

# 一种有效的儿童照合成方法

林立<sup>1,2</sup> 黄磊<sup>1</sup> 刘昌平<sup>1</sup>

**摘要** 提出了一种儿童照合成的方法. 分别给定男性、女性和原始儿童的图片, 该方法从人脸轮廓和肤色两个层面上融合生成目标儿童图片. 针对直接线性合成的人脸轮廓存在五官不成比例、扭曲等问题, 利用基于统计的方法得到标准儿童模板, 并用该模板对人脸轮廓进行约束, 进而求解得到最终的儿童轮廓. 此外, 本文重新构造了基于高斯径向基的变形函数, 消除因仿射变换而导致的图像拉伸和扭曲. 最后, 本文采用交叉融合的方法合成儿童图像, 并提出了用滤波器去除额头区域可能存在的虚影. 实验证明, 利用本文方法融合得到的儿童不仅具有父母亲的特征, 而且具有较高的视觉美感.

**关键词** 儿童照合成, 图像变形, 形状约束, 高斯径向基函数, 主动形状模型

**引用格式** 林立, 黄磊, 刘昌平. 一种有效的儿童照合成方法. 自动化学报, 2012, 38(12): 1941–1949

**DOI** 10.3724/SP.J.1004.2012.01941

## An Effective Method for Child Picture Synthesis

LIN Li<sup>1,2</sup> HUANG Lei<sup>1</sup> LIU Chang-Ping<sup>1</sup>

**Abstract** This paper proposes a method for child picture synthesis. Given a man's picture, a woman's picture, and a child's picture, our method generates the child picture by blending these facial shapes and skin colors. To solve the problem caused by direct linear combination, i.e., the facial shape suffers from disproportion and distortion. We get the final shape of the child with the help of a standard and statistical template of the child. In addition, we reconstruct the Gaussian radical base function to remove the image's stretch and distortion caused by affine deformation. At last, we adopt the cross-dissolves method for the child picture synthesis and propose using the filter to remove the forehead's artifacts. The results indicate that the child face generated with our method not only owns the father's and mother's features, but the picture also shows visual aesthetic feeling.

**Key words** Child picture synthesis, image warping, shape's restraints, Gaussian radical base function, active shape model (ASM)

**Citation** Lin Li, Huang Lei, Liu Chang-Ping. An effective method for child picture synthesis. *Acta Automatica Sinica*, 2012, 38(12): 1941–1949

目前, 儿童照合成技术由于其娱乐性和趣味性, 已经在网络媒体和影视娱乐中得到了广泛的应用, 已经有了多款商用软件来支持这一功能. 如何合成一个长相与父母相似并且具有高度视觉美感的儿童照是一个富有挑战性的问题.

儿童照合成是在给定一张男性图片、一张女性图片和一张儿童图片的基础上, 从形状和肤色两个层面上来进行儿童图片的合成. 它在本质上属于一种图像渐变技术, 也就是利用多张图片来合成中间的过渡图片. 图像渐变主要分为图像变形和交叉融合两个步骤. 其中, 图像变形可以通过各种插值方法来实现, 而交叉融合一般采用线性的插值方法. 经典的图像变形技术有三种: 基于点的图像变

形<sup>[1-2]</sup>、基于线的图像变形<sup>[3]</sup>和基于网格的图像变形<sup>[4]</sup>. 基于线的图像变形不仅需要指定特征线对, 而且变形容易在细节上产生错位, 不适合精细的人脸合成. 基于网格的图像变形同样需要划分网格, 不适合应用在全自动的场合. 基于特征点的图像变形技术在人脸变形中使用较为普遍, 配合主动形状模型 (Active shape model, ASM) 定位技术<sup>[5]</sup>和图像融合技术<sup>[6-9]</sup>可以自动地实现两幅人脸的融合. 其中, ASM 技术完成人脸特征点的定位, 构成了人脸的轮廓, 图像变形中目标人脸的轮廓可以直接由两幅人脸的特征点线性组合而成, 这满足一般人脸变形的要求. 然而, 儿童的脸部轮廓与成人脸部轮廓存在较大区别, 直接将成人的脸部轮廓进行线性组合会引起合成的轮廓存在扭曲、拉伸问题, 不太适合合成儿童这样精细的人脸. 此外, 基于特征点的变形中, 典型的算法是基于高斯径向基函数的变形算法<sup>[10]</sup>, 它能够保证图像很好的平滑性, 但在特征点之外的区域容易有拉伸、边界不稳定问题, 会影响融合的视觉

收稿日期 2012-01-13 录用日期 2012-06-28  
Manuscript received January 13, 2012; accepted June 28, 2012  
本文责任编辑 刘一军  
Recommended by Associate Editor LIU Yi-Jun  
1. 中国科学院自动化研究所文字识别工程中心 北京 100190 2. 中国科学院大学 北京 100049  
1. Character Recognition Engineering Center, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

效果. 另外, 由于 ASM 技术只能定位人的五官轮廓, 导致了在人脸融合中往往忽视了额头区域的融合, 进而引起肤色不一致和虚影问题. 这些问题在一般的人脸融合中容易被忽视, 然而对于视觉美感要求较高的儿童照来说, 却是亟待解决的问题.

目前还没有一个定量的标准来评估合成儿童质量的好坏, 本文提出了三条定性的准则来衡量合成儿童的质量, 并依据这三条准则来改进以往一些合成方法的缺陷. 三条判定准则如下:

- 1) 合成的儿童应该具备儿童的普遍特征, 包括脸型和肤色两个方面;
- 2) 合成的儿童应该同时具备父母亲的特征, 儿童脸型和肤色应与父母亲有一定的相似性;
- 3) 合成的儿童照片具备良好的视觉美感, 尽可能少地出现扭曲、拉伸、虚影等现象.

