

参数化的肖像漫画生成算法*

苏延辉¹, 李 帅², 湛永松²

(1. 浙江大学 计算机学院, 杭州 310058; 2. 桂林电子科技大学 广西可信软件重点实验室, 广西 桂林 541004)

摘要: 现有计算机生成漫画的方法大多基于高层语义描述和图像模板的方式来实现, 主要通过基于图像变形的算法达到漫画夸张的效果, 更多关注的是夸张点的位置模板和夸张的比例, 很少从艺术家的绘画本质, 即线条来描述夸张的尺度。参数化的方法从艺术家绘画的本质线条出发, 分析夸张的基本原理, 构建组成人脸夸张各器官的线条元素, 将漫画的夸张特征转换为一些可控制的参数, 并通过局部参数的控制调整, 实现不同艺术风格的漫画。实验证明该方法实现的漫画效果线条造型丰富, 夸张效果突出, 较好地还原了艺术家漫画夸张的线条表现本质。

关键词: 漫画; 肖像; 夸张; 参数化

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2014)05-1562-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2014.05.068

Generation algorithm of parameterized caricature

SU Yan-hui¹, LI Shuai², ZHAN Yong-song²

(1. College of Computer Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Trusted Software, Guilin University of Electronic Technology, Guilin Guangxi 541004, China)

Abstract: The existing methods of computer generated cartoons are mostly realized by high-level semantic analyze or template based way, those methods are more focus on exaggerated templates and proportion, but less form the essence of artist's paintings, which used the original lines to describe the art of exaggeration. This paper firstly used the parameterized method, from the essence line of artist's painting, constructed the lines of composition exaggeration, it transformed the exaggeration features by some controllable parameters and realized stylized caricature by adjusting parameters. The final result of caricatures generated by the proposed method restore the artist's exaggerate style in nature.

Key words: caricature; portrait; exaggeration; parameterized

0 引言

作为一种典型的艺术形式,肖像漫画可以通过夸张和扭曲事物本质清晰地表达作者的思想。观察很多的优秀作品可以发现几乎每一张成功的漫画作品中都有朴素的线条。直线、曲线、弧线等基本线条的粗细、长短及组合的不同,都会构成不同的夸张,而这些夸张即会形成不同的艺术风格。因此,线条作为组成夸张的基本要素,是夸张的本质,而它的夸张也是漫画艺术的核心。由图1可以看出,简单的线条夸张即可突出艺术作品中人物五官的特点,比如凸起的高颧骨、厚厚的下嘴唇、眯起的小眼睛、尖长的下巴。这些肖像漫画的夸张特点通过线条的变化可以很容易地表现出来。

近年来基于计算机的漫画研究取得了很大成功,计算机肖像漫画的研究者们也提出了不少的夸张方法。文献[1]中比较了很多漫画夸张方法,但它们大多基于高层语义描述和图像模板来实现,很少从艺术家绘画的本质即线条来描述夸张的尺度、绘制肖像的人脸轮廓。Akleman等人[2]开发了一个人机交互的系统,漫画家可以用该系统生成别具一格的漫画,但没有

经验的用户很难用该系统提供的工具创作出理想的漫画作品。Chen等人[3]在PicToon系统中采用了一套预先设定的夸张模板来生成漫画,但只能选择固定的模板,所以应用不够灵活。Yan等人[4]提出的漫画风格的人脸肖像算法,总结了人脸漫画夸张的特定规律,通过对脸部各部分的研究来确定变形区域,并对各器官进行鱼眼挤压等变形,但生成的夸张效果风格单一。Yang等人[5]提出了一种语义驱动的肖像漫画风格化方法,该方法根据一个语义文法模型,利用肖像语义丰富和控制漫画风格。Feng等人[6]提出一种交互式的、基于特征线段和鱼眼放大挤压算法的人脸肖像漫画生成算法。Shet等人[7]用神经网络研究漫画的形状变化。Chiang等人[8]将人脸特征划分为全局特征和局部特征,并单独进行处理。但是以上所有的方法都不是基于夸张的本质线条来生成漫画的。Chen等人[9]提出了一种基于样本的人脸线条画自动生成系统,该系统采用非参数化采样的方法,根据用户给定的人像照片,自动生成与艺术家风格相似的、视觉特征逼真的线条画,但该系统没有实现肖像漫画的夸张。

