

文章编号:1006-2467(2007)08-1276-06

# 肖像绘制机器人的漫画处理方法

倪菲, 付庄, 曹其新, 赵言正

(上海交通大学 机器人研究所, 上海 200240)

**摘要:** 针对肖像漫画绘制的特点,提出一种自动参数化曲面透镜算法.通过此算法对人脸照片进行自动变形处理,得到针对特征的漫画化人脸图像.然后,进行矢量化处理,生成机器人绘画的运动轨迹.用1台自制的绘画机器人,在白纸上完成了肖像漫画的自动绘制.实验结果表明,该肖像漫画绘制机器人系统达到了人脸图像漫画处理的效果.

**关键词:** 绘画机器人;漫画;图像变形;曲面透镜算法

**中图分类号:** TP 391      **文献标识码:** A

## The Method of Travesty of Auto-Portrait Robot

NI Fei, FU Zhuang, CAO Qi-xin, ZHAO Yan-zheng

(Research Inst. of Robotics, Shanghai Jiaotong Univ., Shanghai 200240, China)

**Abstract:** Aiming at the feature of cartoon auto-portrait, based on image morphing, an algorithm called curved lens with parameters was developed. The curved lens algorithm is employed to morph the facial image and a cartoon portrait is generated. After vectoring boundaries characters of face in morphed image, an auto-portrait robot will be controlled to draw cartoon portrait on a paper. The results of experiments turn out that the system of cartoon auto-portrait realizes the exaggerated purpose of cartoon face.

**Key words:** auto-portrait robot; caricature; image morphing; curved lens algorithm

在计算机自动生成人脸肖像的研究中,通常采用图像滤波器的方法来形成具有特定风格的肖像图.例如:陈洪等<sup>[1]</sup>提出了基于ASM(Active Shape Model)轮廓提取和样条学习方法的肖像画生成系统,经处理后得到线条画;Harberli<sup>[2]</sup>介绍了生成油画效果的人脸图像;文献[3-5]中实现了基于模板的人脸肖像生成系统PICASSO,其可根据脸部特征绘制肖像画,通过交互方式得到漫画效果;文献[6,7]中提出了基于笔画的人脸线条画生成系统.在上述的研究报道中,主要讨论了使用对称算子、矩形滤波器和特征轮廓来检测和定位人脸的特征点,然后根据这些特征点生成肖像画,通过改变线条来实现漫

画效果.但是,这些方法都未涉及如何通过图像变形来实现漫画的生成算法.

图像变形技术的应用可追溯到应用于工业的ILM(Industrial Light and Magic)技术. Hassanien等<sup>[8]</sup>将这一技术应用于两幅图像之间的插值,从而得到流畅的渐变图像. Kuo等<sup>[9]</sup>则实现了在人的不同表情间的变形处理. Davis等<sup>[10]</sup>应用图像变形来匹配发生变形的目标物体,他们已经成功地将此技术应用于MRI(核磁共振)的图片中进行乳腺癌的诊治.这些变形技术本质上都是在已知的原始图片和目标图片之间进行插值和变形.本文提出了一种参数化的曲面透镜算法,用人脸一些部位和预设标

收稿日期:2006-09-21

作者简介:倪菲(1980-),男,湖北武汉市人,博士生,主要从事图像处理和模式识别研究.

付庄(联系人),男,副教授,电话(Tel.):021-34206071;E-mail:zhfu@sjtu.edu.cn.

准人脸模板进行比较,将比较结果作为参数带入曲面透镜中,得到符合个人特色的漫画效果.然后将其矢量化,传递到机器人,由机器人在纸上绘出.

### 1 系统结构

本文建立了一个肖像漫画绘制机器人系统,该系统分为软件和硬件两个部分:硬件部分包括图像采集、运动和控制模块;软件部分则包括图像捕捉、图像处理和串口通信模块.肖像漫画绘制机器人如图 1 所示.



图 1 肖像漫画绘制机器人

Fig. 1 The cartoon auto-portrait robot

#### 1.1 硬件系统

图像采集模块由数字式 CCD (Charge Coupled Device) 摄像机、镜头和图像采集卡组成.采集到的图像由图像采集卡传输到计算机进行图像处理.运动和控制模块包含机器手臂、机器手臂控制器和 IO 卡.图 1 中机器人右臂就是 1 台 6 自由度机械臂.图像处理的结果由串口和 IO 卡发送到机器人控制器,从而实现绘画.

