

文章编号: 1000-582X(2011)09-039-07

基于形状控制函数和自适应细分的皱纹建模方法

李 丽^{a,b}, 刘 飞^{a,b}, 彭超华^a, 王名亮^a

(重庆大学 a. 机械传动国家重点实验室; b. 管理科学与工程博士后流动站, 重庆 400044)

摘 要: 逼真的皱纹模型能极大地提高三维人脸建模的相似度。为获得精确位置和形状的三维皱纹曲线, 运用基于特征的图像匹配方法使二维图像和三维模型匹配对齐。针对皱纹 3 个方向视图的不同形状, 分别提出 3 个形状控制函数, 即皱纹横截面形状控制函数、深度衰减函数和宽度衰减函数。横截面形状控制函数能真实自然地表达皱纹截面的凹形纹路和两边圆形凸起, 深度和宽度衰减函数分别控制皱纹深度方向和宽度方向的衰减程度。用户只需定义几个直观的参数便能生成各种形状的皱纹模型。此外, 提出一种皱纹影响区域的定义方法和网格自适应细分技术, 不仅保证了皱纹建模的效果, 而且能提高建模效率。通过实验结果与照片的对比, 表明本文方法能生成各种真实自然的皱纹, 对人脸建模的相似度有很大提高。

关键词: 皱纹; 3D 人脸建模; 形状控制函数; 衰减; 图像匹配; 自适应细分

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

Wrinkle modeling based on shape control functions and adaptive subdivision

LI Li^{a,b}, LIU Fei^{a,b}, PENG Chao-hua^a, WANG Ming-liang^a

(a. The State Key Laboratory of Mechanical Transmission; b. Post-doctoral Study Center of Management Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China)

Abstract: Realistic wrinkles are an extremely important contribution for enhancing the realism of three dimensional (3D) face model. For different shapes of the wrinkle in three views, this paper proposes three shape control functions for each view, namely, cross-sectional shape control function (CSCF), depth attenuation function (DAF) and width attenuation function (WAF). CSCF is used to realistically and naturally express the furrows and bulges of wrinkles. Depth attenuation function and width attenuation function are applied to control the attenuation variations of the depth and width. Users can create various wrinkles just defining several intuitive parameters. Meanwhile, an image matching technique based on feature is employed to obtain three dimensional wrinkle lines. And a simple adaptive subdivision approach is proposed in the predefined influence region to adjust the resolution around the wrinkle mesh for better results and enhance the efficiency of wrinkle modeling simultaneously. Comparing experiment results with the corresponding image demonstrates that our method can generate realistic and natural wrinkles and can greatly improve the similarity of face model.

Key words: wrinkle; three dimensional face model; shape control function; attenuation; image matching; adaptive subdivision

收稿日期: 2011-04-09

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(51035001); 重庆市自然科学基金资助项目(CSTC2010BB9212); 中央高校基本科研业务费资助项目(CDJXS10111134)

作者简介: 李丽(1982-), 女, 重庆大学博士后, 主要从事制造系统工程和网络化协同设计与制造等研究。

刘飞(联系人), 男, 重庆大学教授, 博士生导师, 国家级突出贡献专家, (E-mail) fliu@cqu.edu.cn。

真实人物建模一直是计算机仿真、计算机图形学及虚拟现实等领域的研究热点,其广泛应用于人物动画、电影、广告、游戏、个性化工艺品设计制造、外科手术仿真及认知科学等领域,对其逼真程度的要求越来越高^[1-2]。而真实人脸三维建模不仅需要人脸五官特征的逼真,脸部细节特征如皱纹建模的真实性也至关重要。皱纹不仅是皮肤外在显露的主要特征之一,同时也能反映人物的年龄、表情和内心世界。因此,建立真实的皱纹模型在真实感虚拟人物建模中起着重要作用。然而,由于人脸生理结构的复杂性及皱纹的微细特点,模拟真实、自然的皱纹仍是一个亟待解决的关键问题。