本文以前人的研究为基础,结合个人的创新,提出了一种

收稿日期: 2013-08-02; **修回日期:** 2013-09-16 **基金项目:** 广西可信软件重点实验室2013年度开放课题(kx201309);广西教育厅科研重点项目(201102ZD016);桂林电子科技大学研究生教育创新计划资助项目(XJYC2012019);海南省自然科学基金资助项目(613169)

作者简介: 苏延辉(1980-),男,浙江杭州人,博士研究生,主要研究方向为计算机动画、计算机图形学、数字化艺术设计(suyanhui@gmail.com);李帅(1989-),女,硕士研究生,主要研究方向为计算机图形学、数字媒体技术;湛永松(1979-),男,博士,主要研究方向为计算机图形学、多媒体技术。

更为新颖的方法,该方法不仅表达了艺术家绘画的本质线条,且采用参数化的方法构建出一组夸张的线条,将漫画的夸张特征有效地转换为一些可控制的参数,通过简单地调整局部参数实现不同风格的漫画夸张。



图1 基于线条夸张的肖像漫画

1 参数化算法

现有大多数的作品都是强调轮廓曲线的光滑性,但是观察大量的漫画作品会发现大部分漫画家不会太多地考虑轮廓曲线的光滑性。实际上,漫画家用画笔创作时,很难做到整个人脸轮廓的光滑性,而这种不光滑性往往能反映出漫画作品的个性。因此,参数化的方法将人脸轮廓分成三部分,即上庭、中庭和下庭。该方法着重于每个部分的形状造型,而相邻部分之间(上庭和中庭之间,中庭和下庭之间)的连接只作略微处理,不需要过分强调相邻部分之间连接的光滑性。对于人脸轮廓的每一部分,可能需要分成几小段曲线。绘制每一段的曲线需要考虑各组成部分形状的属性,如多样性、弯曲度、凹凸性等。

1.1 轮廓建模

人的脸型归纳为八种类型,谓之“田、由、国、用、目、甲、风、申”。肖像漫画的基本绘制区域根据人脸宽高比确定,它是体现脸型的一个重要因素,也是肖像漫画造型的一个重要参数。初始的绘制区域假定为 $[0,1] \times [0,1]$ 的方形区域,不同的图像脸型,其人脸的宽高比也不同,这决定实际的绘制区域为不同形状的矩形,如图2所示,不同脸型的肖像,绘制出的矩形也各不相同。



图2 不同宽高比绘制出的不同形状的矩形

绘制人脸的轮廓首先需要确定上庭和中庭的交点 ST_1 和 ST_2 ,中庭和下庭的交点 XT_1 和 XT_2 。确定步骤如下:

a) 确定四个点的 Y 坐标。计算这四个点时,需要使用的参数是上庭高度与整个人脸高度的比例 $mvFaceTopScale$ 、中庭高度与整个人脸高度的比例 $mvFaceMiddleScale$ 、下庭高度与整个人脸高度的比例 $mvFaceBottomScale$,三个参数之和应该等于1.0。根据这三个参数可以计算出上庭与中庭的相交线 ST_1 、 ST_2 和中庭与下庭的相交线 XT_1 、 XT_2 的位置,即这四个点的 Y 坐标值。

b) 确定四个点的 X 坐标。确定这四个点的 X 坐标,考虑线段 ST_1 、 ST_2 与线段 XT_1 、 XT_2 的长度关系,需要引入一个新的参数 $mvShangXiaTingRatio$ 。该参数大于1.0,表明头的上面部分宽于下面部分,将上庭与中庭的交线布置在人脸区域的长度

的0.8比率位置处(因为脸部三庭区域有可能是外凸的,会让这两条线更加向边界靠拢,因此留下0.2的空间)。利用人脸关于中心线的对称性,可以计算出这四个点的 X 坐标。