#### 1.2 软件系统

软件系统的图像采集模块主要实现人像拍照的功能,将所要绘画的对象由 CCD 摄像机拍摄成 1 幅图像,并存储在内存中,供图像处理模块使用.图像处理模块是整个软件系统的核心,主要将所拍摄的图像应用曲面透镜算法进行漫画处理,然后在漫画化的照片中提取轮廓和特征并转换为矢量线,通过串口将线段发送到机器人控制器,使机器人绘出.用户界面模块是人机交互的接口,本系统采用对话框为主的 GUI (Graphic User Interface) 图形用户界面.肖像漫画绘制机器人系统框图如图 2 所示.

### 2 曲面透镜算法

曲面透镜算法是在一个大小、形状可变的区域中,通过计算曲面透镜参数来确定曲面映射方程.在此区域中,图像像素根据曲面映射关系变换到一

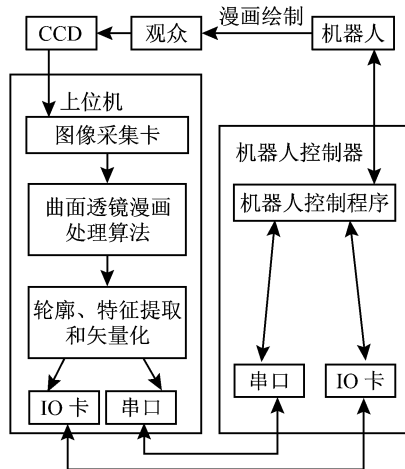


图 2 肖像漫画绘制机器人框图

Fig. 2 The flowchart of cartoon auto-portrait robot

个新的位置,以实现图像的变形.

设源图像为  $I_{gs}$ , 变形后图像为  $I_{gd}$ ;  $I_{gs}$  中某需要变形区域为  $I_s$ ; 而  $I_{gd}$  中变形后的区域为  $I_d$ ;  $I_d \subseteq I_{gd}$ ,  $I_s \subseteq I_{gs}$ . 则定义映射关系:

$$F(x) \quad I_s \quad I_d \quad (1)$$

式中:  $F$  为一个曲面映射函数,称之为一个曲面透镜;  $x$  为参数向量,其参数个数由此变形区域需求决定,参数值由此人脸与标准人脸模板相应位置进行比较得到的偏差值来计算.例如:图像中的人脸上部比标准人脸模板上部宽,它们之间差值将作为参数带入曲面透镜中,曲面透镜可以使图像中人脸上部变得更宽;反之,则变窄.要计算图像中人脸上部宽度,则需在人脸面上识别出与宽度有关的特征点位置,其可通过计算机自动识别<sup>[11]</sup>.

设映射函数  $F$  需满足:

$$\left. \begin{aligned} q_i \quad I_s \Rightarrow F(x, q_i) \quad I_d \\ F(x, q_i) / I_d \Leftrightarrow q_i / I_s \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\forall q_i \quad I_s \quad \exists p_i = F(x, q_i) \quad I_s \quad (3)$$

式中:  $p_i$  为  $I_d$  中的一个像素;  $q_i$  为  $I_s$  中的一个像素.显然,  $F$  是一个封闭映射:在  $I_s$  中的点必然在  $I_d$  中有与之对应;反之,则不成立.因此,逆映射  $F^{-1}$  是满射,而  $F$  即非满射也非单射.另外,要求  $F$  在边界满足条件:

$$q_{ei} = F(x, q_{ei}) \quad q_{ei} \in E \subseteq I_s \quad (4)$$

式中:  $E$  为  $I_s$  的边界点集合;  $q_{ei}$  为一个边界点.

事实上,大多数曲面满足双射条件.但像素坐标必须为整数,在边界封闭情况下,  $F$  无法满足单射,即  $I_d$  中的某点在  $I_s$  中可能不存在.

在同一图片中可以定义若干个透镜,分别对应于不同部位的变形.下面先讨论一种对面部形状变形方法,如图 3 所示.