目前,主要存在3种主流皱纹生成方法,即纹理映射方法^[3-4]、物理方法^[5-7]和几何方法^[8-14]。纹理映射方法能生成令人满意的虚拟视觉效果,但是皮肤几何仍未变形。因此,所生成的模型也不能用于生产加工,如不能用于个性化真人工艺品的设计和制造。物理方法是根据皮肤和肌肉本身的生理构成和特性,分析肌肉运动与产生的脸部表情和皮肤变形关系,通过动力学模型模拟肌肉的运动来仿真各种皱纹,主要侧重于面部表情纹的模拟。Zhang等提出基于解剖学的多步变形的办法,建立了一种全自动的个性化人脸模型和动画系统^[5-6],该模型是基于底层的具有标准动画功能的原型模型,改变了模型的几何形状,所产生的表情纹效果很大程度上取决于原型模型的效果,并仍局限在面部表情纹的构建。几何方法是根据皮肤和皱纹的几何结构生成皱纹模型,通常方法是构建一个可调节皱纹幅度的形状函数或利用控制曲线驱动3D模型网格变形,从而产生各种皱纹。Bando等^[8]提出用形状控制函数生成皱纹,但该方法生成的每条皱纹是同一深度和宽度,没有考虑皱纹深度和宽度的衰减性。Li等在文献^[9]中改进了Bando等的控制函数,但仍未考虑宽度方向的衰减。Venkataraman等提出一种利用曲率驱动的动力学方法,通过最小化约束伸展、弯曲和自相交的能量方程来生成各种皱纹形状^[10],该方法没有考虑皱纹的衰减性。Zhang等在文献^[11]中提出基于解剖学的皱纹生成方法,该方法考虑了皱纹的衰减性,并在网格变形前用自适应细分方法进行网格细化,得到效果更好的皱纹。笔者也用一种几何方法,与已有的方法不同之处是不但考虑了皱纹的横截面形状,同时考虑了另外两个垂直方向的衰减性,能更加真实地模拟皱纹的形状。同时,为得到好的皱纹效果,介绍了一种皱纹影响区的定义和一种自适应细分方法。

1 皱纹形成原因及特性

弄清皱纹形成原因、分类和特性,是真实皱纹建模和仿真的前提条件。皱纹是皮肤软组织、底层结构的运动和时间累积效果以及皮肤组织变化和脸部体积减少的综合作用^[15]。而因皮肤体积本身的不可压缩性,当皮肤表面伸缩时,多余的皮肤形成凸起,从而形成了皱纹。皱纹可以分为以下3类:1)表浅皱纹,表浅皱纹指覆盖整个皮肤表面的细小褶皱。2)明显皱纹,包括表情纹和年龄纹,年龄纹是在自然老化过程中逐渐形成的,年龄越大,年龄纹越深、越明显。表情纹出现在所有人脸上,并且随着时间的推移变得永久可见,它是理解面部表情的一个非常重要的因素。通常讲的皱纹都指明显皱纹,其具有如下属性:

1)每条皱纹中间有一明显的凹形纹路,而两边为圆形凸起,凹形纹路决定了皱纹的位置。

2)皱纹具有衰减性,即每条皱纹不是同一深度和宽度,具有向端点衰减的特性。

3)皱纹具有多样性,每条皱纹都有不同的形状和衰减特性,有的中间比较深、比较宽,两头逐渐变浅直至消失,如额头上的皱纹;有的皱纹一端比较深、比较宽,逐渐向另一端衰减,直至消失,如眼角的鱼尾纹。

2 皱纹建模方法

本文皱纹建模步骤如图1所示。皱纹线的提取可采用先进的边缘检测算法^[16]自动抽取皱纹线^[17]或者手动绘制皱纹线,通过基于特征的图像匹配使二维皱纹线与导入的3D模型对齐,再映射到3D曲面生成3D皱纹线。再定义皱纹影响区,在影响区进行网格自适应细分,最后利用笔者提出的3个皱纹形状控制函数对网格进行变形,从而生成各种形状的皱纹。

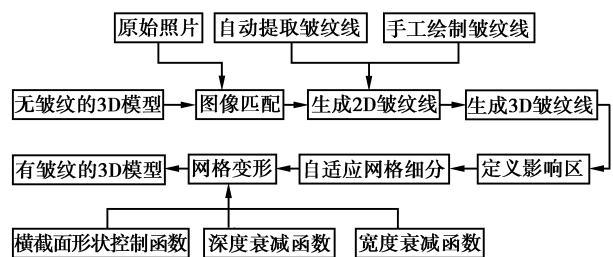


图1 皱纹建模流程图

2.1 皱纹形状控制函数

每个皱纹曲面,都有3个正交视图方向,即皱纹

横截面方向视图、深度变化方向视图及宽度变化方向视图,笔者针对皱纹3个正交视图方向的形状变化特征,分别提出3个形状控制函数来驱动三维曲面3个方向的网格变形,从而生成皱纹,下文分别对3个函数进行详细描述。

