

基于部件的人脸编辑与美化算法

蔡珍妮 刘青山

(南京信息工程大学信息与控制学院, 南京, 210044)

摘要: 针对人脸部件的变换与脸部化妆, 提出了一种基于部件的人脸编辑与美化算法。该算法包括人脸部件渐变与人脸化妆两部分。首先根据所有部件的特征点对人脸进行三角剖分, 然后只改变需变换部件的特征点的位置, 最后使用线性插值技术对像素点进行赋值, 得到部件的变换图。在对不同部件的变换图进行组合后, 利用基于范例的数字化妆方法, 进一步实现了人脸的整体美化效果。实验结果表明, 部件变换并化妆后的人脸具有真实感, 美化效果比较明显, 这在整容或是化妆领域都有可观的应用前景。

关键词: 人脸美化; 三角剖分; 线性插值; 数字化妆; 部件变换

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A

Face Editing and Beautification Method Based on Components

Cai Zhenni, Liu Qingshan

(School of Information and Control, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, 210044, China)

Abstract: For facial component warping and face makeup, the paper proposes a method of component-based face editing and beautification. The method mainly includes two parts: Facial component warping and face makeup. It firstly carries out triangulation according to feature points of the components, then only changes the positions of feature points which need to be changed and finally calculates pixel values by interpolation. The warping results of different components are obtained. After the combination of specific warped images in different components, face beautification is realized using digital makeup based on example. Experimental results show that the beautified face looks real and more beautiful obviously. In short, the face beautification technology will bring considerable application prospects in the field of cosmetic surgery or cosmetic.

Key words: face beautification; triangulation; interpolation; digital makeup; facial components warping

引 言

近年来, 人们越来越重视容貌的美丑, 整形美容学科迅速发展。但人脸整容存在很大的风险, 医生不知整容后的结果到底是什么样的^[1], 而通过对人脸进行虚拟的不同程度的部件整形与化妆, 可以解决上述问题。对于人脸的部件整形与化妆, 比较有代表性的是人脸的变形编辑与数字化妆。在人脸图像变形方面, 目前比较成熟的是人脸图像网格方法, 这种方法包括三角剖分法。三角剖分方法的思路是在

源图像和目标图像上标注若干对应的特征点,按照特征点把整张图像分割成若干块三角形区域。为了避免分割出形状不优的三角形,Delaunay^[2]三角剖分通常为人们所使用。然而,与本文所研究的部件渐变最为密切相关的是人脸局部变形。这种工作相关研究并不多,其中最为相关的是陈粟等^[3]的工作:在确定局部区域内的特征点和影响半径后,计算出区域像素点几何位置的变化,最后利用双线性插值技术进行像素点的赋值以得到局部变形后的图像。进一步,利用人脸变形的思想来实现人脸的美化,最具代表性的是 Zhao^[1]提出的对人脸图像进行轮廓变形处理的方法,该方法利用薄板样条和移动最小二乘算法对人脸图像进行轮廓的变形处理。

在人脸化妆方面,Chen 等^[4]提出了基于物理模型的分层虚拟化妆方法,这种方法得到的化妆效果比较接近实际,但它很大程度上依赖分层的精确性。Tong 等^[5]通过学习同一张范例脸的“化妆后”和“化妆前”的商来进行人脸的化妆。Guo^[6]等对此进行了改进,他们的方法只需要提供一张“化妆后”的范例人脸,范例人脸皮肤的纹理细节及颜色便可以直接传递给源图像人脸。

本文提出了一种基于部件的人脸编辑与美化算法,它包括人脸部件渐变与人脸化妆两部分。人脸部件渐变方法主要是基于三角剖分的思想,在进行局部处理时,与文献[3]不同的是,本文的工作并没有计算影响半径,而是保持不需要变形的部件的特征点位置不变。而人脸的化妆,利用了基于范例的数字化妆方法^[6]。大量实验结果表明,本文提出的算法使得部件变换并化妆后的人脸具有真实感,美化效果比较明显,这在整容或是化妆领域都有可观的应用前景。

1 算法设计思想

本文提出的部件渐变方法利用图像渐变^[7]与三角剖分的思想^[8],主要步骤如下:(1)对源图像与目标图像进行三角剖分;(2)确定过程变换图像的特征点位置;(3)找出源图和目标图像素点在变换图像上对应的位置;(4)对源图、目标图分别双线性插值后加权平均。