本文针对目标儿童脸部轮廓难以构造的问题, 提出了利用统计方法得到的标准儿童模板对父母

亲、儿童三者的轮廓进行约束, 进而求解目标儿童面部轮廓的方法, 使得生成的儿童面部轮廓同时具有父母亲的五官特征和一般儿童的特征. 基于特征点的高斯径向基变换能够保证变形后图像的平滑性, 但它有可能导致图像的拉伸和扭曲, 本文提出了双层仿射变换的变形函数, 来保证图像变形后的稳定性, 提高了合成图像的视觉美感. 一般人脸融合方法忽视了额头区域的融合, 导致了虚影的产生, 本文利用肤色模型<sup>[11-12]</sup> 检测出额头区域, 并提出了使用滤波器来将虚影进行滤除的方法, 提高了合成儿童的视觉质量.

本文的系统框图如图 1 所示, 输入男性、女性和儿童的图像, 先用 ASM 定位出各自的人脸轮廓, 在标准儿童模板的约束下, 生成目标儿童的轮廓, 然后, 利用改进的变形函数将三幅原始图像变形为目标图像, 最后, 利用交叉融合的方法将目标图像融合生成目标儿童图像, 并采用滤波的方法对额头区域处理, 得到最后的结果.

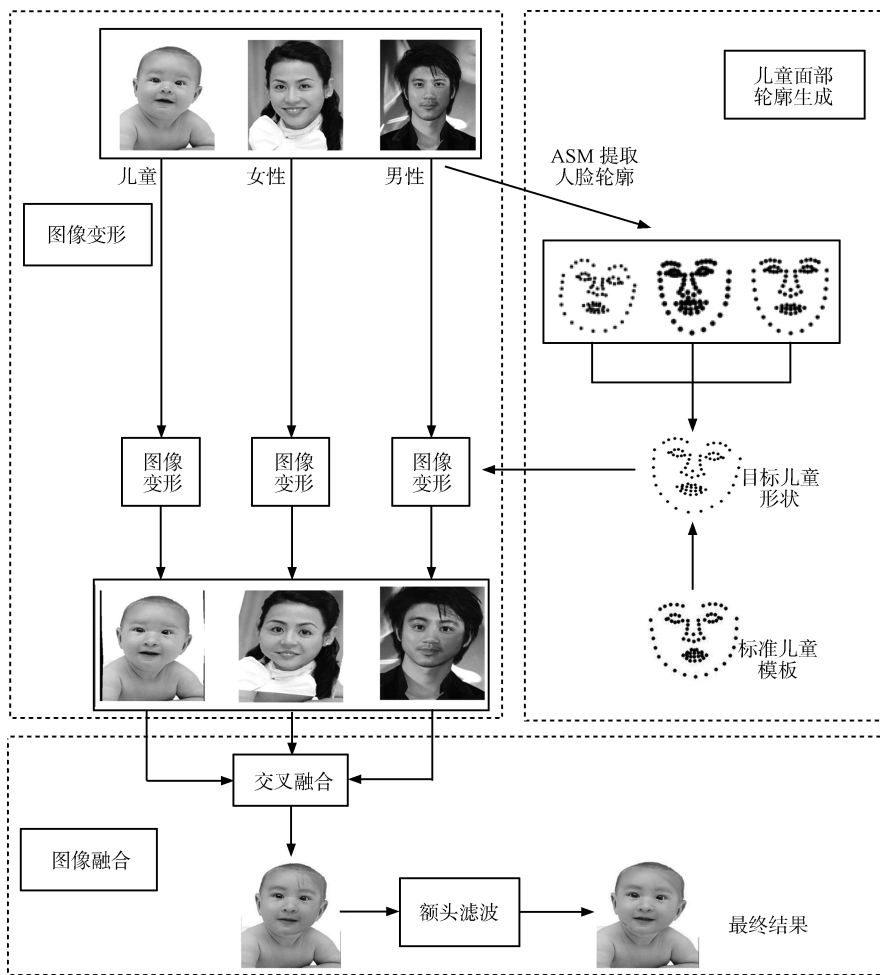


图 1 系统结构

Fig. 1 System architecture

本文的第 1 节介绍基于约束条件下, 目标儿童轮廓的生成; 第 2 节讲述了基于特征点的图像变形算法和消除图像拉伸、扭曲的改进算法; 第 3 节介绍了交叉融合及如何用椭圆肤色模型和滤波方法去除额头区域的虚影; 第 4 节给出了实验结果; 最后, 得出结论.

### 1 儿童面部轮廓的生成

儿童照合成的第一个关键步骤是确定目标儿童的形状(轮廓), 它由两个部分组成: 1) 利用 ASM 定位的人脸特征点来描述人脸形状; 2) 利用父母亲和儿童的形状直接融合得到目标儿童形状. 由于直接融合的形状存在扭曲等问题, 我们提出了用标准儿童模板进行约束来求解目标儿童形状的方法.

#### 1.1 ASM 特征点描述人脸形状

对于一张给定的人脸, 我们利用 ASM 特征点来描述它的脸部形状. 如图 2 所示, 脸部形状定义为眉毛以下的外脸轮廓(外围的白点表示)以及五官轮廓(内部的白点表示). 一个典型的人脸形状可以由  $N$  ( $N = 81$ ) 维特征向量  $S$  构成.