2.1.1 横截面形状控制函数(CSCF)

针对皱纹属性1),提出皱纹横截面形状控制函数 $S(l)$ (Cross-section shape control function, CSCF),用来准确描述皱纹的凹形纹路和凸起形状如图2(a)和(b)所示,函数表达式如式(1)所示。

$$S(l) = D(l') \cdot \left[\left(\frac{2l}{W(l')} \right)^2 - 1 \right] \cdot \exp \left[-\alpha \cdot \left(\frac{2l}{W(l')} \right)^2 \right], \quad (1)$$

式中: l 为纹理空间的点 P 到皱纹曲线的垂直距离,如图2(a)所示,虚线圆内为其放大图; L 为皱纹的整个长度; l' 为皱纹线上点到皱纹中点的长度,如图2(a)所示, $l' \in [-L/2, L/2]$; $D(l')$ 为深度衰减函数,表示距离皱纹中点 l' 处的皱纹深度值; $W(l')$ 为宽度衰减函数,表示距离皱纹中点 l' 处的皱纹宽度值, $D(l')$ 和 $W(l')$ 的表达式将在下节详细叙述; α 是一经验常数, $\alpha \in (0, 1)$,其大小与皱纹的形成部位和对象的年龄有关。年龄越大, α 取值越大;皮肤伸缩性较大的部位, α 取值较大。

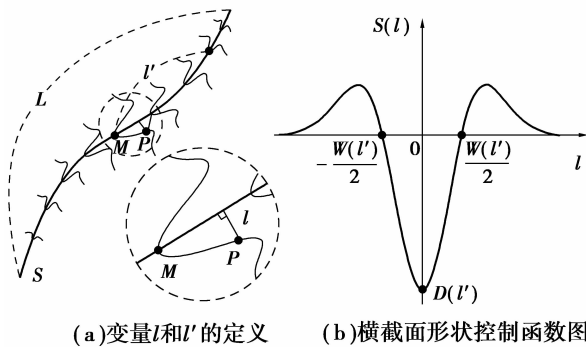


图2 皱纹横截面形状示意图

因皮肤材质自身的不可压缩性,因此,皱纹横截面形状控制函数 $S(l)$ 必须满足如下的约束^[8],即函数广义积分等于零:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} S(l) dl = 0. \quad (2)$$

同时,函数 $S(l)$ 必须满足当 $l = \pm W(l')/2$ 时, $S(l) = 0$,如图2(b)所示。图3显示了各个参数对皱纹横截面形状的影响。如:线1表示 $D(l') = 0.1 \text{ mm}, W(l') = 0.2 \text{ mm}, \alpha = 0.6$,线2与线1 α 和 $W(l')$ 值相同,深度值 $D(l') = 0.3 \text{ mm}$,可看出深度

$D(l')$ 对皱纹横截面的影响。同理,由线3(参数为 $D(l') = 0.2 \text{ mm}, W(l') = 0.3 \text{ mm}, \alpha = 0.6$)和线2可看出 $W(l')$ 对皱纹横截面形状的影响;线3和线4(参数为 $D(l') = 0.2 \text{ mm}, W(l') = 0.3 \text{ mm}, \alpha = 0.4$)可看出 α 对皱纹横截面形状的影响。

公式(1)可以建立半边凸起的情况,如法令纹,此时,系统设置了3种选择:1)两边,表示两边都有凸起,如额头皱纹;2)线左,表示在皱纹线左边有凸起, $S(l)$ 取负值,如左边法令纹;3)线右,表示皱纹线右边有凸起, $S(l)$ 取正值,如右边法令纹。

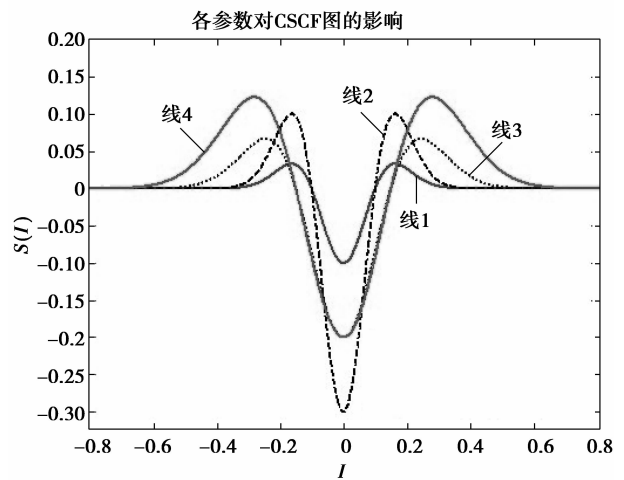


图3 各参数对皱纹横截面形状的影响

2.1.2 深度衰减函数(DAF)