在步骤(4),加权值从 0 逐渐取值到 1(可设取值间隔为 0.1)形成一系列人脸某部件的过程变换图;将各部件的某张过程变换图进行组合,得到综合的人脸部件变换图后,本文利用基于范例的数字化妆方法^[6]对人脸进行化妆,使得美化效果更为明显。图 1 展示了利用本文算法得到的一种人脸美化的效果。其中,图 1(d)为图 1(a)部件的变换提供了相应部件的参考(本文针对的渐变部件主要指嘴巴、鼻子、下巴和眼睛);图 1(b)的每个部件均来自于从图 1(a)变化到图 1(d)的部件的某个过程结果;图 1(c)的妆容来自于图 1(e)。

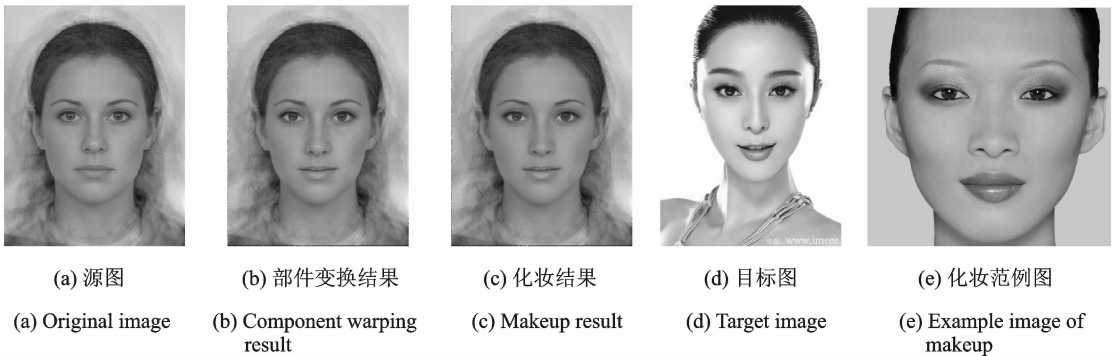


图 1 人脸部件变换及化妆

Fig. 1 Facial component warping and face makeup

2 基于三角剖分的人脸部件渐变

2.1 基于三角剖分的人脸渐变方法

人脸变形主要解决了两个问题^[3]:(1)像素点几何位置的变换,(2)变换后像素点的颜色赋值。对这两个问题,本文分别采用了基于三角剖分的变形方法和双线性插值技术来解决。图2展示了人脸变形的流程。

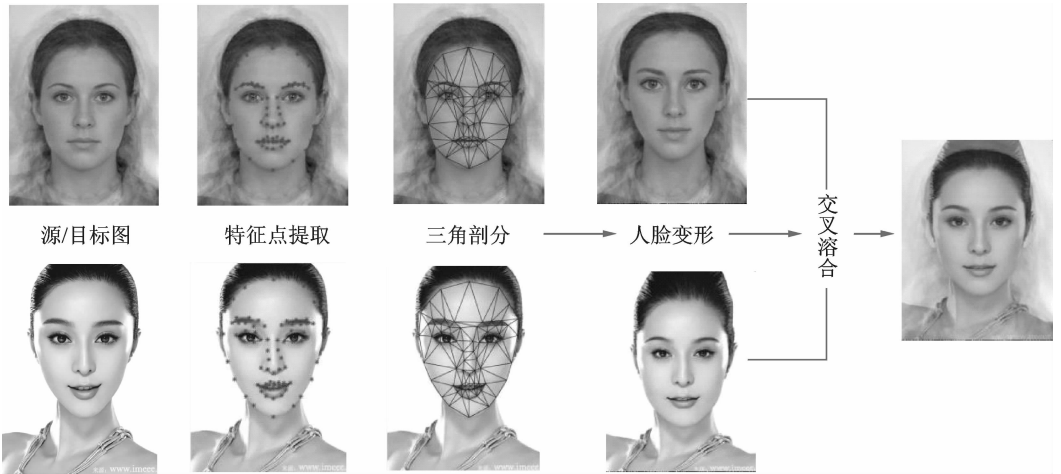


图2 人脸变形的流程
Fig.2 Workflow of face warping

特征点的选择及数量的多少直接决定了变形的好坏,本文采用监督下降^[9](Supervised descent method, SDM)的方法来提取特征点,考虑到部件变换效果,本文实验对嘴巴、下巴、眉毛、鼻子及眼睛部分提取特征点,特征点数量分别为12,7,10,17,32,见图3(a)。