通过以上步骤即可确定上庭和中庭以及中庭和下庭之间的四个交点 ST_1 、 ST_2 、 XT_1 和 XT_2 ,如图3所示。

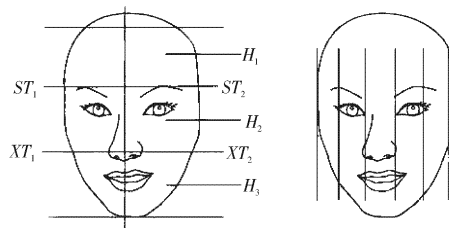


图3 四个交点 ST_1 、 ST_2 、 XT_1 和 XT_2

1.2 上庭曲线的生成

上庭曲线分为三部分,即左眼到额头的左侧上庭线、右眼到额头的右侧上庭线以及顶部的额头线。绘制每段曲线时需要考虑每段曲线的弯曲度、凹凸性以及额头线和两侧线之间的空间比例关系等属性。该部分需要引入几个参数:额头线与两侧线的高度比 $mvErtouScale$,它将整个上庭的高度分成额头线和两侧线两部分,两者各自在 Y 方向所占的比重由这个参数决定。该参数的取值可正可负,正值表示额头线向上突起,负值表示向内凹陷。当额头线与两侧线的高度比 $mvErtouScale$ 取值为负时,两侧线的高度占据整个上庭线的高度。上庭曲线的生成步骤如下:

a) 绘制额头曲线。采用一条三次Bezier曲线表示额头曲线,该曲线有四个控制点,如图4所示。该曲线的两个端点根据中庭线和上庭线的两个交点以及参数额头线与两侧线的高度比 $mvErtouScale$ 来确定,分别为曲线的第一个和第四个控制点。沿 X 轴方向将线段 E_1 、 E_4 等分为三部分,中间的两个控制点的 X 坐标即分别位于线段 E_1 、 E_4 的三分之一和三分之二处,其对应的 Y 坐标由额头线与两侧线的高度比 $mvErtouScale$ 的值和整个上庭的高度值来决定。

b) 绘制上庭两侧曲线。上庭的两侧曲线都由有三个控制点的二次Bezier曲线构造,且两侧曲线关于中心线对称,因此只需考虑左侧曲线。该曲线的第一个控制点是上庭和中庭交线上的 ST_1 点,第三个点为 E_1 。这两个点即为二次Bezier曲线的起点和终点,只需要再确定中间点 L_3 即可确定该曲线。 L_3 的 Y 坐标取值为 E_1 和 ST_1 点 Y 坐标的平均值,其 X 坐标的确定依赖于用户对该曲线弯曲度和凹凸属性的要求。相关公式如下:

$$F_{tp}[1].x = (F_{tp}[0].x + F_{tp}[2].x)/2 + TSW \times X_2 \quad (1)$$

$$F_{tp}[1].y = (F_{tp}[0].y + F_{tp}[2].y)/2 + TSW \times Y_2 \quad (2)$$

其中: $F_{tp}[1]$ 、 $F_{tp}[0]$ 和 $F_{tp}[2]$ 分别是点 L_3 、 ST_1 和 E_1 的值; TSW 是用于限制上庭两侧曲线弯曲度的参数; X_2 和 Y_2 是线段 ST_1 、 E_1 的单位垂直向量,如图5所示。

1.3 中庭曲线的生成

人脸两侧的中庭曲线关于中心线对称,因此只需考虑计算一侧的中庭曲线,下面以人脸左侧中庭曲线为例。中庭曲线也是用三次Bezier曲线来构造,需要确定其四个控制点。为保持连续性,第一个控制点选择为上庭和中庭交线的左侧点 ST_1 ,第四个控制点选择为中庭和下庭的交线左侧点 XT_1 。下面确定三次Bezier曲线中间控制点 M_2 和 M_3 。为保持中庭曲线和

上庭曲线的光滑性,需要尽量使得线段 M_2 、 ST_1 与线段 E_1E_3 的斜率相等,并且为了避免斜率相等可能导致点 M_2 在 X 方向的偏移过大,希望第一点和第二点距离较近。