针对皱纹属性2),笔者提出2个皱纹幅度衰减函数,分别控制皱纹深度和宽度方向的衰减,如式(3)和(5),函数图如图4所示。

$$D(l') = \begin{cases} d_0 \cdot \cos\left(\pi \cdot \frac{l' - \eta}{L + 2\eta}\right), & -\frac{L}{2} \leq l' < \eta; \\ d_0, & \eta \leq l' \leq \xi, \eta = -\frac{L}{2} \text{ 且 } \xi = \frac{L}{2}; \\ d_0 \cdot \cos\left(\pi \cdot \frac{l' - \xi}{L + 2\xi}\right), & \xi < l' \leq \frac{L}{2}. \end{cases} \quad (3)$$

式中 d_0 指用户定义的皱纹深度初始值,是每条皱纹深度的最大值。

η 和 ξ 表示皱纹的衰减比例, $\eta \leq \xi$ 且 $\eta, \xi, l' \in [-L/2, L/2]$ 。在皱纹实际建模中,用户很难确定每条皱纹整个长度的具体数值大小,因此,很难定义 η 和 ξ 的具体值。但是,用户可以很方便地估计皱纹开始衰减的百分比。如图4所示,用户很难确定拐点 M 和 N 的具体数值大小,但容易估计 OM 和 ON 分别占 OP 长度的百分比,笔者用 A 和 B 分别表示2个拐点 M 和 N 处占整个皱纹长度 OP 的百分比。

因此,用户在生成皱纹时,只需定义直观的 A 值和 B 值。则皱纹生成时,系统用式(4)自动转换成 η 和 ξ 值:

$$\begin{cases} \eta = -\frac{L}{2} + A\% \cdot L, \\ \xi = -\frac{L}{2} + B\% \cdot L, \end{cases} \quad A, B \in [0, 100] \text{ 且 } A \leq B. \quad (4)$$

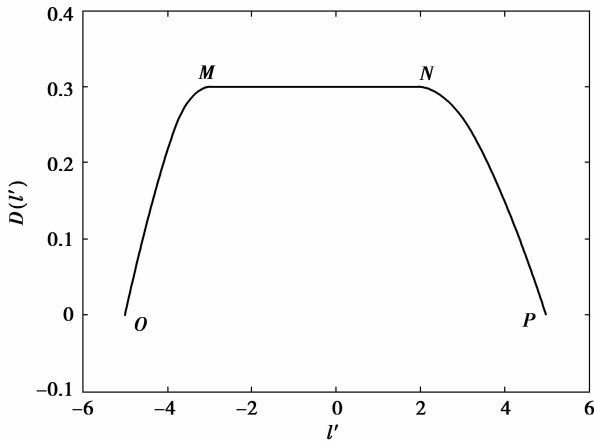


图4 皱纹深度方向衰减图

由式(3)、(4)可见,定义不同的 A 和 B 值,可生成不同衰减程度的皱纹。如当 $A=B=0$,表示皱纹从 O 端开始,逐渐衰减至 P 端处消失;当 $A=0, B \neq 0/100$,皱纹 ON 段为常值 d_0 ,再逐渐衰减至 P 端,如图 9(d)模型左眼处的鱼尾纹。当 $A=B=100$,表示从 O 端皱纹逐渐变深,直至 P 端最深处,如图 9(d)模型右眼的鱼尾纹;当 $A \neq 0/100$ 且 $B=100$ 时,表示皱纹逐渐加深为一常值 d_0 。当 $A=B \neq 0/100$,意味着在 MN 段,皱纹深度等于最大值 d_0 ,在 OM 和 NP 段,按照图 4 所示衰减。在两端即 $l' = \pm L/2$ 时,皱纹深度值衰减为零,皱纹消失。针对皱纹的不同衰减情况,用户只需直观设定不同的 A, B 值。图 4 为 $A=20, B=70, d_0=0.3$ mm 时的皱纹深度衰减图。可见, $D(l')$ 函数图在 $l' = \eta$ 和 $l' = \xi$ 时,函数为 C^0 连续。

2.1.3 宽度衰减函数(WAF)