给定源图 A , 目标图 B , 记变换过程中某一变换图为 C , 则 C 的特征点坐标为

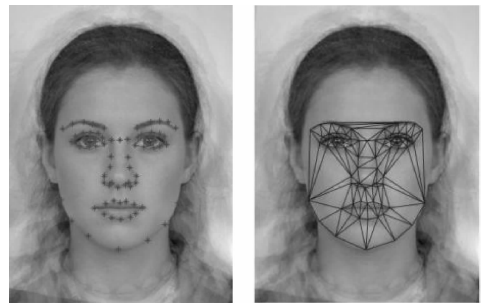
$$C_i = (1 - \alpha)A_i + \alpha B_i \quad (1)$$

式中: C_i 为变换图中所有特征点的坐标, A_i, B_i 为源图与目标图中所有特征点(由嘴巴、下巴、眉毛、鼻子及眼睛的特征点组成)的坐标; $\alpha \in [0, 1]$, 表示图像 B 的特征点坐标对变换图 C 特征点坐标的贡献率。

特征点确定后,利用 Delaunay^[2]进行三角剖分,即将每3个点划分为一个三角形,三角形之间不相交,见图3(b)。设三角形 P 是源图 A 上的一个三角形, P_1, P_2, P_3 分别为它的3个顶点;三角形 Q 是与 P 对应的目标图 B 上的三角形;三角形 M 是 P 到 Q 变换过程中变换图 C 上的一个三角形, M_1, M_2, M_3 分别为它的3个顶点,如图4所示。

对于三角形 M 内(或 M 上)的一点 M_{κ} (表示第 κ 个像素点,见图4),将这点坐标与三角形3个顶点坐标表示成线性关系,则

$$M_{\kappa} = \omega_{\kappa_1} \times M_{11} + \omega_{\kappa_2} \times M_{21} + \omega_{\kappa_3} \times M_{31}$$



(a) 特征点标记 (a) Landmarks
(b) Delaunay三角剖分 (b) Delaunay triangulation

图3 特征点标记及 Delaunay 三角剖分
Fig.3 Landmarks and delaunay triangulation

$$M_{\kappa_2} = \omega_{\kappa_1} \times M_{12} + \omega_{\kappa_2} \times M_{22} + \omega_{\kappa_3} \times M_{32} \quad (2)$$

式中: $M_{\kappa_1}, M_{\kappa_2}$ 表示像素点 M_{κ} 的横坐标值与纵坐标值; M_{11}, M_{21}, M_{31} 表示 3 个顶点 M_1, M_2, M_3 的横坐标值; M_{12}, M_{22}, M_{32} 为 3 个顶点 M_1, M_2, M_3 的纵坐标值; $\omega_{\kappa_1}, \omega_{\kappa_2}, \omega_{\kappa_3}$ 为 3 项权重系数, 它们可以通过下面计算过程求解, 则

$$a_1 = (M_{\kappa_1} - M_{31}) \times (M_{22} - M_{32})$$

$$b_1 = (M_{\kappa_2} - M_{32}) \times (M_{21} - M_{31})$$

$$c_1 = (M_{11} - M_{31}) \times (M_{22} - M_{32})$$

$$d_1 = (M_{12} - M_{32}) \times (M_{21} - M_{31})$$

$$\omega_{\kappa_1} = \frac{a_1 - b_1}{c_1 - d_1}$$

$$a_2 = (M_{\kappa_1} - M_{31}) \times (M_{12} - M_{32})$$

$$b_2 = (M_{\kappa_2} - M_{32}) \times (M_{11} - M_{31})$$

$$c_2 = (M_{21} - M_{31}) \times (M_{12} - M_{32})$$

$$d_2 = (M_{22} - M_{32}) \times (M_{11} - M_{31})$$

$$\omega_{\kappa_2} = \frac{a_2 - b_2}{c_2 - d_2}$$

$$\omega_{\kappa_3} = 1 - \omega_{\kappa_1} - \omega_{\kappa_2} \quad (3)$$

设源图 A 中坐标与 C 中的 M_{κ} 像素点坐标相等的点为 P_{κ} (见图 4), 则其变换后的坐标为

$$P'_{\kappa_1} = \omega_{\kappa_1} \times P_{11} + \omega_{\kappa_2} \times P_{21} + \omega_{\kappa_3} \times P_{31}$$

$$P'_{\kappa_2} = \omega_{\kappa_1} \times P_{12} + \omega_{\kappa_2} \times P_{22} + \omega_{\kappa_3} \times P_{32} \quad (4)$$

