

基于特征网格的面部图象变形算法

张静波 张桂林

(华中科技大学图象识别与人工智能研究所智能控制研究室, 武汉 430074)

(图象信息处理与智能控制教育部重点实验室, 武汉 430074)

摘要 面部图象变形技术是人脸建模的关键技术之一. 为了模拟人脸器官(如眼、嘴、鼻和眉等)周围及人脸轮廓肌肉的运动, 选择适合描述人脸及其器官轮廓的几何形状的若干特征点, 并根据器官周围肌肉点运动机理, 建立了面部图象变形的特征网络模型. 该模型构造了两类控制器官运动的合成肌肉, 即控制垂直方向运动的轮廓肌和控制水平方向运动的线性肌, 由此, 面部肌肉点拉动肌肉即可作垂直和水平方向运动. 由于该特征网络模型可实现人脸器官精细的变形操作, 并能依据器官的轮廓变化展开, 符合人的认知过程, 因此, 与其他算法相比, 其变形效果更加自然, 图象变形更加精确.

关键词 面部图象合成 特征网络模型 表情 图象变形 肌肉运动模拟

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2002)03-0256-05

A Distort Algorithm for Face Image Based on Character Mesh

ZHANG Jing-bo, ZHANG Gui-lin

(Institute for Pattern Recognition and Artificial Intelligence, HuaZhong University of Science and Technology, WuHan 430074)

(Key Laboratory of Ministry of Education of China, Wuhan 430074)

Abstract Morphing technique of human face image is a key technique in the field of face modelization. Based on geometrical feature of facial contour, this paper selects appropriate Feature Points and constructs a component feature mesh model adapted to face image morphing through the muscle movement principle of face organs. In order to imitate the muscle movement of facial component, such as eye, nose, brow, mouth and face contour, feature mesh constitutes two kind of synthetic muscle. One is the contour muscle which manipulates the removal of vertical direction. Another is the linear muscle that controls the displacement of horizontal direction. Thus, the movement of muscle point can be divided into two directions, vertical and horizontal, which is controlled respectively by the contour muscle and linear muscle where the point locates. Feature mesh model ensures that facial component morphing is manipulated in virtue of the change of component contour, coinciding with psychological cognition. This makes it more adapted to human image morphing than other morphing algorithms. The result of experiment shows that the facial images which generated by this algorithm are accurate, and the expression effects are more natural.

Keywords Facial image synthesis, Feature mesh model, Expression, Image morphing, Muscle movement simulation

技术便是这种方法的核心算法之一.

这种图象变形算法的基本思想是:(1)通过改变图象上有限的控制点,使图象的其余部分在某种规则的约束下自动调整;(2)改变控制点的位置仅影响该点附近的一个小区域的图象.根据这些思想,许多研究者已经提出了一些图象变形算法,并应用于面部图象合成变形中^[1].为了准确再现人脸表情变化,

0 引言

随着视频通讯、网络、影视和公安刑侦工作的不断发展,人们对面部图象合成及表情综合技术的要求在不断提高,并期望有一种比“人脸拼象”合成方法更灵活的基于模型的面部图象合成方法,而图象变形

变形过程还应考虑人脸及其器官的几何形状和周围肌肉运动的机理。

本文提出了基于特征网格的二维面部图象变形算法.该算法首先根据人脸部件的轮廓特征来选择合适的特征点,并结合肌肉运动原理,构造了操作变形的特征网格模型和相应的肌肉模型以及变形规则;然后将网格中轮廓特征点的位移作为进行面部图象变化及表情综合的参数,以便精确自然地按照部件轮廓的变化来进行面部图象的变形。

1 人脸部件特征网格的结构

特征网格是变形的操作实体,其由特征点及操作变形的合成肌肉构成,以便通过移动特征点进行变形操作.构造特征网格时,首先在人脸部件轮廓上选定合适的特征点,然后根据特征点及面部肌肉运动原理,模拟控制变形的合成肌肉——线性肌和轮廓肌,再由它们的运动变化,得到整个部件上的坐标映射关系。