皱纹宽度衰减特性可以模仿皱纹的深度衰减函数,如式(5)所示。由皱纹形成原理和性质,式(3)和(5)满足皱纹深度和宽度同时产生衰减的约束。

$$W(l') = \begin{cases} \omega_0 \cdot \cos\left(\pi \cdot \frac{l' - \eta}{L + 2\eta}\right), & -\frac{L}{2} \leq l' < \eta; \\ \omega_0, & \eta \leq l' \leq \xi, \eta = -\frac{L}{2}, \xi = \frac{L}{2}; \\ \omega_0 \cdot \cos\left(\pi \cdot \frac{l' - \xi}{L + 2\xi}\right), & \xi < l' \leq \frac{L}{2}. \end{cases} \quad (5)$$

式中 ω_0 指用户定义的皱纹宽度初始值,是每条皱纹宽度的最大值。 η 和 ξ 定义与式(4)相同。同样,用用户定义的 A, B 值计算 η 和 ξ 。

综上所述,笔者提出的 3 个皱纹形状控制函数有如下优点:1)横截面形状控制函数 $S(l)$ 能准确表达皱纹中间的凹形纹路和两边的圆形凸起,并能通过深度 $D(l')$ 、宽度 $W(l')$ 和 α 值控制皱纹各个方向截面的形状;2)用户只需定义直观的 A, B 值,就能利用深度和宽度衰减控制函数实现各种皱纹的衰减变化;3)函数 $S(l)$ 满足皮肤材质自身的不可压缩性,即其积分为零;4)可根据皱纹实际情况,建立两边或任何一边凸起的皱纹形状。

2.2 三维皱纹生成

在三维曲面上准确定位各种皱纹,最理想的办法就是从照片提取皱纹线,或者手动绘制皱纹线,笔者利用后者,所获得的皱纹线是二维平面曲线,如何准确映射到三维曲面,又是一个难点,利用下面步骤解决。

2.2.1 图像匹配

图像匹配的目的在于使三维人脸模型与相应的二维照片图像的特征点一一匹配,即三维模型必须通过缩放、旋转、移动步骤使之与照片的大小、角度、位置对齐,笔者在照片和三维模型上分别定义 13 个脸部明显的特征点,如图 5(a)、(b)所示,要实现特征匹配,则照片与模型必须满足最小方差约束条件:

$$\min E(\mathbf{S}, \mathbf{R}, \mathbf{T}) = \sum_{i=1}^N (\mathbf{P}_{li} - \mathbf{P}_{Mi}). \quad (6)$$

三维模型变化为

$$\mathbf{P}_{Mi} = \begin{bmatrix} x_{Mi} \\ y_{Mi} \\ z_{Mi} \end{bmatrix} = \mathbf{S} \cdot \mathbf{R} \begin{bmatrix} x_{M0} \\ y_{M0} \\ z_{M0} \end{bmatrix} + \mathbf{T}, \quad (7)$$

式中:脚标 Mi, li 和 $M0$ 分别表示三维模型特征点 i 、照片特征点 i 和模型初始位置; \mathbf{S} 为比例因子; \mathbf{R} 为旋转矩阵; \mathbf{T} 为平移向量。要满足式(6)的目标约束条件,就要解式(7)中的 \mathbf{S}, \mathbf{R} 和 \mathbf{T} 。笔者采用普鲁克分析(Procrustes Analysis)^[18] 求解 $\mathbf{S}, \mathbf{R}, \mathbf{T}$ 。特征匹配步骤求解如下:1)计算 $\bar{\mathbf{P}}_1, \bar{\mathbf{P}}_M, \bar{\mathbf{P}}_1 = (\bar{x}_1, \bar{y}_1) =$

$$\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{li}, \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_{li} \right), \bar{\mathbf{P}}_M = (\bar{x}_M, \bar{y}_M) =$$

$$\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{Mi}, \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_{Mi} \right);$$

2) 计算 $\mathbf{P}_{10} = [\mathbf{P}_1 - \bar{\mathbf{P}}_1], \mathbf{P}_{M0} = [\mathbf{P}_M - \bar{\mathbf{P}}_M];$

3) 计算 \mathbf{P}_{12} 和 $\mathbf{P}_{M2}, \mathbf{P}_{12} =$

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n [(x_{li} - \bar{x}_1)^2 + (y_{li} - \bar{y}_1)^2]},$$

$$P_{M2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n [(x_{Mi} - \bar{x}_M)^2 + (y_{Mi} - \bar{y}_M)^2]}$$