式中: P_{11}, P_{21}, P_{31} 为 3 个顶点 P_1, P_2, P_3 的横坐标值; P_{12}, P_{22}, P_{32} 为 3 个顶点 P_1, P_2, P_3 的纵坐标值; P'_{κ_1} 为像素点 P_{κ} 变换后的点 P'_{κ} 的横坐标值; P'_{κ_2} 表示 P'_{κ} 的纵坐标值 (见图 4)。

按照式(3,4), 可求得源图 A 与目标图 B 的所有像素点变换后的坐标, 然后分别利用双线性插值, 求得 A 变形后的结果图 A' , B 变形后的结果图 B' , 变形效果图见图 2。

最后, 对 A' 与 B' 进行交叉融合求得变换图 C 为

$$C = (1 - \alpha)A' + \alpha B' \quad (5)$$

显然, $\alpha=0$ 时, 变换图 C 就是图像 A' ; $\alpha=1$ 时变换图 C 就是图像 B' ; α 从 0 逐渐取值到 1 (可设取值间隔为 0.1), 得到的不同的过程变换图便组成了从源图 A 到目标图 B 的渐变过程。

2.2 基于三角剖分的部件渐变方法

将源图 A 中的人脸的某一部件逐渐变化为目标图 B 中相应的人脸部件, 本节对 2.1 节的过程做了一些修改。以嘴巴渐变为例, 算法流程如下:

算法 1 基于三角剖分的部件渐变算法

输入: 源图 A, 目标图 B, 系数 α

输出: 结果图 C_m

步骤:

(1) 利用 SDM 人脸特征点定位方法, 得到 A 的全部部件的特征点坐标 A_t 及嘴巴部分的特征点坐标 A_m , B 的嘴巴部分的特征点坐标 B_m 。

(2) 计算 B 的全部部件特征点坐标为

$$B_t = B_m + A_t - A_m。$$

(3) 利用式(1), 计算变换图 C 的特征点坐标。

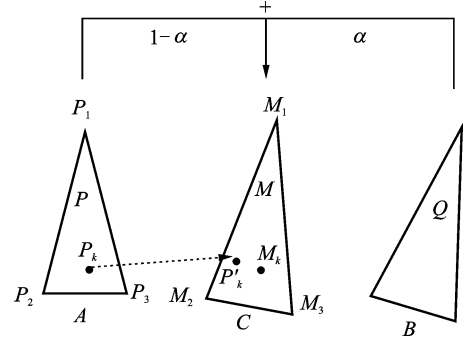


图 4 三角形变换过程

Fig. 4 Transformation process of triangles

(4)对 A, B, C 分别进行三角剖分。

(5)利用式(3,4),计算出 A, B 中的每个像点变换后的坐标,对 A, B 分别进行双线性插值,得到变形图 A', B' 。

(6)交叉融合两张变形图的嘴巴部分为

$$C_m = A'_{om} + (1 - \alpha)A'_m + \alpha B'_m$$

式中: C_m 为嘴巴变换后的图; A'_{om} 为将图 A' 嘴巴部分赋值为 0 而其余部分保持不变的图; A'_m, B'_m 表示将图 A', B' 嘴巴以外的部分赋值为 0 而嘴巴部分保持不变的图; α 的取值范围为 $0 \sim 1$, 其取值越大, 结果图像的嘴巴越接近于目标图的嘴巴, 可根据个人喜好或是变形效果进行选择。同理, 眼睛渐变过程的原理与嘴巴的渐变过程相似, 本节不再累赘。

另外, 需要指出的是, 本文中鼻子及下巴的变换与目标图的像素值无关, 即只对源图的鼻子或下巴进行了形变, 也就是说, 2.1 节中的 A' 即为最后鼻子或下巴的变换结果。

3 基于范例的数字化妆

在本文中, 人脸编辑与美化算法的最后一步, 即人脸的化妆方法主要来源于文献[6]。这种方法的主要思想是将源人脸与范例人脸分为 3 层, 对源人脸层与范例人脸层进行相应的操作后, 得到最终的化妆效果, 整体的工作流程如图 5。具体的算法流程如下。