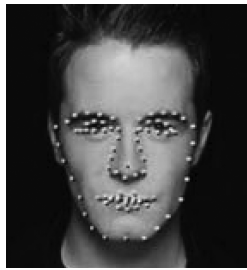


图 2 ASM 方法定位轮廓

Fig. 2 Face's contour located by ASM method

$$S = [p_1, p_2, \dots, p_N] \quad (1)$$

$p_i = (x_i, y_i)$  代表点在图像中的空间坐标, 为了之后的方便处理, 将特征向量做归一化操作. 它分成平移、缩放、旋转三个部分, 其中, 旋转操作是将特征向量根据两眼连线与水平的夹角旋转至水平位置.

平移:

$$p_i = p_i - \bar{p} \quad (2)$$

其中,  $\bar{p} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i$  代表  $N$  个特征点的中心.

缩放:

$$p_i = \left( \frac{x_i}{Len\_p_x}, \frac{y_i}{Len\_p_y} \right) \quad (3)$$

其中,  $Len\_p_x = \max_{1 \leq i, j \leq N} (x_i - x_j)$  代表特征点中横向的最大距离,  $Len\_p_y = \max_{1 \leq i, j \leq N} (y_i - y_j)$  代表特征点中纵向的最大距离, 经过平移缩放后, 特征点在  $(-1,1)$  内分布.

旋转:

$$p_i = p_i \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中,  $\theta = \arctan(\frac{y_R - y_L}{x_R - x_L})$  代表眼睛连线与水平方向的夹角, 左眼坐标:  $(x_L, y_L)$ , 右眼坐标:  $(x_R, y_R)$ .

#### 1.2 直接融合求解目标儿童形状

在利用 ASM 定位出男性、女性各自轮廓点的位置  $S_m$  和  $S_w$ , 并做完归一化处理之后, 可以按一定的规则(例如直接给定或者比较男性、女性形状和儿童形状的欧氏距离)选择出儿童图片. 接下来需要根据男性的形状  $S_m$ 、女性的形状  $S_w$  和儿童的形状  $S_b$  来合成最终的目标形状  $S_t$ . 一般的融合算法在确定中间形状时, 往往直接对原始形状进行线性组合得到中间形状, 对应的加权式如下:

$$S_t = \beta(\alpha S_m + (1 - \alpha) S_w) + (1 - \beta) S_b \quad (5)$$

其中,  $\alpha$  表示男性形状在男性女性融合形状中所占比例,  $\beta$  表示男性女性融合形状在总体融合形状中所占比例,  $0 \leq \alpha, \beta \leq 1$ .

当  $\alpha = 0.5, \beta = 0.6$  时, 融合结果如图 3 所示, 其中图 3(a) 为男性图片, 图 3(b) 为女性图片, 图 3(c) 为原始儿童图片, 图 3(d) 为直接融合得到的儿童图片. 可以看到, 融合的儿童形状具有了男性、女性的各自的特性, 如嘴巴, 由开始的咧嘴变成了现

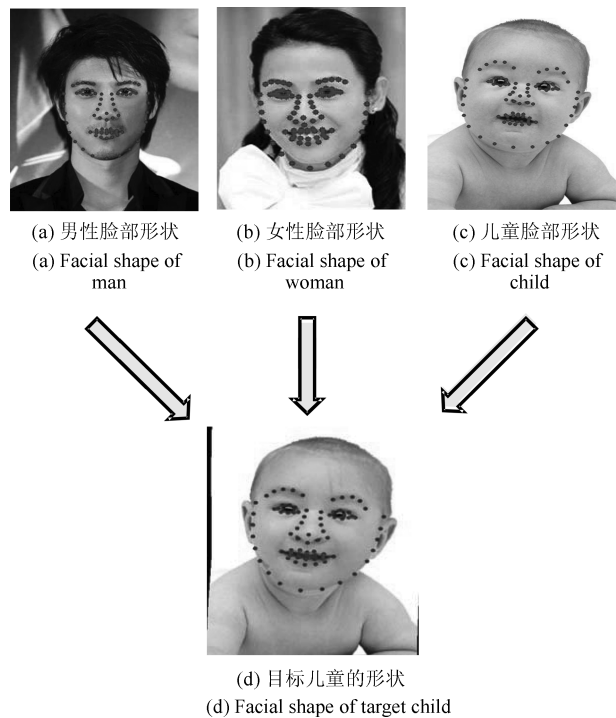


图 3 直接融合得到的儿童形状

Fig. 3 Shape of the child solved by direct combination

在的微微开口, 并且嘴巴横向上也变宽了, 方方正正的脸型变成了现在下巴稍微尖起来了脸型。

### 1.3 模板约束下的儿童形状求解

由于成人的脸型相对于儿童一般为长脸型(长宽比大于儿童的长宽比), 而且眼睛所占脸部比例较小, 另外所选定儿童的形状也存在脸型不对称等一系列问题, 这往往会导致直接合成的儿童形状存在扭曲等各种缺陷, 例如图 3(d) 中合成儿童的嘴巴过大. 而这些根本上都是由于三者的脸型与“标准”的儿童脸型相差过大造成的。

为了让最终合成的儿童形状具有儿童的一般特征, 本文提出了利用标准的儿童模板对儿童形状进行约束的方法, 标准儿童模板是在将 100 幅半岁到 2 岁之间的儿童脸型进行平均之后, 得到的一个儿童脸部形状模型  $\bar{S}$ . 利用标准儿童模板  $\bar{S}$  对目标儿童形状  $S_t$  约束, 建立的能量函数如下:

$$f(S_t) = \sum_{i=1}^N [\beta \cdot \alpha (S_{m_i} - S_{t_i})^2 + \beta \cdot (1 - \alpha) (S_{w_i} - S_{t_i})^2 + (1 - \beta) \cdot (S_{b_i} - S_{t_i})^2 + (\bar{S}_i - S_{t_i})^2] \quad (6)$$