4) 归一化, $P_{10} = P_{10}/P_{12}, P_{M0} = P_{M0}/P_{M2}$;

5) 令 $A = P_{10}^T P_{M0}$, 对 A 进行奇异值分解, 求得 U, D 和 V , 以便达到照片和模型特征点的最大关联, 则可求得旋转矩阵 $R = VUT, S = \sum \text{diagonal}(D) \times \|P_{10}\|_2 / \|P_M\|_2, T = \bar{P}_{10} - (S)\bar{P}_{M0}(R)$;

6) 最后利用 $P'_M = S \cdot P_M \cdot R + T$, 使整个模型与照片匹配对齐。如图 5(c) 为匹配后的结果, 照片透明度 t 为 0.5, ($t \in [0, 1]$)。

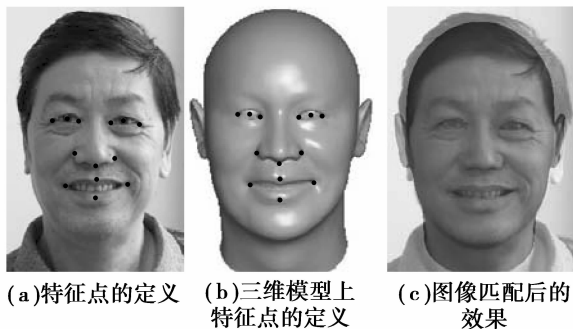


图 5 图像匹配

2.2.2 生成三维皱纹线

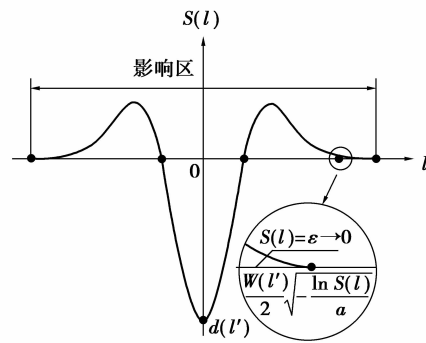
直接在三维模型上绘制三维曲线作为皱纹线, 很难控制皱纹的确切位置, 因此笔者首先在照片上手绘生成二维皱纹线。经特征对齐后, 照片与三维模型在大小、角度和位置上是匹配的, 再采用垂直投影算法生成三维皱纹线, 结果如图 9(c) 所示。

2.2.3 影响区的定义

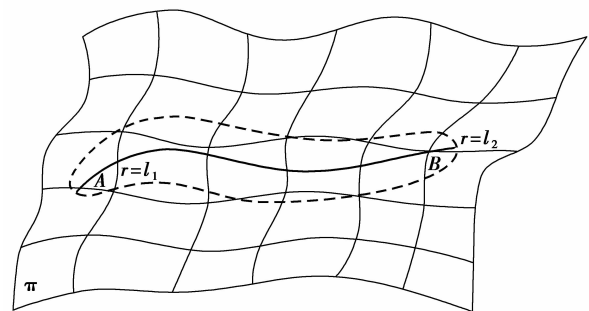
人脸曲面的网格通常是曲率变化小的部位网格稀疏, 曲率变化大的部位网格较密。但在曲率变化小的部位, 如额头需要建立皱纹时, 由于网格稀疏而无法生成好的皱纹效果, 而对整个三维模型细分, 势必增加计算量。因此, 笔者定义了皱纹影响区, 在皱纹生成时, 只在皱纹影响区进行细分, 不但可以保证好的变形效果, 还能大大提高计算效率。假设皱纹横截面控制函数 $S(l)$ 等于一趋近于零的极小值 ϵ (如假设 $\epsilon = 0.001$), 由方程 (1) 可计算出 l 的表达式, 如式 (8)。为了降低 ϵ 取值不是很小的影响, 在 l 表达式上加上 δ (如 $\delta = w_0/2$), 即用式 (9) 代替式 (8), 求出 l_i 。如图 6(a) 所示。在皱纹线的两端点, 以 l_i 为半径为界, 则可求出皱纹影响区为: 以 l_i 和两端圆弧为界的区域, 如图 6(b) 虚线所示区域。

$$l = \pm \frac{W(l')}{2} \cdot \sqrt{-\frac{\ln \epsilon}{\alpha}}, \quad (8)$$

$$r = l_i = \pm \frac{W(l')}{2} \cdot \sqrt{-\frac{\ln \epsilon}{\alpha}} \pm \delta. \quad (9)$$