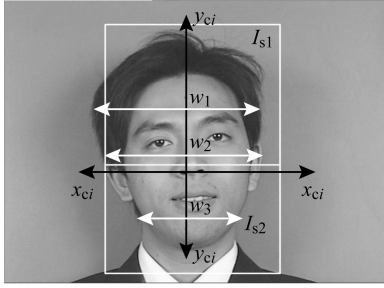


图3 曲面透镜区域

Fig.3 The region of curved lens

图3中:白框为透镜区域  $I_s$ , 分为上、下两个部分  $I_{s1}$  和  $I_{s2}$ , 两个区域的共接线称为界线. 两个透镜对应的映射曲面不同, 从而使此头像在上、下半部分做不同变形处理, 得到漫画化效果. 在此变形中有3个值决定变形效果, 它们是人脸上、中、下部宽度  $w_1, w_2, w_3$ , 与之对应的是标准人脸中的参数  $w_i (i = 1, 2, 3)$ ;  $x_{ci}, y_{ci}$  为  $q_i$  在  $x$  (水平) 和  $y$  (竖直) 方向上的偏移比例, 即:

$$x_{ci} = \frac{|x_{q_i} - \text{midx}|}{2\text{width}} \quad [0, 1]$$

$$y_{ci} = \frac{|y_{q_i} - \text{sideliney}|}{\text{height}} \quad [0, 1]$$

其中:  $\text{midx}$  为透镜区域纵向中心线  $x$  方向坐标;  $\text{width}$  为透镜区域宽度;  $\text{sideliney}$  为界线在  $y$  方向坐标;  $\text{height}$  为透镜高度;  $x_{q_i}, y_{q_i}$  分别表示  $q_i$  在图像中  $x, y$  方向上坐标.

先对  $I_{s1}$  做处理, 则有曲面映射变换:

$$\begin{bmatrix} x_{p_i} \\ y_{p_i} \end{bmatrix} = F_1 \begin{bmatrix} x & x_{ci} & y_{ci} & x_{ci} & y_{ci} \end{bmatrix}^T \quad (5)$$

式中:  $(x_{p_i}, y_{p_i})$  分别表示  $p_i$  在图像中的  $x, y$  坐标;

$$F_1 = \begin{bmatrix} T_{x1}(x, x_{ci}, y_{ci}) & 0 & 1 & 0 \\ 0 & T_{y1}(x, x_{ci}, y_{ci}) & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$T_{x1}$  为  $x$  轴方向的变形曲面映射函数;  $T_{y1}$  为  $y$  轴方向的变形曲面映射函数.

上述变形区域决定了人脸上部和中部的变形, 因此, 定义人脸上部宽度参数和人脸中间宽度两个参数:

$$x = (\mu, \mu)$$

其中:

$$\mu = a_1(w_1 - w_1) + b_1 \quad (6)$$

$$\mu = a_2(w_2 - w_2) + b_2 \quad (7)$$

式中:  $a, b$  为变换参数, 将  $(w_1 - w_1)$  和  $(w_2 - w_2)$  变换到  $\mu$  取值范围;  $\mu$  决定了  $q_i$  接近  $I_{s1}$  顶线方向时  $(y_{ci} = 1)$  的变形趋势;  $\mu$  决定了  $q_i$  接近界线方向时  $(y_{ci} = 0)$ . 一般来说,  $\mu \in [0.3, 1.6]$ , 太大的变

形会对后面图像恢复带来困难, 且式(6)和(7)需满足条件:

(1) 单调.

$$(2) \mu = \begin{cases} > 1 & w_i - w_i > 0 \\ = 1 & w_i - w_i = 0 \\ < 1 & w_i - w_i < 0 \end{cases} \quad (8)$$

构造曲面方程:

$$T_{x1} = [(-\mu + 1)y_{ci}^2 + 2y_{ci}(\mu - 1) + (\mu - 1)](x_{ci} + 1)^2 + 1 \quad (9)$$

$$T_{y1} = 1 \quad (10)$$

由此可见: 如果图像中人脸上部比预定标准人脸模板上部宽, 即  $(w_1 - w_1) > 0$ , 则由式(6)计算得  $\mu > 1$ , 代入式(9)和(10)将会使脸上部变形得更宽; 反之, 如果  $(w_1 - w_1) < 0$ , 则由式(6)计算得  $\mu < 1$ , 代入式(9)和(10)将会使脸上部变形得更窄. 对于脸中部参数  $\mu$  也是同理.