1.1 面部轮廓的特征点描述

人脸部件是指眼、嘴、鼻、眉及人脸轮廓5个面部器官,一般都由几条沿水平展开的轮廓曲线构成,如图1(a)所示的上唇、下唇及唇中缝轮廓等.这些轮廓在左右两个端点处相交.由于这些轮廓是区别人脸外貌特征的重要参数,需要对它们进行准确的刻画和跟踪,但是,如果采用全部曲线数据来描述轮廓,那么势必增加建模的冗余,因此本文通过对人为选取的几个具有代表性的轮廓点(如极值点、端点等)进行三次插值,来刻画部件轮廓的外形及其变化。

由图1可见,上唇轮廓选取的特征端点为 P_1 、 P_2 ,极值点为 P_4 、 P_5 、 P_6 ,并在 P_1 和 P_4 、 P_2 和 P_6 之

由于变形时,还需考虑部件周围区域的肌肉运动,因此要在所选取变形区域的边界上设置特征点.这种边界特征点可将上下两条轮廓上的特征点作垂直延长线,两个端点作水平延长线到嘴部变形区域图片的边界上,其交点即为边界特征点,如图1上的 $B_1 \sim B_{20}$ 。

特征点矩阵是特征点分布的数学描述,记为 M ,由特征点的坐标矢量数据组成.将图1中部件的轮廓特征点,根据其所在的轮廓按行排列,并在上下两行加入边界特征点,就可以得到嘴部特征点的一个 5×9 的矩阵描述。

$$\begin{bmatrix} B_3 & B_4 & B_5 & B_6 & B_7 & B_8 & B_9 & B_{10} & B_{11} \\ B_1 & P_1 & P_3 & P_4 & P_5 & P_6 & P_7 & P_2 & B_2 \\ B_1 & P_1 & P_{13} & P_{14} & P_{15} & P_{16} & P_{17} & P_2 & B_2 \\ B_1 & P_1 & P_8 & P_9 & P_{10} & P_{11} & P_{12} & P_2 & B_2 \\ B_{12} & B_{13} & B_{14} & B_{15} & B_{16} & B_{17} & B_{18} & B_{19} & B_{20} \end{bmatrix}$$

1.2 特征网格的拓扑结构

特征点的分布呈一个网格拓扑结构,因此在构造特征网格时,要综合考虑人脸部件几何特征及面部肌肉运动原理两方面的因素。

人脸部件的形状及表情变化首先在轮廓上反映出来,因此在面部图象变形,特别是用一般人脸部件图象变形来生成特定人脸部件图象时^[2],人们总希望变形完全按照轮廓的变化展开。

另外,考虑到眼、嘴等人脸部件的肌肉运动,基本上是由轮匝肌收缩或扩张引起的.根据轮匝肌运动原理^[3~5],其肌肉运动纹理是一组围绕着部件轮廓的曲线,它们的收缩与扩张反映着相应的面部肌肉运动,也就是说,每一个肌肉点的运动就是由该点所在肌肉的收缩扩张,带动周围肌肉协同运动的结果.这样将轮匝肌模型与特定人脸部件的轮廓特征结合起来,就对每个部件都构造了一个基于轮廓特征点的特征网格(如图2所示)。

在这个特征网格上,假设肌肉运动原理是由两种肌肉来控制面部肌肉点的运动,其中一种是控制垂直方向运动的沿轮廓分布的轮廓肌(如图2中1所示);另一种是控制水平方向运动的线性肌(见图2中2).一般面部肌肉点在平面任意方向上的运动被分解为垂直(图2中方向A)和水平(图2中方向B)两个方向的运动,分别由该点所在的轮廓肌(图2中a)和线性肌(图2中b)带来控制周围其他轮廓肌和线性肌共同运动,从而牵动部件上所有点的坐标变化。

1.3 特征网格上的肌肉模拟

由于部件特征网格上的轮廓肌和线性肌并不是具体存在的,因此为了模拟这些肌肉及其运动,首先

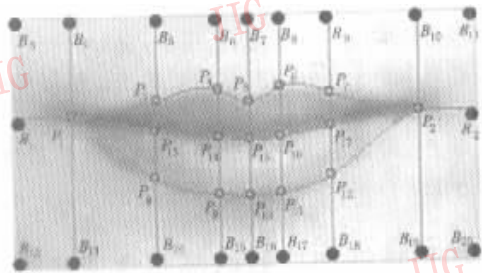
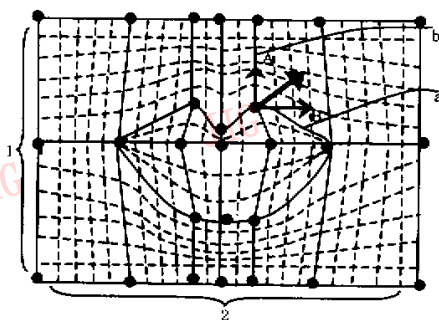