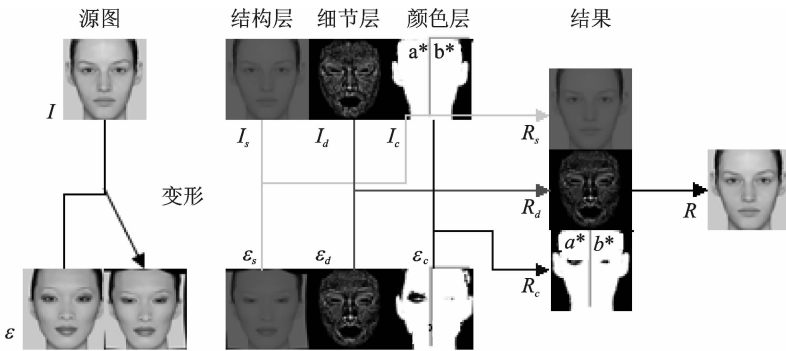


图 5 基于范例的数字化妆方法整体工作流程
Fig. 5 Workflow of makeup based on example

算法 2 基于范例的数字化妆算法

输入: 源图 I , 范例图 ϵ , 可调参数 λ , 系数 $\delta_l, \delta_\epsilon$ 和 γ

输出: 化妆结果图 R

步骤:

(1) 变形范例图 ϵ , 使其特征点对齐源图 I 。

(2) 转换 I, ϵ 成 CIELAB 颜色空间, 得到亮度层 l 和颜色层 a^*, b^* 。

(3) 分解亮度层 $l = s + d$ (s 为结构层, d 为皮肤细节层), 通过最小化下面能量方程^[10]求解 s , 则

$$E = |s - l|^2 + \lambda H(\nabla s, \nabla l)$$

式中: 可调参数 λ 根据文献[6]将其取值为 0.2, $H(\nabla s, \nabla l)$ 为正则化项。

(4) 计算化妆结果图皮肤细节层为

$$R_d = \delta_l I_d + \delta_\epsilon \epsilon_d$$

式中: $\delta_l, \delta_\epsilon$ 取值范围为 $0 \sim 1$; I_d, ϵ_d 表示 I, ϵ 的皮肤细节层。

(5) 计算化妆结果图的颜色层为

$$R_c = (1 - \gamma)I_c + \gamma\epsilon_c$$

式中: γ 取值范围为 $0 \sim 1$, 取值越大, 人脸的皮肤颜色就越接近范例人脸的皮肤颜色; I_c, ϵ_c 表示 I, ϵ 的颜色层。

(6) 令妆结果图的结构层 $R_s = I_s$ (I_s 表示源图的结构层), 合并后得到化妆结果图。

4 结果分析

虽然现在有大量公开的人脸数据库, 但是它们大都用于非人脸美化的研究, 如人脸检测、人脸识别等, 图像中的人脸往往光线不好、表情复杂、配戴眼镜或未带妆容等, 这些都不适合于人脸部件的变换或是脸部的化妆。所以本文建立了一个人脸数据库。数据库中共有 100 张正面或是接近于正面、表情不夸张、部件清晰、化妆或未化妆的女性人脸图像, 这些女性均为亚洲或是欧美青年。本文实验所用的人脸图像均选自于此数据库。

对任意输入的源图与同样大小的目标图, 通过本文提出的基于三角剖分的部件渐变方法都可以实现部件独立的渐变过程。图 6, 图 7 分别展示了源图的嘴巴、下巴向目标图相应部件渐变的部分过程。从图 6, 7 可以看出, 源图人脸部件的渐变过程过渡自然, 且变换后的部件与源图人脸具有很好的融合性。在图 8, 完成了源图各部件的渐变过程后, 本文选取嘴巴 ($\alpha = 0.4$)、鼻子 ($\alpha = 0.6$)、下巴 ($\alpha = 0.5$) 与眼睛 ($\alpha = 0.4$) 的部件变换图进行综合, 得到的部件变换综合图效果如图 8(c) 所示, 图 8(a, b) 分别是源图与目标图。另外, 采用同样的方式, 本文对 Labeled Face Parts in the Wild Dataset (LFPW)^[11] 中的一张女性图像图 8(d) 进行了部件变换的实验, 变换目标图为图 8(e), 实验结果图为图 8(f)。从图 8 可以看出, 利用本文的算法对人脸的嘴巴、眼睛、鼻子及下巴进行一定程度的变换, 能够得到比较真实自然的人脸美化效果图。