其中,  $S_{m_i}$ 、 $S_{w_i}$ 、 $S_{b_i}$ 、 $S_{t_i}$  分别为  $S_m$ 、 $S_w$ 、 $S_b$ 、 $S_t$  第  $i$  个特征点的坐标,  $\alpha$ 、 $\beta$  与式 (5) 中形状融合的参数一致. 整理式 (6) 得到:

$$f(S_t) = \sum_{i=1}^N [\lambda_m (S_{m_i} - S_{t_i})^2 + \lambda_w (S_{w_i} - S_{t_i})^2 + \lambda_b (S_{b_i} - S_{t_i})^2 + (\bar{S}_i - S_{t_i})^2] \quad (7)$$

其中

$$\begin{aligned} \lambda_m &= \alpha\beta \\ \lambda_w &= (1 - \alpha)\beta \\ \lambda_b &= 1 - \beta \end{aligned}$$

对参量  $S_t$  求偏导, 求解得到:

$$S_t = \frac{\lambda_m S_m + \lambda_w S_w + \lambda_b S_b + \bar{S}}{\lambda_m + \lambda_w + \lambda_b + 1} \quad (8)$$

经过约束方程得到的目标形状有三个好处:

- 1) 目标形状保留了男性、女性和原始儿童的脸型特征;
- 2) 目标形状与标准儿童模板相近, 不会出现过于扭曲的儿童形状;
- 3) 可以方便地将标准儿童模板进行替换, 制造出表情更加丰富的儿童形状. 例如可以将表情是笑脸的儿童设置为标准模板, 或者将大眼睛的儿童设置为标准模板等.

结果如图 4 所示, 图 4(a) 为直接融合得到的结果; 图 4(b) 为模板约束下得到的结果. 从图 4 可以看到, 图 4(a) 中合成儿童形状比较畸形, 嘴巴、鼻子都比较大. 图 4(b) 基于模板约束得到的儿童嘴巴、鼻子均很小巧, 且脸型更圆润, 比较符合儿童脸型的特征. 这是因为在模板约束下, 合成的儿童形状更具有一般儿童形状的特征.

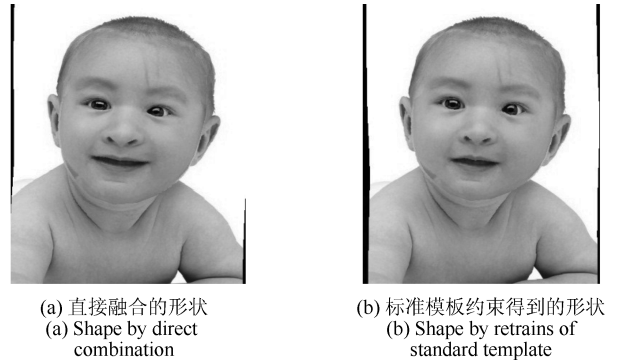


图 4 两种方法的对比

Fig. 4 Comparison of two methods

## 2 基于特征点的图像变形

基于高斯径向基的图像变形算法在人脸变形中使用较为普遍, 但是它会导致五官之外的区域变形后存在拉伸、扭曲问题, 在本节提出了使用双层仿射变换来保障变形后图像稳定性的方法.

### 2.1 基于径向基函数的变形算法

基于径向基的变形算法可以根据人脸原始形状和目标形状的对应关系, 将源图像像素点的坐标映射到目标图像对应的位置, 它的优势在于变形简单, 而且能够保证变形后图像具有很好的平滑性.

给定原始图像  $I_s$ , 以及对应人脸形状的特征向量  $S = [p_1, p_2, \dots, p_N]$  和目标形状的特征向量  $T(S) = [q_1, q_2, \dots, q_N]$ , 要将整幅源图像  $I_s$  根据特征点的对应关系, 变形为目标图像  $I_t$ . 在使用径向基的变形函数进行特征点的变换这一过程中, 通用的变形函数如下:

$$T(p) = \sum_{i=1}^N c_i U(|p - p_i|) + Mp^T + t \quad (9)$$

仿射变换约束:

$$\sum_{i=1}^N c_i = 0, \quad \sum_{i=1}^N c_i p_i = 0$$

其中,  $p = (x, y)$  是源图像  $I_s$  中像素点的坐标,  $c$ 、 $t$  为二维列向量,  $M$  为二维方阵. 为了求得上述公式

的系数, 定义矩阵  $\mathbf{W}$ :

$$\mathbf{W} = [c_1, c_2, \dots, c_N, M, \mathbf{t}]^T \quad (10)$$

矩阵  $V$ :

$$V = \begin{bmatrix} q_{1x} & q_{2x} & \dots & q_{Nx} & 0 & 0 & 0 \\ q_{1y} & q_{2y} & \dots & q_{Ny} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (11)$$

方阵  $L$ :

$$L = \begin{bmatrix} 0 & U_{12} & \dots & U_{1N} & x_1 & y_1 & 1 \\ U_{21} & 0 & \dots & U_{2N} & x_2 & y_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ U_{N1} & U_{N2} & \dots & 0 & x_N & y_N & 1 \\ x_1 & x_2 & \dots & x_N & 0 & 0 & 0 \\ y_1 & y_2 & \dots & y_N & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

其中,  $U(r) = e^{-\frac{r}{64}}$  且  $r_{ij} = |P_i - P_j|$  代表图像中两个点的距离, 求解得到  $\mathbf{W}$ :

$$\mathbf{W} = L^{-1}V \quad (13)$$

根据式 (9), 给定源图像中任意一个点的空间坐标  $p$ , 都可以得到对应的目标位置点  $T(p)$ , 得到了每个点的对应关系, 根据后向映射可以将源图像  $I_s$  映射为目标图像  $I_t$ .