图1 嘴部特征点示意图

间均匀选取两点 P_3 、 P_7 ,这些点通过三次样条插值所得的曲线与上唇轮廓重合.下唇轮廓及中缝轮廓也用同样的原则选择特征点。



●特征点 1—轮廓肌 2—线性肌

A—垂直方向上分解的肌肉运动；a—控制A的轮廓肌；

B—水平方向上分解的肌肉运动；b—控制B的线性肌

图2 闭嘴情况特征网格示意图

要根据选定的特征点来计算得到特征轮廓肌和特征线性肌，即部件上分布了特征点的轮廓肌和线性肌（见图2中实曲线所示肌肉），然后才可根据它们的运动来模拟部件上所有轮廓肌及线性肌的运动。

1.3.1 特征轮廓肌和特征线性肌

对特征点矩阵 M_c 上的行特征点进行采样可以得到部件的特征轮廓肌。如果在 M_c 上选取一行数据，那么与该行对应的轮廓肌上的特征点与非特征点的坐标有如下关系：

$$y(x) = y_k \left(\frac{x - x_{k+1}}{x_k - x_{k+1}} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{x - x_k}{x_{k+1} - x_k} \right) + y_{k+1} \left(\frac{x - x_k}{x_{k+1} - x_k} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{x - x_{k+1}}{x_k - x_{k+1}} \right) + m_k \left(\frac{x - x_{k+1}}{x_k - x_{k+1}} \right)^2 (x - x_k) + m_{k+1} \left(\frac{x - x_k}{x_{k+1} - x_k} \right)^2 (x - x_{k+1}) \quad (1)$$

这是一个分段三次插值逼近式。其中， (x, y) 为非特征点的坐标， (x_k, y_k) 及 (x_{k+1}, y_{k+1}) 分别是该行上与该点左右相邻的两个特征点的坐标， m_k 及 m_{k+1} 则是其相邻特征点的轮廓曲率，其可通过解一个三对角矩阵得到^[6]。

对 M_c 中每一行特征是应用式(1)进行计算，即可计算出部件所有的特征轮廓肌（如图2所示的沿水平方向的实曲线，这些曲线有着较高的光滑度，可以高度逼近部件的轮廓）。

同样，若取 M_c 上某列特征点，则与该列对应的特征线性肌上的特征点与非特征点坐标有如下关系：

$$x(y) = \frac{x_{k+1} - x_k}{y_{k+1} - y_k} \times (y - y_k) \quad (2)$$

这也是一个分段线性插值逼近式。其中， (x, y) 为非特征点的坐标， (x_k, y_k) 及 (x_{k+1}, y_{k+1}) 分别是该列上

与该点上下相邻的两个特征点的坐标。应用式(2)对 M_c 中每一列进行计算，可计算出部件所有的特征线性肌（见图2上沿垂直方向延伸的实折线）。

1.3.2 轮廓肌及线性肌的运动模拟

当操作控制点使部件发生变化时，首先是特征轮廓肌及特征线性肌发生运动，从而带动没有特征点分布的肌肉曲线运动。其中控制水平方向运动的线性肌的运动模拟描述如下：

由图3可见，特征线性肌跨过了图象的每一行，即由实线所示的位置，运动到了虚线所示的位置，从而控制图象水平方向的运动。在图象任取一行（如图3中跨越控制网格的横线）上，特征线性肌分布点（虚拟的特征点） $P_1 \sim P_7$ 变化到了 $P'_1 \sim P'_7$ ，若在该行上任取一点 P ，则它变化后的位置 P' 由下式决定：