图 6 嘴巴的部分渐变过程

Fig. 6 Morphing of mouth

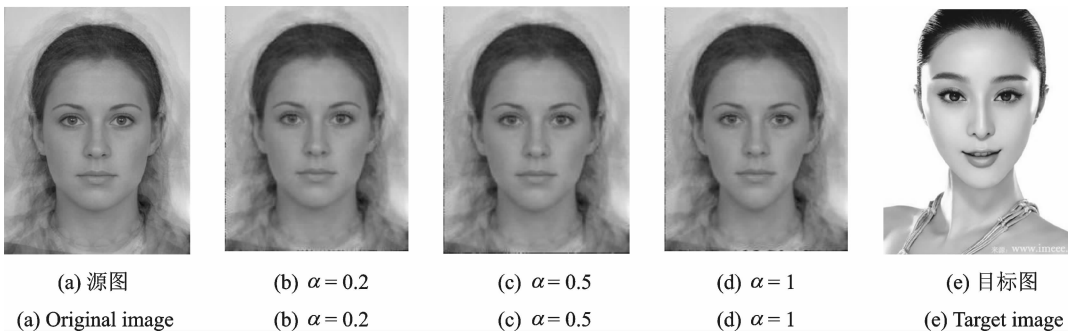


图 7 下巴的部分渐变过程

Fig. 7 Morphing of chin

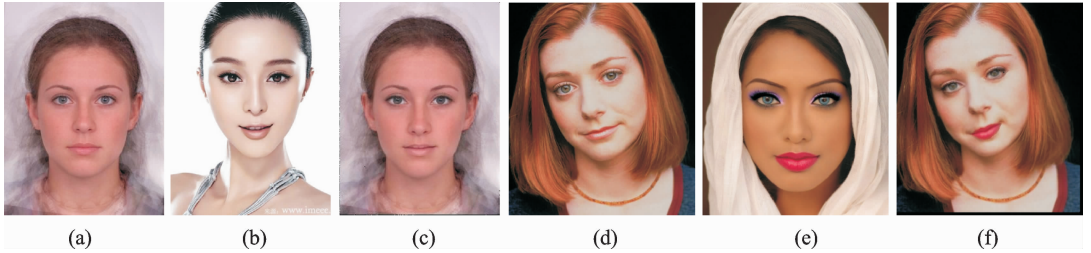


图8 部件变换综合图
Fig.8 Component warping results

图9 是人脸化妆的实验结果,图9(a)与(f)分别表示源图的部件变换图像(化妆源图像)与化妆范例图像;图9(b-e)分别是在皮肤细节传递权重相同(源图像系数 δ_s 取0,范例图像系数 δ_t 取0.9)时, γ 分别取0.1,0.3,0.6和0.9时颜色变化的结果。

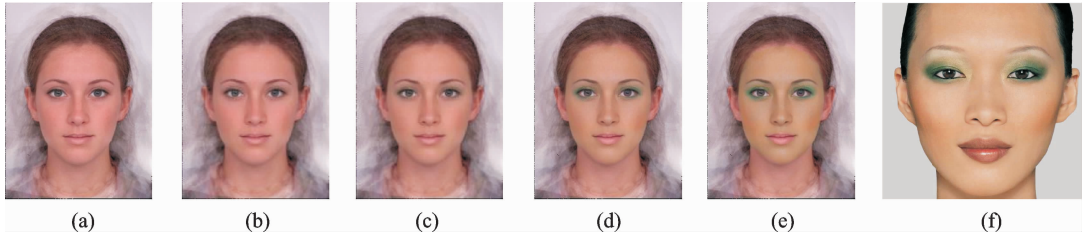


图9 部件变换综合图的数字化妆
Fig.9 Digital makeup of warping result

为了评估本文提出的人脸美化算法,从人脸美化与部件替代的角度出发,分别与文献[6,12]进行了比较。

4.1 部件替代方法与泊松编辑比较

在图10,本文提出的部件替代方法(当 $\alpha=1$ 时)与泊松编辑^[12]方法进行了比较。对于图10(a-c):共有3列,第1列的上面是源图,下面是目标图像;第2列是本文的方法得到的部件替代结果,上面是相应的部件替代放大图;第3列是泊松编辑得到的部件替代结果。