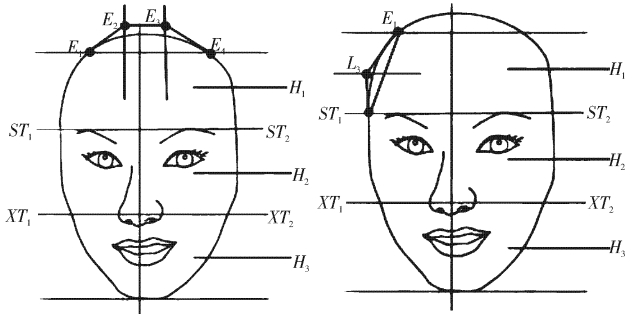


图4 额头曲线及四个控制点 E_1 、 E_2 、 E_3 和 E_4

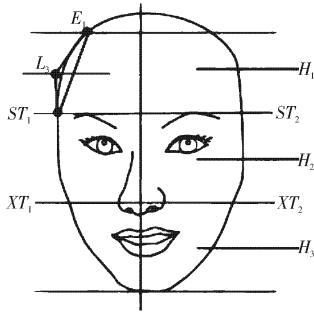


图5 两侧曲线及控制点 E_1 、 L_3 和 ST_1

计算点 M_2 的坐标。首先计算线段 XT_1 、 ST_1 的方向向量;其次,设置点 M_2 的 Y 坐标值为点 ST_1 的 Y 坐标加上线段 ST_1 、 XT_1 在 Y 方向六分之一的偏移量,如式(3)所示;最后,根据斜率相等的原则计算该点对应的 X 坐标值。相关公式如下,其中 $F_{mlp}[1].y$ 是点 M_2 的 Y 坐标, $F_{mlp}[0]$ 是点 ST_1 的坐标, BH 是中庭区域的高度。

$$F_{mlp}[1].y = F_{mlp}[0].y + BH/6 \quad (3)$$

第三个控制点 M_3 的确定主要考虑用户对中庭曲线凹凸性的要求。中庭曲线外凸能表示出胖胖的脸,而人脸内凹可表示出瘦脸庞。为表示曲线的凹凸性,需要引入一个参数 $mvMiddleAutoScale$,其处理过程与上庭左侧曲线的凹凸处理方法类似。首先找到线段 ST_1 、 XT_1 ;其次计算该线段的中点及其垂直方向的单位向量;最后,在其中点沿垂直方向进行一定量的偏移。偏移量为式(4)中最后一个分式。其中 $lvBoxWidth$ 是上庭长度的五分之一,除以五分之一是为了将人脸中庭的凹凸限制在一定程度范围之内。

$$F_{mlp}[2].x = (F_{mlp}[0].x + F_{mlp}[2].x)/2 - MAS \times BW \times X_2 \quad (4)$$

其中: $F_{mlp}[2].x$ 是点 M_3 的 X 坐标; BW 为上庭长度的五分之一,目的是为限定中庭曲线的凹凸性在一定范围内; X_2 是线段 ST_1 、 XT_2 在 X 方向的单位垂直向量。

计算出上述四个控制点后,便确定了表示中庭的三次 Bezier 曲线。如图6所示,利用对称性即可绘制出中庭右侧的 Bezier 曲线。

1.4 下庭曲线的生成

下庭曲线和上庭曲线的生成有相似之处,都由三段曲线构成,即左侧下庭曲线、右侧下庭曲线和中间的下巴曲线。但两者也有不同之处,比如通过观察大量的漫画作品会发现下巴曲线一般向下凸起,很少会向上凹陷。另外,为保持下庭和中庭曲线之间连接的略微光滑,需要作一些与上庭曲线生成不太相同的处理。

a) 计算下庭的两侧曲线。下庭两侧曲线均由三次 Bezier 曲线构成,且关于中心线对称,因此,计算出下庭的左侧曲线后,根据其四个控制点的坐标即可计算出下庭右侧曲线的四个控制点坐标,从而确定下庭右侧的曲线。所以在此只考虑下庭左侧曲线的生成。为保持连续性,该曲线的第一个控制点选择为点 XT_1 ,第四个点为点 X_4 。点 X_4 的确定方法与上庭额头曲线的第一个控制点的确定方法相似。首先通过一个参数下巴线与两侧线的高度比 $mvXiabaScale$ 确定下巴曲线在 Y 轴方向