(a) 影响区定义的剖视图



(b) 所定义的一个皱纹影响区俯视图

图 6 皱纹影响区的定义

2.2.4 自适应细分

网格变形后为了生成好的皱纹效果, 笔者提出一种简单的网格细分方法。如图 7(a) 所示, 以三角形重心为顶点, 分别向各边中点连线进行网格细分, 如三角形 ABC , 细分一次为 3 个多边形 $AGOF$ 、 $BEOG$ 和 $CFOE$ 如图 7(b) 所示; 四边形细分为相应中点连线, 如四边形 $ABCD$ 细分为 $AHOF$ 、 $BGOH$ 、 $CEOG$ 和 $DFOE$ 4 个四边形, 如图 7(e) 所示。为了避免产生裂缝和保证细分边界过渡均匀, 采取如下措施: 当影响区域超过多边形重心时, 该多边形仍按照上述细分方法, 如图 7(b) 和 (e) 所示细分; 若影响区域边界未达到重心点时, 只从重心向多边形的对边顶点连线进行细分, 如图 7(c) 所示, 三角形 ABC 细分为 ABE 和 ACE 2 个三角形; 四边形 $ABCD$ 细分为 $ABGO$ 、 $CEOG$ 和 $DAOE$ 3 个四边形, 如图 7(f) 所示。图 8 为额头上一条皱纹影响区域细分一次的效果。

2.2.5 网格变形

最后, 根据 3 个形状控制函数, 在皱纹影响区域细分并重新定位各个顶点便生成各种皱纹。在演示系统中, 同时执行三维皱纹线的生成 (二维皱纹线映射到三维曲面)、影响区的定义、网格细分及网格变形步骤。

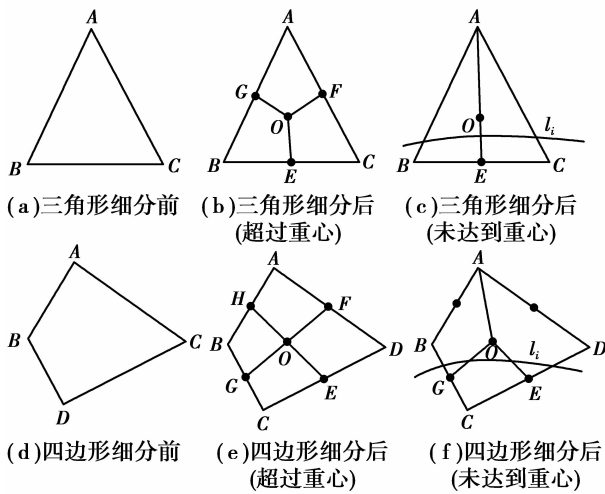


图7 细分方法

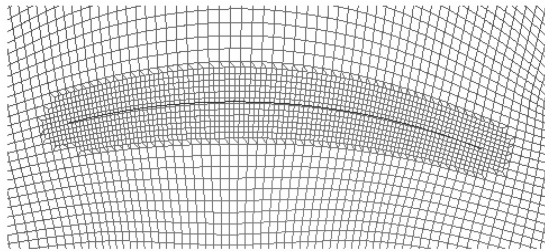


图8 额头一皱纹细分一次结果

3 实验结果

演示系统是用 Visual C++ 和 OpenGL 编程实现的。实验步骤如图 1 所示,图 9(a)、(b)分别是导入的原始照片和三维模型,特征匹配后结果如图 5(c)所示,图 9(c)是生成的皱纹线,(d)是生成皱纹后的人脸模型。其中额头皱纹参数为: $d_0=0.15$, $\omega_0=0.15$, $\alpha=0.5$, $A=30$, $B=70$ 。右眼角鱼尾纹(图 9(d)模型左边眼角)参数为: $d_0=0.2$, $\omega_0=0.15$, $\alpha=0.5$, $A=30$, $B=0$ 。由图 9(a)、(b)、(d)可见,(d)模型添加了皱纹,相似度明显比(b)有了很大提高。可见,本文方法能生成比较理想的皱纹模型。