从图10(a)看出,泊松编辑得到的图像嘴巴周围有“脏”的地方(红圈处,源自目标图像),这说明泊

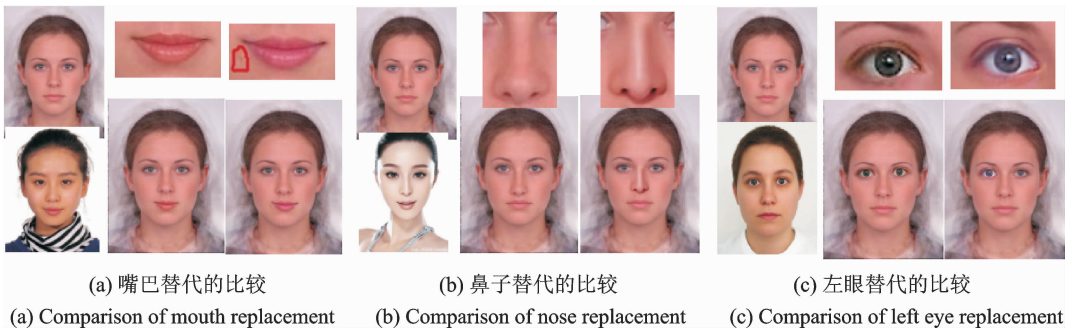


图10 和泊松编辑的比较
Fig.10 Comparison with Poisson editing

松编辑容易将目标图像部件周围的“特点”传递过来,而本文方法更少受目标部件周围像素的影响。从图 10(b)可以看出,泊松编辑得到的鼻子颜色不能与源图像肤色很好地融合,而本文得到的结果具有相当好的融合性;从图 10(c)可以看出,泊松编辑得到的左眼颜色和细节与目标图像的眼睛具有一定的差异性,而本文得到的结果几乎接近于目标图像。总体来说,本文的方法要优于泊松编辑。

4.2 人脸美化方法与基于范例的数字化妆算法的比较

4.2.1 定性比较

图 11 展示了本文提出的人脸美化算法与文献[6]中算法的定性比较结果,图 11 包含了(a-c)3 组人脸美化的结果,每组左边的图像是基于范例的数字化妆算法^[6]的结果,右边的图像是本文提出的人脸编辑与美化算法的结果;每组中的两张结果图像的美化源图与化妆范例图相同,且皮肤细节及颜色的变化程度相同。

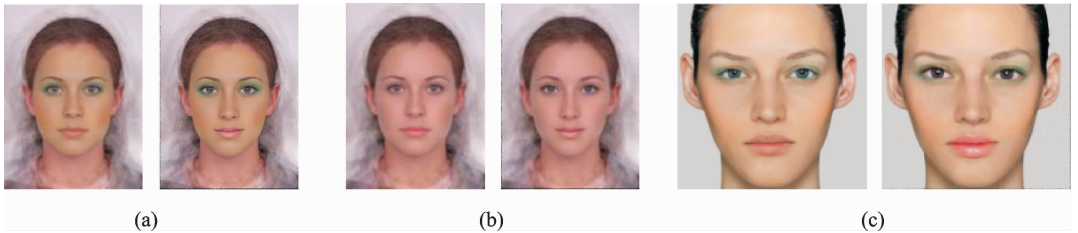


图 11 和数字化妆的比较

Fig. 11 Comparison with digital makeup

从图 11 的 3 组实验结果可以看出,本文提出的人脸美化算法在文献[6]的基础上更加全面地考虑了人脸的部件部分,得到的美化效果更为显著。

4.2.2 定量比较

为了定量地验证美化算法的有效性,最为简单直接的一种方法就是对美化前后或是利用不同算法得到的效果图进行评分。随机选取 50 张测试图像后,分别利用本文美化算法和文献[6]中的算法对其进行美化操作。本文采用文献[13]里的“美化成功率”方法来评价算法的有效性:邀请 20 位评分者,当有超过一半的评分者认为本文美化算法生成的效果图比测试图像或是文献[6]里的算法生成的效果图更具吸引力时,就认为本文算法在该测试图上美化成功,结果如表 1 所示。

从表 1 可以看出,无论是和测试图像或是和文献[6]里的算法生成的效果图进行比较,本文美化算法生成的效果图对于真实人类都有更大的吸引力,这充分说明了本文算法的有效性以及部件变换在人脸美化中的重要作用。

表 1 本文所提出算法的美化成功率

Tab. 1 Success ratio of proposed algorithm

对比项	美化成功率/%
本文算法与测试图像的对比	94
本文算法与文献[6]算法的对比	96

5 结束语

本文提出了一种基于部件的人脸编辑与美化算法。该算法包括人脸部件渐变与人脸化妆两部分,它首先基于三角分割的思想对人脸部件进行变换,然后利用基于范例的数字化妆方法对人脸进行化妆。实验结果表明,部件变换并化妆后的人脸具有真实感。由于本文算法比文献[6]多考虑到了人脸部件变换的部分,美化效果也更为明显,在整容或是化妆领域都有可观的应用前景。但是,本文的人脸部件渐变方法很大程度上依赖于特征点的数量以及位置的选取,如果在这方面做得不够好,很容易在变换图上