的高度,进而确定点 X_4 的 Y 坐标。下巴线与两侧线的高度比 $mvXiabaScale$ 取值为正,则下巴是下凸而非上凹的。 X_4 点的 X 坐标通过偏移系数 (BOR) $mvBottomOffsetRatio$ 来确定。相关公式如下:

$$BO = BOR \times XL \quad (5)$$

$$F_{bp}[3].x = F_{bp}[0].x + BO \quad (6)$$

其中: BO 表示点 X_4 和点 XT_1 在 X 方向的偏移量; XL 是下庭的长度; $F_{bp}[3]$ 是点 X_4 。接下来确定另外两个控制点。第二个控制点 X_2 的 Y 坐标设置为线段 XT_1 、 X_4 长度的六分之一,其 X 坐标根据斜率相等的原则计算。第三个点 X_3 的计算需要考虑曲线的凹凸性,详细的计算方法与点 M_3 类似。相关公式如下:

$$F_{bp}[2].x = (F_{bp}[0].x + F_{bp}[3].x)/2 - BSS \times TO \times X_2 \quad (7)$$

$$F_{bp}[2].y = (F_{bp}[0].y + F_{bp}[3].y)/2 - BSS \times TO \times Y_2 \quad (8)$$

其中:具体的偏移量由式(7)(8)中最后一个分式来计算。下庭左侧曲线如图7所示。 $F_{bp}[2]$ 是点 X_3 ; BSS 是参数比 $mvBottomSideScale$,其值可正可负,符号的不同,反映的凹凸属性不同; TO 是下庭高度的十分之一; X_2 和 Y_2 分别为线段 XT_1 、 X_4 在其 X 和 Y 方向的单位向量。曲线如图7所示。

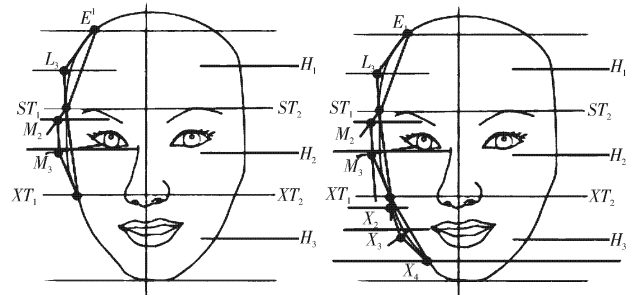


图6 中庭曲线及控制点 ST_1 、 M_2 、 M_3 和 XT_1

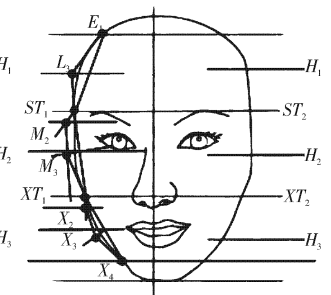


图7 下庭两侧曲线及四个控制点 XT_1 、 X_2 、 X_3 和 X_4

b) 绘制下巴曲线。下巴曲线也由一条三次 Bezier 曲线表示。首先,为保持下庭和中庭曲线的连续性,曲线的第一个控制点选择为点 X_4 ,最后一个控制点选择为下庭右侧的最后一个控制点 X_5 。其次,确定人脸肖像漫画绘制区域中心线与该区域下边界线的交点 P ,然后确定线段 X_4P 的中点及垂直向量。最后,沿该垂线向外进行一定程度的偏移,即可确定下巴曲线的第二个控制点 B_2 的坐标。相关公式如下:

$$F_{bp}[4].x = (VX + F_{bp}[3].x)/2 - XS \times TO \times X_2 \quad (9)$$

$$F_{bp}[4].y = (VY + F_{bp}[3].y)/2 - XS \times TO \times Y_2 \quad (10)$$

其中: $F_{bp}[4]$ 是点 B_2 ; VX 和 VY 分别代表点 P 的 X 和 Y 坐标;参数 XS 用于表示下巴曲线偏离直线的外凸程度; TO 为下庭高度的二十分之一; X_2 和 Y_2 是线段 XT_1 、 P 的单位向量。第三个控制点 B_3 和 B_2 关于中心线对称,因此可以利用对称性计算出点 B_3 坐标。确定了中间这两个控制点,下巴的三次 Bezier 曲线即可确定。下巴曲线如图8所示。