同样, 对于  $I_{s2}$ , 则有

$$\begin{bmatrix} x_{p_i} \\ y_{p_i} \end{bmatrix} = F_2 \begin{bmatrix} x & x_{ci} & y_{ci} & x_{ci} & y_{ci} \end{bmatrix}^T$$

其中:

$$F_2 = \begin{bmatrix} T_{x2}(x_{ci}, y_{ci}) & 0 & 1 & 0 \\ 0 & T_{y2}(x_{ci}, y_{ci}) & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$x = (\mu, \mu)$$

构造曲面方程:

$$T_{x2} = [(\mu - 1)y_{ci}^2 + (\mu - 1)](x_{ci} + 1)^2 + 1 \quad (11)$$

$$T_{y2} = 1 \quad (12)$$

式中,  $\mu$  定义和  $\mu$  相同;  $\mu$  决定了  $q_i$  接近  $I_{s2}$  底线方向时  $(y_{ci} = 1)$  的变形趋势, 其计算公式:

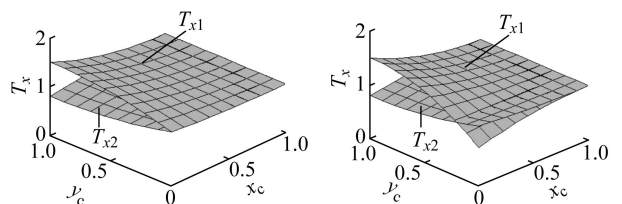
$$\mu = a_3(w_3 - w_3) + b_3 \quad [0.3, 1.6]$$

它需满足单调和式(8).

另外, 因为  $I_{s2}$  和  $I_{s1}$  为两相临区域, 所以两者之间需要平滑地过渡, 这只需要两个曲面的变形参数满足:

$$\mu = \mu \quad (13)$$

上述  $F_1$  和  $F_2$  曲面透镜如图4所示.



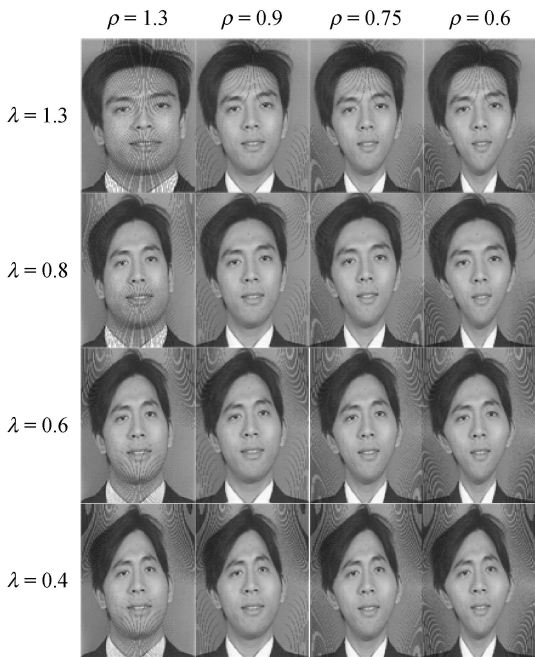
(a)  $\mu = 1.1$  (b)  $\mu = 1.1, \mu = 0.7$

图4 曲面透镜

Fig.4 The curved lens

图 4(a)中:因为  $\mu = 1.1$ ,所以在两个曲面交界处是紧密重合的;而在图 4(b)中,因为  $\mu < 1$ ,所以在它们交界地方有明显交错.这样,会使变形后图像产生明显锯齿.

用以上方法对图 3 进行变形处理后结果如图 5 所示.从图 5(a)中可以看出,人脸随着参数  $\lambda$  的变化而变化.当  $\lambda$  变小 ( $< 1$ ) 时,则曲面透镜将使人脸下半部分变小,缩进以形成更尖的下巴;反之,则下巴变大.同样,在参数  $\lambda$  变小时,人脸上半部分将变小;反之,则变大.由于  $\lambda$  和  $\mu$  的取值是变化的,为了过渡不产生锯齿,就需两者满足式(13).如图 5(b)所示,  $\lambda$  和  $\mu$  值越小,会使得人脸中部越缩进;反之,如图 5(c)所示,其值越大,人脸越往外扩张.