$$P' = \frac{P_{k+1}' - P_k'}{P_{k+1} - P_k} \times (P - P_k) \quad (3)$$

其中， $P_k, P'_k, P_{k+1}, P'_{k+1}$ 分别为与 P 点左右相邻的两个特征线性肌分布点运动前后的位置。

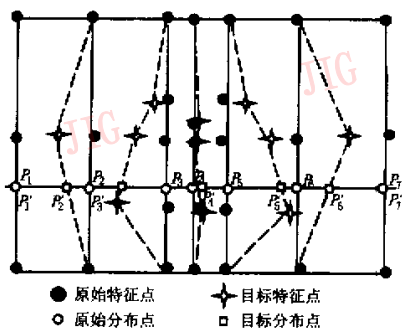


图3 线性肌运动模拟示意图

将图象中每一行数据，运用公式(3)进行计算，即可得到图象上所有点变形前后的坐标映射关系，从而也就模拟出线性肌的运动轨迹。

对于控制垂直方向运动的轮廓肌，也是采用同样的方法进行模拟，此处不再赘述。

2 基于特征网格的面部图象变形算法

该算法首先在图象上选定原始特征点，并按要求使之移动成为目标特征点，此时，部件特征网格上的特征线性肌和特征轮廓肌就发生运动，并带动整个特征网格上线性肌和轮廓肌运动。变形实际上是图象像素坐标的映射过程，由于坐标映射得到的坐标一般不是整数，因此需要通过插值来得到非整数坐标的灰度值。如果式(3)中的 P' 表示灰度， P 表示

坐标,则式(3)便为灰度映射表达式。

综上所述,本文算法将一个二维空间图象的变形转变为两个一维空间上的计算,并依次在水平和垂直两个方向上进行,其分别由线性肌和轮廓肌控制,且每个方向上的变形又是通过如下两个步骤完

成:其一是坐标映射,即图形变形,由特征网格上的肌肉运动所控制;二是图象灰度映射。可以这样理解,图象变形是图形变形与灰度映射的结合,其变形的实现过程如图 4 所示。