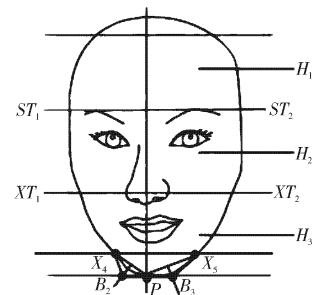


图8 下巴曲线及四个控制点 X_4 、 B_2 、 B_3 和 X_5

通过以上几个步骤,即可确定上庭、中庭和下庭的曲线,从而确定整个肖像漫画的人脸轮廓造型。

1.5 眼睛参数化方法

眼睛由眼眉和眼睛区域两部分构成。眼眉用一条略微上翘的三次 Bezier 曲线表示,其 Y 方向的位置在点 E_1 的 Y 坐标附近,其 X 坐标的位置主要根据三庭五眼^[10]的原则确定。相对于眼眉的位置,眼睛区域位置更容易确定。眼睛区域的 X 坐标和眼眉的 X 坐标基本相同,其 Y 坐标比眼眉的 Y 坐标低一定的量,这个量由一个参数来设定。眼睛区域部分由上下两个三次 Bezier 曲线、中间眼球圆区域以及瞳孔圆形区域四部分组成。两个 Bezier 曲线是通过大量观察估计出的参数构造的。圆球所属的圆形用黑色填充,瞳孔的圆形区域用白色填充。另外,曲线用笔画路径描绘,而圆形区域需要用颜色进行填充,因此两者使用的路径 path 不同。程序中定义了八个系数,分别存储在数组 lvXishu 中,每个数组元素代表不同的含义。

1.6 鼻子参数化方法

鼻子由三部分构成,每一段都由一条三次 Bezier 曲线表示。鼻子中间部分的中点位于人脸绘制区域的中心线上。为体现鼻子的个性,鼻子左翼和鼻子右侧的曲线没有采用完全对称的设计,而是采用各自独立的曲线来表示。每一条 Bezier 曲线控制点的确定具体可以参考程序注释。另外,程序中用 10 个参数来控制鼻子形状的调整,并将这些系数存储在 vXishu 这个数组中。每个数组元素的含义在程序中有详细的注释。

1.7 嘴巴参数化造型

嘴巴的造型包括三部分,即上嘴唇、下嘴唇及中间部分。上嘴唇由两部分组成,均采用 Bezier 曲线表示。为了简单,可以令左右两条曲线关于中心线对称。下嘴唇曲线也是一条三次 Bezier 曲线,中间部分是一条接近于水平线但略有起伏的三次 Bezier 曲线。每条 Bezier 曲线控制点的确定方法可参见程序及注释。程序中使用了八个参数用于调整嘴巴的形状变化。

1.8 耳朵参数化造型

耳朵的造型比较简单。左耳和右耳关于中心线对称,只需要讨论左耳的造型。左耳由两部分组成,即上面的一条二次 Bezier 曲线和侧面的一条三次 Bezier 曲线。二次 Bezier 曲线的中间控制点只需在曲线起始点连接的线段的中点处作一定的调整即可。对于侧边的三次 Bezier 曲线,如何确保该曲线与中庭曲线相交是一个比较重要的问题,为此本文提出的方法设计了一个函数 decideEarCurvePoint,该函数根据 Bezier 曲线的定义公式来计算该曲线上点的坐标,计算的依据是参数 uParameter,该参数的取值范围为 $[0,1]$ 。该参数为 0.5 时计算所得到的点作为侧面三次 Bezier 曲线的最后一个控制点。

2 风格化夸张效果

参数化方法实现的漫画效果如图 9 所示。每个特征都是分别通过参数的调整来进行图形变化的。与 Deng 等人^[11]的方法相比较,参数化的方法更容易操作,并且不需要考虑面部几何特征的不同。与 Chen 等人^[12]的方法比较可以发现,参数化方法绘制的线条更加清晰,夸张特征更为突出。其独特之处在于:a)线条描述风格新颖;b)使艺术家可以借助该方法设计出具有漫画创作本质和良好线条夸张效果的作品。