(a)  $\mu = 1$

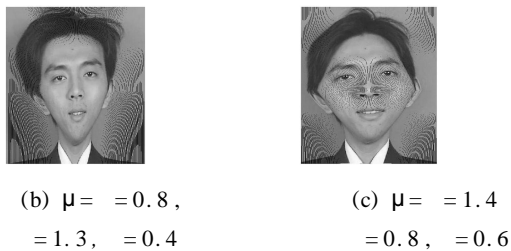


图 5 曲面透镜变形效果

Fig. 5 The result of morphing of curved lens

曲面透镜除了可以完成人脸形状变化外,也可以实现某个特征部分变化,如眼睛.不同于脸型变形,在眼睛部位需做一个圆形透镜.此曲面透镜有一个为眼睛大小  $\lambda$  参数,它由图像中眼睛的高度  $h$ (见图 6(a))与标准人脸模板中眼睛高度  $h_0$  的差值得到.即

$$= c(h - h_0) + d \quad [0, 2] \quad (14)$$

式中,  $c, d$  均为变换参数,将  $h$  映射到  $[0, 2]$ . 式(14)满足:

(1) 单调.

$$(2) \begin{cases} > 1 & (h - h_0) > 0 \\ = 1 & (h - h_0) = 0 \\ < 1 & (h - h_0) < 0 \end{cases}$$

定义曲面映射:

$$F_3 = \begin{bmatrix} T_{x3}(r_i, i) & 0 & 1 & 0 \\ 0 & T_{y3}(r_i, i) & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{x3} = [(1 - \lambda) r_i / R + \lambda \cos i] \quad (15)$$

$$T_{y3} = [(1 - \lambda) r_i / R + \lambda \sin i] \quad (16)$$

式中:  $r_i$  为透镜中某一点到透镜中心距离;  $i$  为  $r_i$  与水平方向的夹角.当图像中眼睛高度大于标准人脸模板眼睛高度时,  $(h - h_0) > 0$ , 得  $\lambda > 1$ , 根据式(15)和(16),此曲面透镜将在区域内实现放大,得一个大眼睛;反之,将得到一个缩小的眼睛.因此,用  $F_3$  曲面透镜对图 2 的眼睛进行变形,取  $\lambda = 1.5$ ,可得夸张的大眼睛如图 6(b)所示.

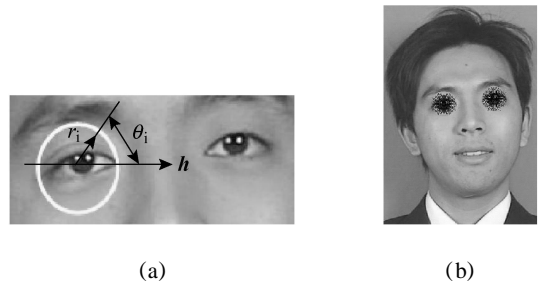


图 6 眼睛部分的圆形曲面透镜

Fig. 6 The circle curved lens located at eyes

### 3 图像后期处理

#### 3.1 图像恢复

图像变形并非满射,在变形后的图像中总留有很多黑色区域(见图 6(b)).这是因为  $I_d$  中的点并非每个都可以在  $I_s$  中找到原像.这就需要在变形后进行图像恢复.图像恢复就是要根据空白区域周围的信息将像素填入空白区域中,使其与周围的相关像素点平滑度最优.

设:  $P_b$  为所有需要填补空白点集合,  $p_{bi} \in P_b \subset I_d$ ,  $p_{bi}$  为空白点.用一个双三次曲面来拟合此空白点周围已知点.取空白点周围  $5 \times 5$  区域进行平滑处理.双三次曲面一般表达式:

$$e(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} x^i y^j \quad (17)$$

式中:  $e(x, y)$  为图像  $(x, y)$  处像素点的颜色信息;  $a_{ij}$

为双三次曲面参数,共有16个.在可找到4个控制点和他们前后点关系的情况下通过计算颜色信息值: $e_i (i=1,2,3,4)$ 、 $\frac{\partial e_i}{\partial x}$ 、 $\frac{\partial e_i}{\partial y}$ 以及 $\frac{\partial e_i}{\partial y \partial x}$ 得到16个约束条件.代入式(17),可求解 $a_{ij}$ ,从而得到曲面方程,然后计算 $e(p_{bi})$ ,得 $p_{bi}$ 空白点需要填补的颜色.用上述方法进行图像恢复可得脸型变换和眼睛变换的图片,如图7所示.