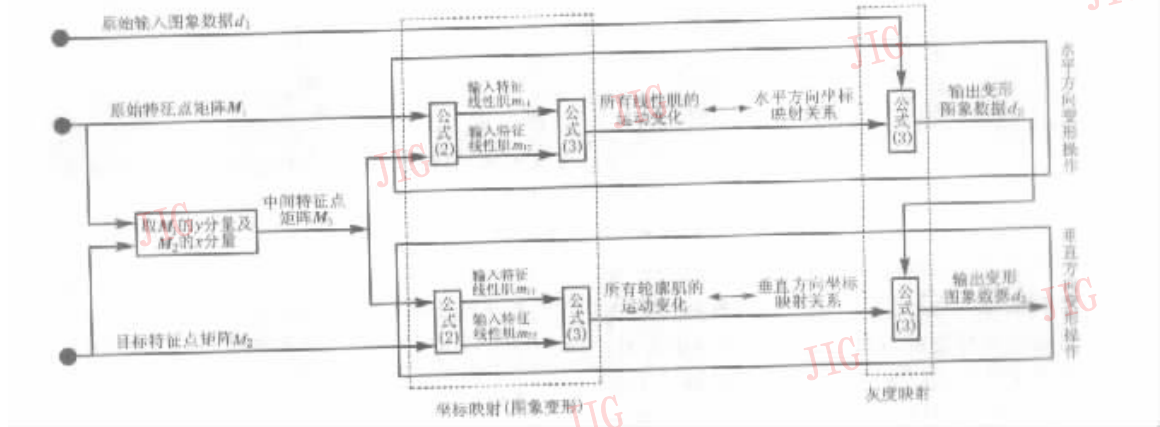


图 4 变形过程示意图

3 实验的结果和结论

实验中,本文在标准人脸部件上,首先选定合适的特征点,再根据需要,通过鼠标或键盘方便地移动特征点的位置,然后应用变形算法,使得人脸部件的形状及表情发生了变化。

如将图 5 中特征点(即图中的小方框)做适当的移动,嘴部图象就由中性表情变成笑(图 5(b))或哭(图 5(c))的表情,可以看到合成的效果十分自然。

从图 6 中可见,通过对特征点的移动,还可以变化眼睛的形状,如图 6(c)中变大的杏眼和图 6(d)中的丹凤眼。

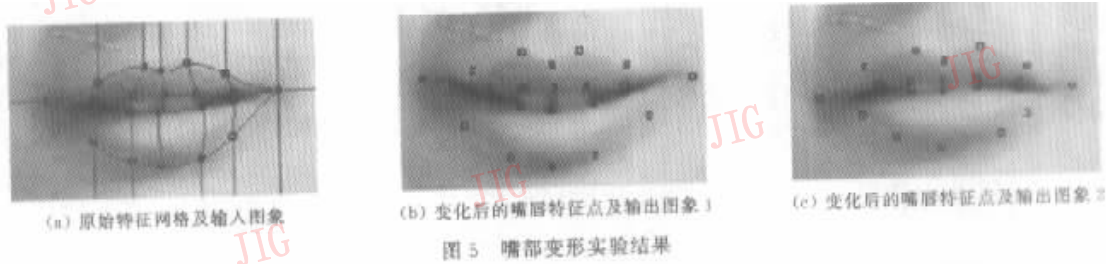


图 5 嘴部变形实验结果

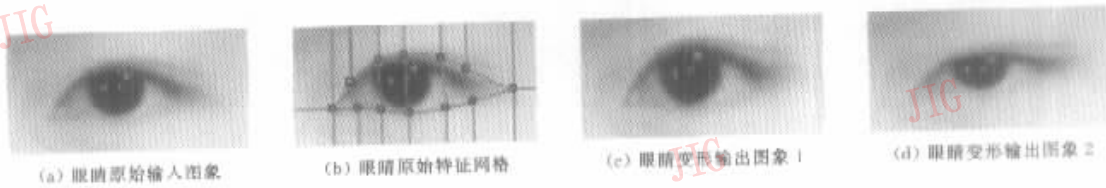


图 6 眼部变形实验结果

由图 7 可见,通过对嘴部特征点及眼部特征点的位移,可将一幅中性表情图象(图 7(a))变形为愉快表情图象(图 7(b));通过移动脸部轮廓、鼻部、眼

部、眉部等部件的特征点,还可以改变人脸部件的基本形状,得到一幅与原图人脸有较大区别的图象(图 7(c)),从而达到面部图象合成的目的.



(a) 原始输入图象

(b) 表情变化后的输出图象

(c) 脸部各部件形状变化后的输出图象

图 7 面部整体变形实验结果

这种基于特征网格的变形算法适用于面部图象生成和表情合成,即通过对一般中性面部图象的变形操作可合成各种特定的面部图象.实验结果表明,用本文算法来进行人脸生成及表情合成的效果十分自然,且重建过程也很简单.由于特征点可直接反映部件轮廓,因此变形时,能直观地进行部件形状的改变;通过特征点的微操作,还可模拟出面部任何细微的变化.其简单、精确、快速等优点使得本算法在电视会议、可视电话、虚拟主持人及公安拼象等领域有着广阔的应用前景.

参 考 文 献

- 1 汪成为,高文,王行仁. 灵境(虚拟现实)技术的理论、实现及应用[M]. 北京:清华大学出版社,1996:285~311.
- 2 晏洁. 从一般人脸模型到特定人脸模型的修改[J]. 计算机工程与科学,1997,19(2):21~24.
- 3 Frederic I Parke. Parameterized models for facial animation[J]. IEEE Computer Graphics and Application, 1982,2(9):61~68.

- 4 Waters K. A muscle model for animating three-dimensional facial expression[J]. Computer Graphics, 1987,21(4):17~24.
- 5 虞露,虞非. 脸部表情综合中的肌肉运动模型[J]. 浙江工业大学学报,1999,27(1):11~15.
- 6 奥特加 J M. 数值分析[M]. 北京:高等教育出版社,1983.

张静波 1973 年生,1992 年毕业于华中理工大学电子与信息工程系,1998 年进入华中科技大学(原华中理工大学)攻读模式识别与智能系统硕士学位.主要研究方向为图象处理算法、人脸建模与合成、计算机视觉及模式识别等.

张桂林 1944 年生,1967 年毕业于北京邮电学院无线电通讯广播专业,现任华中科技大学图象识别与人工智能研究所教授、博士生导师.主要研究方向有自动目标识别、人体生物统计特征识别、图象处理算法与系统性能评估等.