## 2.2 基于双层仿射变换的改进算法

在使用高斯径向基函数进行特征点变换的过程中, 变形函数由两部分确定.

第一部分是径向基变换

$$f(p) = \sum_{i=1}^N c_i U(|p - p_i|) \quad (14)$$

第二部分是仿射变换

$$g(p) = Mp^T + \mathbf{t} \quad (15)$$

对于人脸五官区域的变形 (也就是特征点包围的部分), 径向基变换和仿射变换同时起到约束作用, 一般能够保证五官区域很好的变形. 对于五官之外区域的变形, 由于径向基函数会朝外逐步衰减, 因而离五官区域越远的点, 径向基变换逐步失去作用, 而基本上由仿射变换决定. 儿童原始形状和合成形状之间的对应关系 ( $N$  个特征点之间的对应关系) 决定了仿射变换, 由于这两个形状仍然存在比例不一致等问题, 所以对于远离特征点中心的那些点, 很有可能因仿射变换而产生扭曲、拉伸问题, 影响了儿童照合成的视觉效果.

为了保证五官以外区域呈现好的视觉效果, 我们修改原有的变形函数, 要求如下:

1) 五官变形区域需要保证平滑性, 而且需要原有的变形函数来保证视觉效果, 原有的变形函数能够最小化脸部区域的扭曲.

2) 对于五官之外的额头区域, 应该避免出现拉伸、扭曲问题, 在五官边界处的变形需要保证良好的过渡性; 对于图像边界, 需要保证其稳定性. 这些可由单位映射得到, 它可以保证源图像的像素点映射到目标图像的同位置.

综上所述, 我们提出了一个带有两层仿射变换的变换函数来达到上述的要求, 设计的变换函数如下:

$$T(p) = \sum_{i=1}^N c_i U(|p - p_i|) + F(p)A(p) + (1 - F(p))B(p) \quad (16)$$

$$A(p) = Mp^T + \mathbf{t} \quad (17)$$

$$B(p) = (x, y)^T \quad (18)$$

$A(p)$  是原有的仿射变换,  $B(p)$  是一个单位仿射变换,  $F$  是一个低通滤波器, 控制两个仿射变换的重要性, 如下表示:

$$F(p) = \begin{cases} 1, & r < r_0 \\ \frac{r_1 - r}{r_1 - r_0}, & r_0 \leq r < r_1 \\ 0, & r \geq r_1 \end{cases} \quad (19)$$

其中,  $r = |p - p_0|$ .

如图 5 所示,  $r_0$  为最小包含五官区域圆的半径,  $p_0$  为圆心,  $r_1$  为圆心  $p_0$  到图像边缘的距离. 新的变形函数首先可以保证在五官区域 ( $r < r_0$ ) 依旧是原有的变形函数 ( $F(p) = 1$ ), 而在  $r_0 \leq r \leq r_1$  之间由原有的径向基变换、仿射函数和新的变换共同决定, 并且保持良好的过渡性, 而在离五官区域更远的地方, 则主要由新的变换来确定 ( $F(p) = 0$ ).

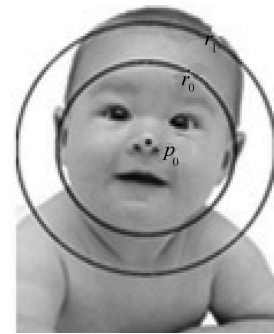


图 5 低通滤波器  $F$

Fig. 5 Low-pass filter  $F$

变形结果如图 6 所示, 图 6(a) 是原图儿童图片; 图 6(b) 为径向基变换的结果; 图 6(c) 为改进算法的结果. 原始变形算法在五官以外的区域进行了拉伸, 例如图 6(b) 中整个眉毛以上的长度大于图 6(a) 中原图儿童该区域的长度 (额头区域的黑线作为判断标准), 而且图像左右边界均产生了一些扭曲 (图中黑色部分), 图 6(c) 中改进后的变换不仅保证了额头及额头以上部分的变形和原图像 6(a) 一致, 而且去除了图像 6(b) 边界的扭曲现象.

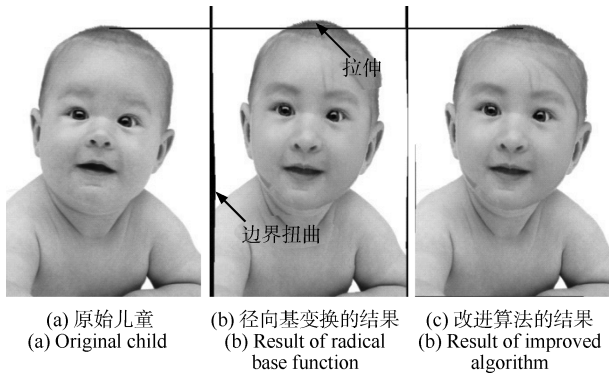


图 6 变形算法改进前后的结果对比

Fig. 6 Comparison of the original algorithm and the improved algorithm

### 3 图像融合

在完成了男性、女性、儿童三幅源图像的变形之后, 接下来完成图像融合的过程. 由于三幅图像除人脸之外的背景区域并不相同, 所以只融合三幅图像的人脸区域, 而对于背景直接使用儿童变形后的背景.