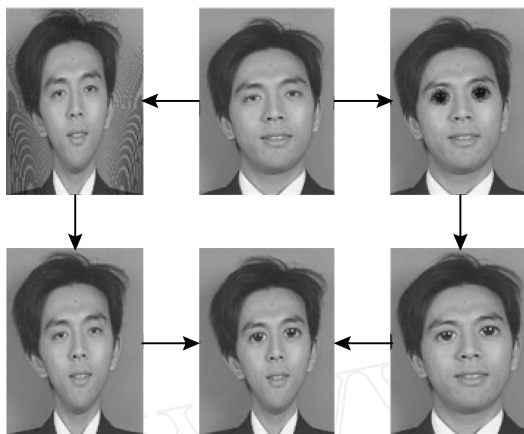


图7 经过变形并恢复图像

Fig. 7 The morphed and recovered image

### 3.2 轮廓提取和矢量化

在得到变形后的图片后,需要进行轮廓和特征提取得到绘画用线段.如图8所示,人脸特征区域的分割和提取算法如下:

(1) 背景分割.在YCbCr空间无论是背景还是非背景点都具有更好的聚类特性,它比在RGB空间中要紧凑许多.因此,选择在YCbCr空间进行背景分割.如图8(b)所示,将背景点置白.

(2) 衣服分割.为了提取人像与衣服之间的轮廓线,同时也为了后续的人脸特征提取,必须将肤色与衣服分开.由于绘制对象衣服的颜色未知,而且在领口位置处的形状同样未知,因此可以建立在YCbCr色彩空间的肤色模型,依此分辨衣服和皮肤的轮廓.如图8(c)所示,将衣服像素置白.

(3) 特征提取.图像特征提取是要给出某一具体图像与其他图像区别的特征.在肖像漫画绘制机器人中,所要提取的特征就是人脸中属于五官的部分.五官部分比肤色要深,根据 $R+G+B$ 这三者相加后的结果提取颜色较深部分.如图8(f)所示,将五官部分置黑,其他位置置白.

(4) 轮廓提取相加.完成前面的处理后,分别对上述图片做二值化处理.首先,在背景分割后的图像中,属于背景被分割掉的部分设为白色,人像被保留的部分设为黑色,如图8(d)所示.衣服分割后的图

像属于衣服被分割掉的部分设成白色,其余部分设成黑色,如图8(e)所示.五官特征图已经是二值化图像,如图8(f)所示.对每幅二值图像分别进行腐蚀、膨胀处理得到各自轮廓并将它们叠加,如图8(g)所示.最后,用八方搜索方法得到矢量线段,下传到机器人,就可以在纸上绘出了.

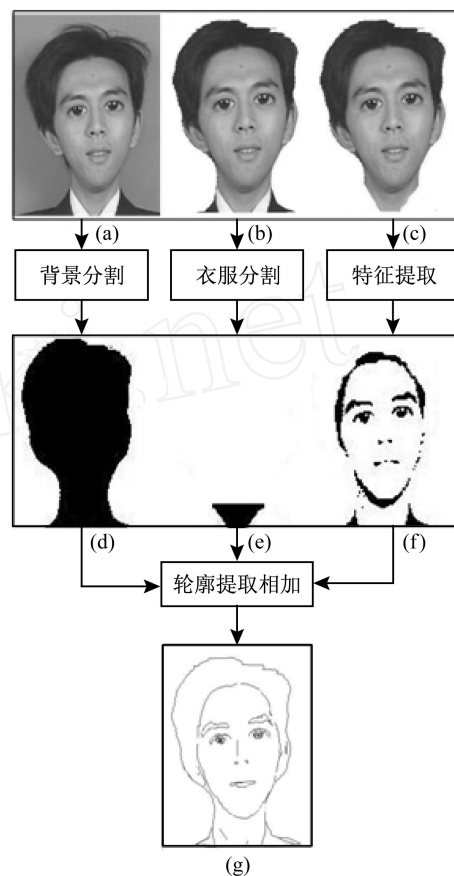


图8 肖像漫画的轮廓和特征提取

Fig. 8 Extracting the boundaries and characters of cartoon portrait

## 4 结语

本文提出了肖像绘画机器人的漫画处理方法——曲面透镜算法.该算法应用有参数的曲面透镜进行图像变形,实现了应用参数对不同人脸特点进行相应的变形,以得到针对特征夸张的漫画效果.结果表明,曲面透镜可以有效实现人脸图片的漫画化.

