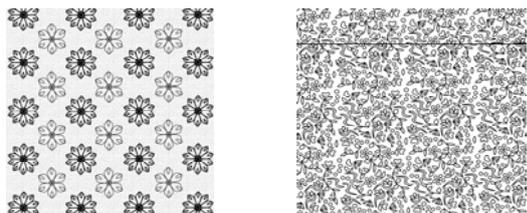


图10 采用连续变换的多组合纹样

5.6 图案生成的适用范围及局限性

通过组合与变形图元再生基因图案, 方法适用于保留原民间艺术图案风格基本不变的情形下, 产生新的民间纹样图案。但是方法的推广受阻于两个层面。第一, 如何控制组合规则再生图案, 是拓宽所提方法适用范围的关键, 研究者在下一阶段会以图元基因生成引入元胞自动机的演化规则, 规定“生存”象素会随着周围的象素的亮度变化而变亮, “死亡”象素会随着周围亮度变化而变暗的。为了在变换后不破坏整体图案, 保证变换前后整体图案风格基本一致, 考虑了在YUV空间只对象素的亮度分量的进行扰动。这样做的好处是由于亮度值的变化, 只影响图像的明暗, 其风格保持。第二, 图案基因整合是一个很难的课题, 多图案即各种各样的单一基因, 将它们整合在一张画布上, 这好比是拿各种各样的现成工具做画, 其中包含设计师的创意构思过程, 随意性大难以把握, 无法提炼出一般性的整合规律。因此多图案整合只能实现计算机辅助设计, 由设计师选定所需基因图案, 人工输入放置位置坐标、旋转角度、大小尺度。当然也可利用基因对称或沿弧线排列成单一图案的方法, 实现单一图案构成多图案的过程, 但这一应用局限性较大, 没有普适性。

6 结论

论文提出图元基因、再生基因的概念, 并通过组合与变形图元再生基因图案, 使其在保证原有民间艺术图案风格基本不变的情况下, 产生新的纹样图案。从给出了大量实例中, 可以看出方法的简单实用性。

并可以在生成的基因图案中方便地找到图案基元, 使得民族艺术图案的风格保留传承, 这是其它方法无法做到的。

综上所述, 由于本方法具有图元基因小, 种类繁多, 变换简单, 运算速度快的特点, 故能通过改变组合规则和图元基因来快速生成不同的图案, 这对新疆纺织原料的新花型、新设计提供新的设计途径, 为研究各类民间艺术图案的建模方法奠定基础。下一步的研究重点是引入人工智能和其它智能算法^[14,15]来变换图案基因, 控制图案生成过程。

参考文献

- 俞杰, 耿卫东, 潘云鹤. 面向产品创新设计的CAD方法综述. 计算机辅助设计及图形学学报, 1999, 21(2): 96-99.
- Pentland A. Fractal-based description of natural scenes. Proc. IEEE Conf Computer. Vision and Pattern Recognition. 1983, Arlington, VA.
- Kawaguchi Y. A morphological study of the form of nature. Computer Graphics, 1982, 16(3): 223-232.
- Barnsley MF, Demoko S. Iterated function systems and the global construction of fractals. Proc. of the Roy. Soc. Lond, 1985, A 399: 243-275.
- Lindenmayer A. Mathematical models for cellular interaction in development, Parts 1 and part2. Journal of Theoretical Biology, 1968, 18: 280-315.
- Prusinkiewicz P, Hammel M, Mjolsness E. Animation of plant development. Computer Graphics, 1993, 7(3): 351-360.
- Pinkall U, Polthier K. Computing discrete minimal surfaces and their conjugates. Experimental Mathematics, 1993, 2(1): 15-36.
- Sorkine O. Differential representations for mesh processing. Computer Graphics Forum, 2006, 25(4): 789-807.
- 张聿, 金耀, 孙家武, 等. 基于L系统的织物分形组织设计方法. 纺织学报, 2007, 28(5): 51-54.
- Wolfram S. Statistical mechanics of cellular automata. Review of Modern Physics, 1983, 55(3): 601-644.
- 张显权, 于金辉, 蒋凌琳, 陶小梅. 计算机辅助生成剪纸形象. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17(6): 1378-1382.
- Liu YX, Hays J, Xu YQ, Shum HY. Digital paper cutting. ACM SIGGRAPH 2005 Sketehos. NY: ACM Press. 2005. 99.
- 唐长钧. BEZIER曲线和曲面及其实现. 上海交通大学学报, 1991, 25(2): 29-41.
- 涂传朋, 彭韧, 陈海英, 于金辉. 计算机生成剪纸风格流水动画. 计算机辅助设计与图形学学报, 2009, 21(7): 67-73.
- 刘涛, 刘弘. 基于遗传算法的剪纸图案创新设计. 计算机工程与应用, 2008, 44(12): 156-162.