一般的人脸融合技术或者只对五官区域进行融合, 或者对整幅图像进行融合. 前者忽视了额头区域的重要性, 导致了肤色不一致、虚影问题; 后者却忽视了不同背景的影响. 对此, 本文首先采用椭圆肤色模型提取额头区域得到整个人脸区域, 然后, 使用交叉融合算法进行人脸的融合, 最后, 提出了使用滤波器来去除额头区域虚影的方法.

#### 3.1 椭圆肤色模型

对于一幅正常的人脸, 肤色区域包括眉毛以下的五官区域和眉毛以上的额头区域. 一般 ASM 方法只能定位人的五官轮廓, 也就是眉毛以下的区域, 而眉毛以上的区域无法定位, 在这里采用椭圆肤色模型来进行肤色的检测.

Hsu 等提出了非线性的椭圆肤色模型<sup>[13]</sup>, 在  $YC_bC_r$  空间中, 将色度分量  $C_b$  和  $C_r$  作为亮度分量  $Y$  的函数  $C_b(Y)$ 、 $C_r(Y)$ , 由此将  $YC_bC_r$  非线性地变换到了  $YC'_bC'_r$  空间, 肤色在  $C'_bC'_r$  空间中聚类形

成一个椭圆.

利用椭圆肤色模型对儿童进行肤色检测. 将图像每个像素值根据 Hsu 所提出的公式投射到  $C'_bC'_r$  空间, 并判断该像素是否属于肤色, 由于 ASM 模型已经确定了五官的轮廓, 我们只保留在五官以上的肤色区域, 也就是额头区域.

如图 7 所示, 图 7(a) 为儿童图像; 图 7(b) 为椭圆肤色模型检测到的肤色 (只保留额头区域).

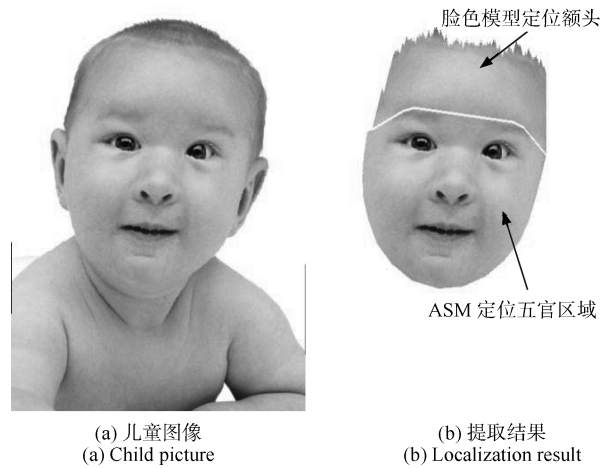


图 7 椭圆肤色模型定位儿童额头  
Fig. 7 Forehead located by the skin color model

#### 3.2 交叉融合

在完成人脸区域的定位后, 接下来要完成人脸区域的融合. 对于给定的原始男性图像  $I_m$ 、女性图像  $I_w$ 、儿童图像  $I_b$ , 以及对应的人脸轮廓的特征向量  $S_m$ 、 $S_w$ 、 $S_b$  和目标特征向量  $S_t$ , 分别利用变形式 (16) 将  $I_m$  变形为  $I'_m$ ,  $I_w$  变形为  $I'_w$ ,  $I_b$  变形为  $I'_b$ . 接下来对变形后的三幅图像进行融合.

可以采用线性的交融技术, 也就是对图像进行直接的线性组合, 融合式如下:

$$I_t = \begin{cases} \gamma(\alpha I'_m + (1 - \alpha)I'_w) + (1 - \gamma)I'_b, & I'_b \in \text{人脸} \\ I'_b, & I'_b \notin \text{人脸} \end{cases} \quad (20)$$

其中,  $\alpha$  表示男性肤色在男性女性融合肤色中所占比例,  $\gamma$  表示男性女性融合肤色在总体融合中所占比例,  $0 \leq \alpha, \gamma \leq 1$ . 为了让合成的儿童肤色具有一般儿童的特性,  $\gamma$  一般设为一个较小的值, 使得融合的肤色偏向于原始儿童的肤色.

#### 3.3 额头区域的处理

全局的交叉融合可能会导致合成儿童的额头区域存在各种虚影, 如图 8(a) 所示. 这主要是因为男性人脸的额头区域存在头发, 所以使用交叉融合时不可避免地将头发融合到了目标儿童中, 从而影

响了视觉效果. 考虑到在融合过程中一般头发所引起的虚影只占额头的小部分, 使用一个平滑滤波器就可以滤除这样的虚影. 均衡滤波器是常用的平滑滤波器, 它对散落噪声点的滤除有比较好的效果. 本文采用  $5 \times 5$  的均衡滤波器, 滤除噪声点的公式如下:

$$I(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{25} \sum_{i=-2}^2 \sum_{j=-2}^2 I(x+i, y+j), & I(x, y) \in \text{额头} \\ I(x, y), & I(x, y) \notin \text{额头} \end{cases} \quad (21)$$

我们只对额头区域进行滤波, 滤波结果如图 8(b) 所示, 额头区域的虚影得到良好的抑制. 这说明本文提出的滤波方法有一定的效果.