### 参考文献:

- [1] 陈洪,郑南宁,徐迎庆,等.基于样本学习的人像线条画生成系统[J].软件学报,2003,14(2):202-208.  
CHEN Hong, ZHENG Nan-ning, XU Ying-qing, et al. An example-based facial sketch generation system [J]. *Journal of Software*, 2003, 14(2): 202-208.

- [ 2 ] Harberli P. Paint by numbers: Abstract image representations [J]. **Computer Graphics**, 1990, 24(4): 207 - 214.
- [ 3 ] Tominaga M, Fukuoka S, Murakami K, *et al.* Facial caricaturing with motion caricaturing in PICASSO system[C]// **Proceedings of the IEEE/ ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics 97**. Tokyo, Japan: IEEE Press, 1997: 30 - 37.
- [ 4 ] Koshimizu H, Tominaga M, Fujiwara T, *et al.* On KANSEI facial processing for computerized facial caricaturing system PICASSO [C]// **Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics**. Tokyo, Japan: IEEE Press, 1999: 294 - 299.
- [ 5 ] Salisbury M P, Anderson S E, Barzel R, *et al.* Interactive caricaturing with motion caricaturing in PICASSO system [C]// **Proceedings of the IEEE/ ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics 97**. Tokyo, Japan: IEEE Press, 1997: 30 - 37.
- [ 6 ] Li Y, Kobatake H. Extraction of facial sketch based on morphological processing [C]// **Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Image Processing**. Santa Barbara, CA, USA: IEEE Comp Soc, 1997: 316 - 319.
- [ 7 ] Hertzmann A. Painterly rendering with curved brush strokes of multiple sizes [C]// **Proceedings of the 25th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques**. Orlando, FL, USA: ACM Press, 1998: 453 - 460.
- [ 8 ] Hassanien A E, Nakajma M. Image morphing of facial images transformation based on navier elastic body splines [C]// **Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Image Processing**. Soul: IEEE Comp Soc, 1998: 134 - 137.
- [ 9 ] Kuo C J, Hung J H, Tsai M H, *et al.* Elastic body spline technique for feature point generation and face modeling [J]. **IEEE Transactions on Image Processing**, 2005, 12(14): 2159 - 2166.
- [10] Davis M H, Khotanzad A, Flamig D P, *et al.* A physics-based coordinate transformation for 3-D image matching [J]. **IEEE Transactions on Medical Imaging**, 1997, 3(16): 317 - 328.
- [11] Kuo C J, Lin T G, Huang R S, *et al.* Facial model estimation from stereo/mono image sequence [J]. **IEEE Transactions on Multimedia**, 2003, 1(5): 8 - 23.

### (上接第 1275 页)

- [3] Bicchi A, Balluchi A, Prattichizzo D, *et al.* Introducing the "Spherical": An experimental testbed for research and teaching in nonholonomy [C]// **Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation**. New Mexico: IEEE Press, 1997: 2620 - 2625.
- [4] Mukherjee Ranjan, Minor Mark A, Pukrushpan Jay T. Simple motion planning strategies for spherobot: A spherical mobile robot [C]// **Proceedings of the 38th Conference on Decision and Control**. Arizona, USA: IEEE Press, 1999: 2132 - 2137.
- [5] Javadi A H, Mojabi A P. Introducing august: A novel strategy for an omnidirectional spherical rolling robot [C]// **Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation**. Washington D C: IEEE Press, 2002: 3527 - 3533.
- [6] 肖爱平,孙汉旭,廖启征. 一种球形机器人的设计与原理解析[J]. **机电产品开发与创新**, 2004, 17(1): 14 - 16.
- XIAO Ai-ping, SUN Han-xu, LIAO Qi-zheng. The design and analysis of a spherical mobile robot [J]. **Development and Innovation of Machinery and Electrical Products**, 2004, 17(1): 14 - 16.
- [7] 肖爱平,孙汉旭,谭月胜,等. 一种球形机器人运动轨迹规划与控制[J]. **机器人**, 2004, 26(5): 444 - 447.
- XIAO Ai-ping, SUN Han-xu, TAN Yue-sheng, *et al.* Movement trajectory planning and control for a spherical robot [J]. **Robot**, 2004, 26(5): 444 - 447.
- [8] 梅风翔. 非完整系统力学基础 [M]. 北京: 北京工业学院出版社, 1985: 30 - 33.
- [9] 陈文良,洪嘉振,周鉴如. 分析动力学 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1990: 95 - 103.