出现重影或是部件不完整的问题。所以,在今后的工作中,会针对这一问题进行进一步的研究。一方面,可以利用人脸部件分割技术^[14,15]来代替特征点提取,另一方面也可以利用 Matting 技术^[16]中边界的处理技巧来提高部件变换的完整性与边界的融合性。

最后,线性插值技术的好坏也对本文实验结果具有一定的影响,利用一种分区域多方向数据融合图像插值方法^[17]来代替本文中的双线性插值或许会带来更为理想的效果,有待进一步的实验研究。

参考文献:

- [1] 赵萍.人脸美化技术的研究与实现[D].大连:大连理工大学,2010.
Zhao Ping. Research and implementation of the face beautification technology[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2010.
- [2] Berg M, Krevelde M, Overmars M, et al. Computation geometry-algorithms and applications[M]. Heidelberg: Springer-Verlag, 1997.
- [3] 陈粟,倪林.一种人脸图像局部变形技术[J].计算机工程与应用,2004,40(33):56-59.
Chen Su, Ni Lin. A local deformation method of face image[J]. Computer Engineering and Applications, 2004, 40(33): 56-59.
- [4] Li Chen, Zhou Kun, Lin S. Simulation makeup through physics-based manipulation of intrinsic image layers[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Boston, MA, USA; IEEE, 2015: 4321-4329.
- [5] Tong W, Tang C K, Brown M S, et al. Example-based cosmetic transfer[C]//Proceedings of the Pacific Conference on Computer Graphics and Applications. Maui, Hawaii; IEEE, 2007: 211-218.
- [6] Guo Dong, Sim T. Digital face makeup by example[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Anchorage, Alaska; IEEE, 2009: 73-79.
- [7] Patel A. Image morphing algorithms; A survey[J]. International Journal of Computer Application, 2015, 5(3): 156-160.
- [8] Mainkar V V, Sambre N B. Morphing by triangulation method[J]. International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies, 2015, 3(2): 249-254.
- [9] Xiong Xuehan, Torre F D. Supervised descent method and its application to face alignment[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Portland, Maine, USA; IEEE, 2013: 532-539.
- [10] Farbman Z, Fattal R, Lischinski D, et al. Edge-preserving decompositions for multi-scale tone and detail manipulation[J]. ACM Transactions on Graphics, 2008, 27(3): 1-10.
- [11] Belhumeur P N, Jacobs D W, Kriegman D J, et al. Localizing parts of faces using a consensus of exemplars [C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Colorado Springs, USA; IEEE, 2011: 545-552.
- [12] 张建桥,王长远.基于泊松方程的数字图像无缝拼合[J].现代电子科技,2010,33(17):139-141.
Zhang Jianqiao, Wang Changyuan. Seamless splicing of digital images based on poisson equation[J]. Modern Electronic Technique, 2010, 33(17): 139-141.
- [13] 陈伊力.基于数据驱动的人脸美化[D].广州:华南理工大学,2012.
Chen Yili. Data-driven enhancement of facial attractiveness[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.
- [14] Smith B, Zhang Li, Brandt J, et al. Exemplar-based face parsing[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Portland, Maine, USA; IEEE, 2013: 3484-3491.
- [15] Liu Sifei, Yang Jimei, Huang Chang, et al. Multi-objective convolutional learning for face labeling[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Boston, MA, USA; IEEE, 2015: 3451-3459.
- [16] Zhang Yuanjie, Kamthamettu C. Learning based digital matting[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision. Kyoto, Japan; IEEE, 2009: 889-896.
- [17] 齐敏,程恭,杜乾敏,等.一种分区域多方向数据融合图像插值方法[J].数据采集与处理,2016,31(1):73-84.
Qi Min, Cheng Gong, Du Qianmin, et al. New image interpolation method based on sub-regional and multi-directional data fusion[J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2016, 31(1): 73-84.

作者简介:



蔡珍妮(1991-),女,硕士研究生,研究方向:图像处理,模式识别, E-mail: 1020702910@qq.com。



刘青山(1975-),教授,研究方向:图像分析、视频分析和机器学习等。