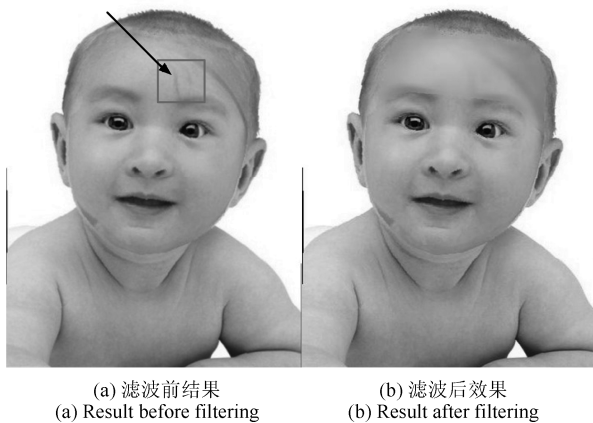


图 8 滤波效果  
Fig. 8 Filtering result

#### 4 实验结果和分析

我们收集了 100 幅亚洲儿童的正面图像, 年龄基本保持在半岁到 2 岁之间, 儿童脸部区域大小占整幅图像大小  $1/4$  左右, 并且手工标注了其  $N$  个特征点的分布, 将特征点进行归一化之后, 进行统计和平均, 得到儿童脸部标准模板  $\bar{S}$ , 如图 9 所示.



图 9 标准儿童脸型  
Fig. 9 Standard shape of a child

由于目前没有定量的标准来评估合成儿童的质

量, 本文根据引言提出的三条比较普适的准则来衡量我们的结果.

实验结果如图 10 所示, 图 10(a) 为男性图片; 图 10(b) 为女性图片; 选出的儿童图像如图 10(c) 所示; 变换融合后的效果如图 10(d)~10(f) 所示, 其中  $\alpha$  表示男性在初步融合中 (形状和肤色) 所占比例,  $0 \leq \alpha \leq 1$ .  $\beta$  表示男性和女性整体在儿童形状融合中所占的比例,  $0 \leq \beta \leq 1$ . 式 (20) 中肤色融合值取固定值  $\gamma = 0.2$ , 表示合成的儿童肤色以原始儿童肤色为主.

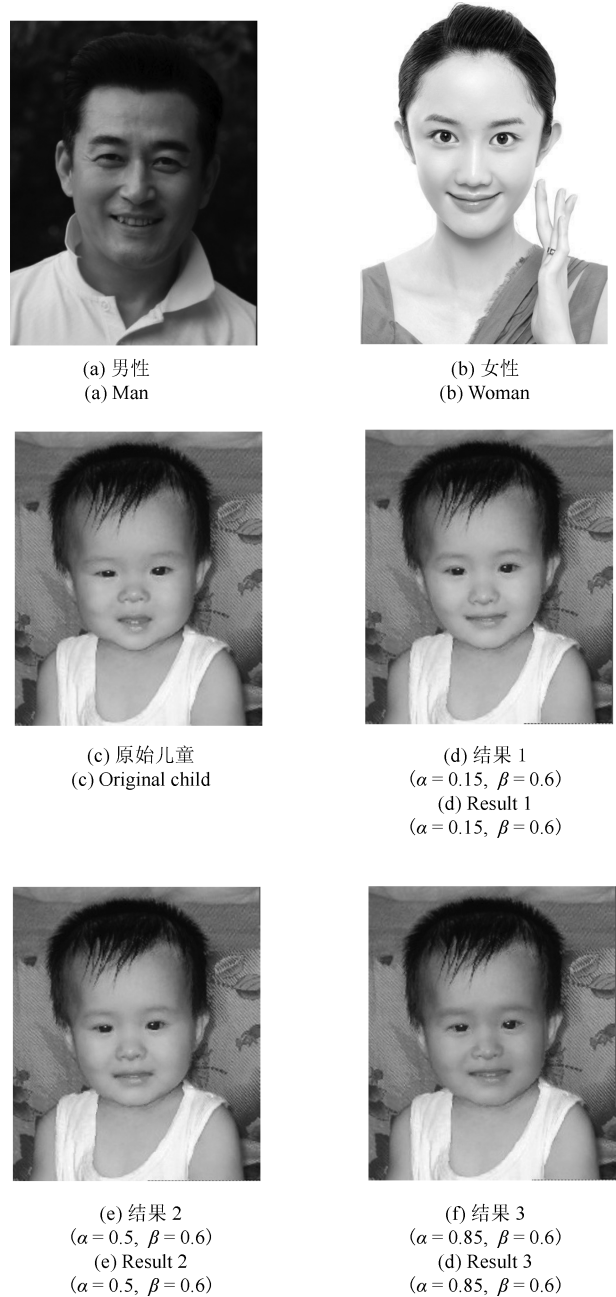


图 10 合成儿童的结果  
Fig. 10 Children pictures generated by our method

在图 10 中,  $\beta$  设置为 0.6, 表示男性和女性形状在儿童照合成中占主要比例,  $\alpha$  作为男性、女性相互融合的权重, 取不同的值来观测合成儿童的差异. 由图 10 可见, 图 10(d) 中合成的儿童下巴很尖、嘴巴闭合、左眼睁开, 这些都和女性十分相似, 而且肤色和女性肤色一样白皙, 长相、神韵上都十分像女性. 这主要是因为融合中, 女性在融合中所占权重高于男性的缘故 ( $\alpha < 0.5$ ), 所以儿童的形状和肤色主要继承了女性的特征. 在图 10(f) 中, 合成的儿童与图 10(d) 相比, 脸型略胖、嘴巴张开、脸型略微向右倾斜, 和男性的脸型朝向保持一致, 肤色更红润, 更偏向于男性的特征, 这是由于男性融合权重更大所引起的 ( $\alpha > 0.5$ ). 而图 10(e) 中合成的儿童则兼顾了男性和女性各自的特征. 尽管男性脸型有不对称, 图 10(f) 中儿童脸型却并没有呈现明显不对称的情况, 这主要是由于标准儿童模板的约束, 保证了目标儿童脸型的对称性, 不至于造成畸形的脸型.