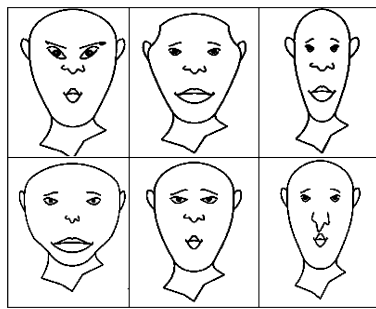


图9 不同参数实现的不同漫画效果

3 结束语

本文从夸张的本质线条出发,利用参数化的方法绘制肖像漫画,构建出组成夸张的线条,将漫画的夸张特征有效地转换为一些可控制的参数,并通过调整局部参数,实现了不同风格的漫画及夸张。该方法操作简单易行,不论专业艺术家还是非专业人士,均可使用该方法实现漫画效果线条造型丰富、夸张效果突出的作品,也可用于商业用途,并且该方法较好地还原了艺术家漫画夸张的线条,表现出了夸张的本质。

尽管本文提出的方法对线条画的漫画有了一定的突破,但仍然有一定的局限性,比如:a)线条的控制比较随意,需要更加严谨;b)缺乏笔触的变形;c)缺乏模板的映射。因此,下一步笔者计划作一些优化,尤其是针对参数的有效取值范围方面,以使得漫画更加生动,更具风格化。

参考文献:

- [1] CHEN Wen-juan, SHI Min-yong, SUN Guo-yu, et al. Review on computer caricature approaches [J]. *Journal of Computer Applications*, 2009, 29(8): 2049-2052.
- [2] AKLEMAN E. Making caricature with morphing [C]//Proc of ACM SIGGRAPH Visual Proceeding. New York: ACM Press, 1997: 145.
- [3] CHEN Hong, ZHENG Nan-ning, LIANG Lin, et al. PicToon: a personalized image-based cartoon system [C]//Proc of ACM International Conference on Multimedia. 2002: 171-178.
- [4] YAN Fang, FEI Guang-zheng, LIU Ting-ting, et al. A generation algorithm of caricature portrait [J]. *Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics*, 2007, 19(4): 442-447.
- [5] YANG Ming, LIN Shu, LUO Ping, et al. Semantics-driven portrait cartoon stylization [C]//Proc of the 17th International Conference on Image Processing. 2010: 1805-1808.
- [6] FENG Xiao-fei, PAN Xiang. Generating algorithm of portrait cartoon based on feature deformation [J]. *Journal of Zhejiang University of Technology*, 2010, 38(3): 278-281.
- [7] SHET P, LAI K, EDIRISING H, et al. Use of neural networks in automatic caricature generation: an approach based on drawing style capture [C]//Proc of the 2nd Iberian Conference on Pattern Recognition and Image Analysis. Berlin: Springer, 2005: 343-351.
- [8] CHIANG Pei-ying, LIAO Wen-hung, LI Sai-yen. Automatic caricature generation by analyzing facial features [C]//Proc of Asia Conference on Computer Vision. 2004: 89-94.
- [9] CHEN Hong, ZHENG Nan-ning, XU Ying-qing, et al. An example based facial sketch generation system [J]. *Journal of Software*, 2003, 14(3): 202-208.
- [10] LIU Xiang-lou, DENG Yan-ru, GAO Bing-kun. A fast method of ocular features extraction based on the semantics [J]. *Science Technology and Engineering*, 2012, 12(12): 2849-2851.
- [11] DENG Wei, WEI Ying-mei, ZHANG You-gen. Personalized facial cartoon generation using image deformation [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2011, 47(24): 132-135.
- [12] CHEN Wen-juan, SHI Min-yong, SUN Qing-jie. Caricature synthesis and exaggeration based on facial features and their relationship [J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2010, 22(1): 121-126.
- [13] WEI Jia-bei. A hand-painted graphics based on Bezier curves [DB/OL]. (2009-08) [2012-04]. <http://www.cnki.net>.