其次, 注意到尽管女性的脸型是长脸型, 但是图 10(d) 中儿童额头以及额头以上的区域没有产生拉伸和扭曲现象, 图像边缘也保持了稳定, 这主要是由于改进的变形算法保证了五官之外区域和图像边界区域的稳定性.

为了更好地展现本文方法, 我们将本文的合成方法和商用软件 Babymaker<sup>[14]</sup> 做了对比. 这里采用形状融合参数  $\alpha = 0.5, \beta = 0.6$ , 即男性、女性在形状融合中所占的比例一样, 而  $Y$  参数  $r$  设为之前的默认值. 结果如图 11 所示. 可以看到, 用 Babymaker 软件合成的儿童图片 11(c) 总的视觉美感是较好的, 合成的儿童与男性、女性也有一定的相似性. 用本文方法合成的儿童图片 11(d) 同样具有较好的视觉美感, 在长相上也继承了男性、女性的特征, 例如儿童的嘴角、眼睛与男性、女性的嘴角、眼睛相似, 而且儿童外脸轮廓也更尖了一些, 偏向于女性的脸型. 这表明本文提出的儿童照合成方法在视觉美感和形状融合上具有一定的特点.

## 5 结论和进一步研究

本文提出了一种儿童照合成的方法, 从形状合成和肤色合成两个角度来阐述儿童照合成的流程. 对于形状合成, 本文提出了利用标准儿童模板对父母亲的形状和儿童形状进行约束, 进而求解目标儿童形状的方法. 对于肤色的融合, 我们首先提出了双仿射变换的高斯径向基函数, 去除了图像变形前后的拉伸和扭曲现象; 然后, 用椭圆肤色模型定位额头部分, 从而得到整个人脸融合区域; 最后, 采用交叉融合的方法合成得到儿童, 并提出了使用均衡滤波器来去除儿童额头部分的虚影.



图 11 合成儿童照的结果对比

Fig. 11 Comparison with the results of “Babymaker”

最终合成的儿童不仅在形状和肤色上具有父母亲的特征, 并且也具有比较高的视觉美感. 但是在形状合成中, 只是将父母亲、儿童形状和标准儿童模板进行融合, 所以表情可能单一. 未来的工作将会侧重使用不同表情的标准模板进行约束, 使得合成的儿童更加形态各异.

## References

- 1 Arad N, Reisfeld D. Image warping using few anchor points and radial functions. *Computer Graphics Forum*, 1995, **14**(1): 35–46
- 2 Ruprecht D, Mller H. Image warping with scattered data interpolation. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 1995, **15**(2): 37–43
- 3 Beier T, Neely S. Feature-based image metamorphosis. *Computer Graphics*, 1992, **26**(2): 35–42
- 4 Wolberg G. *Digital Image Warping*. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1992
- 5 Cootes T F, Taylor C J, Cooper D H, Graham J. Active shape models — their training and application. *Computer Vision and Image Understanding*, 1995, **61**(1): 38–59
- 6 Wolberg G. Image morphing: a survey. *The Visual Computer*, 1998, **14**(8–9): 360–372
- 7 Shechtman E, Rav-Acha A, Irani M, Seitz S. Regenerative morphing. In: *Proceedings of the 2010 IEEE Conference on*

Computer Vision and Pattern Recognition. San Francisco, USA: IEEE, 2010. 615–622

- 8 Baxter W, Barla P, Anjyo K. *N*-way morphing for 2D animation. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 2009, **20**(2–3): 79–87
- 9 Seo M, Chen Y W. Face image metamorphosis with an improved multilevel B-spline approximation. In: Proceedings of the 5th International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing. Kyoto, Japan: IEEE, 2009. 1274–1277
- 10 Arad N, Dyn N, Reisfeld D, Yeshurun Y. Image warping by radial basis functions: Application to facial expressions. *Graphical Models and Image Processing*, 1994, **56**(2): 161–172
- 11 Phung S L, Chai D, Bouzerdoun A. Adaptive skin segmentation in color images. In: Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and signal Processing. Hong Kong, China: IEEE, 2003. 353–356
- 12 Kakumanu P, Makrogiannis S, Bourbakis N. A survey of skin-color modeling and detection methods. *Pattern Recognition*, 2007, **40**(3): 1106–1122
- 13 Hsu R L, Abdel-Mottaleb M, Jain A K. Face detection in color images. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, **24**(5): 696–706
- 14 Makemebabies: Website for making babies [Online], available: <http://www.makemebabies.com/>, January 5, 2012



**林立** 中国科学院自动化研究所硕士研究生. 主要研究方向为图像变形和非接触式掌纹识别. 本文通信作者.

E-mail: linli10@mails.gucas.ac.cn

(**LIN Li** Master student at the Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. His research interest covers image warping and contactless palm-print recognition. Corresponding author of this paper.)



**黄磊** 中国科学院自动化研究所副研究员. 主要研究方向为文字识别, 人脸识别和智能监控.

E-mail: lei.huang@mail.ia.ac.cn

(**HUANG Lei** Associate professor at the Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. His research interest covers character recognition, face recognition, and intelligent surveillance for security.)



**刘昌平** 中国科学院自动化研究所研究员. 主要研究方向为文字识别, 人脸识别和智能监控.

E-mail: changping.liu@mail.ia.ac.cn

(**LIU Chang-Ping** Professor at the Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. His research interest covers character recognition, face recognition, and intelligent surveillance for security.)