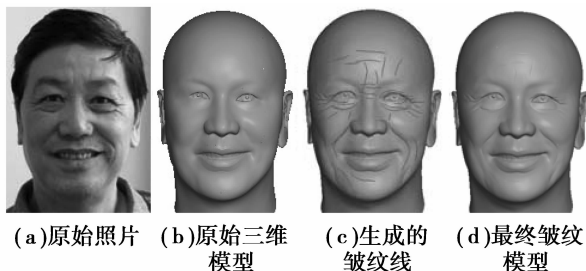


图9 皱纹生成过程

由上述案例可见,通过设置不同参数,可以生成各种皱纹。控制幅度衰减的 A 、 B 值,系统通常有默认值 $A=20$, $B=80$,对大部分皱纹形状,默认值大致可满足,当建立眼角鱼尾纹时, A 、 B 值的重新设定就显得比较重要。因此,在建立某一局部区域皱纹时,用户往往只需输入皱纹深度和宽度初始值, α 、 A 和 B 值不变。在建立眼角鱼尾纹、嘴角法令纹时,皱纹凸起只在凹形纹路的一边时,只需选中在“线左”或“线右”便可实现。另外,皱纹一般具有时间维特性,即一般的年轻人法令纹在微笑时才出现,而建立的皱纹方法是严格按照对象的照片生成的,因照片捕获的是人物的某个时刻,因此本文皱纹生成方法忽略了皱纹的时间维特性。

4 总结与展望

笔者提出一种基于形状控制函数和自适应细分的皱纹建模方法,建模结果与原始照片对比,真实自然的皱纹模型可提高人脸模型的相似度,该皱纹建模方法具有如下优势:

1)文中所提的 3 个皱纹形状控制函数能分别控制 3 个方向视图,即可控制皱纹横截面形状、皱纹深度方向和宽度方向的衰减,用户只需设置深度初始值、宽度初始值和衰减的百分比 A 值和 B 值 4 个直观的参数值,就可生成各种形状皱纹,满足皱纹形状的多样性。

2)通过定义皱纹变形影响区,大大减少整个模型自适应细分的工作量,提高生成皱纹的效率。

3)自适应细分方法简单可行,在细分边缘处分两种情况考虑,可避免裂缝产生。

但是,本文方法还存在一些不足之处,如皱纹建模时,对衰减程度变化的度量,是通过用户估算定义 A 值和 B 值,估算有一定的误差,有待进一步改进;文中尚未考虑两条皱纹相交时的情况;如何减少特征匹配步骤的误差也是下一步的研究重点。

参考文献:

- [1] ABATE A F, NAPPI M, RICCIO D, et al. 2D and 3D face recognition: a survey [J]. Pattern Recognition Letters, 2007, 28(14):1885-1906.
- [2] 范小九,彭强,陈 J X. 利用主动外观模型进行 3D 人脸的快速自动建模[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2009, 21(5):668-673.
FAN XIAO-JIU, PENG QIANG, CHEN JIM X. Rapid and automatic 3D face modeling using active appearance

- models[J]. *Journal of Computer-aided Design and Computer Graphics*, 2009, 21(5): 668-673.
- [3] 何青, 仝明磊, 刘允才. 用卷积曲面生成脸部皱纹的方法[J]. *计算机应用*, 2006, 26(6): 1365-1367.
HE QING, TONG MING-LEI, LIU YUN-CAI. Facial wrinkle simulation using convolution surface [J]. *Computer Applications*, 2006, 26(6): 1365-1367.
- [4] ZHANG Q S, LIU Z, GUO G, et al. Geometry-driven photorealistic facial expression synthesis [J]. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2006, 12(1): 48-60.
- [5] ZHANG Y, SIM T, TAN C L, et al. Anatomy-based face reconstruction for animation using multi-layer deformation [J]. *Journal of Visual Languages and Computing*, 2006, 17(2): 126-160.
- [6] ZHANG Y. Muscle-driven modeling of wrinkles for 3d facial expressions [C] // 2008 IEEE International Conference on Multimedia and Expo, June 23-26, 2008, Hannover, Germany. [S. l.]: IEEE, 2008: 957-960.
- [7] 徐莹, 何本阳. 基于肌肉模型的人脸皮肤皱纹模拟[J]. *陕西理工学院学报*, 2008, 24(2): 51-54.
XU YING, HE BEN-YANG. Facial skin wrinkle simulation based on muscle model [J]. *Journal of Shaxi University of Technology*, 2008, 24(2): 51-54.
- [8] BANDO Y, KURATATE T, NISHITA T. A simple method for modeling wrinkles on human skin [C] // 10th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications 2002, October 9-11, 2002, Tsinghua University, Beijing, China. [S. l.]: IEEE, 2002: 161-175.
- [9] LI Y B, XIAO H, ZHANG S Y. The wrinkle generation method for facial reconstruction based on extraction of partition wrinkle line features and fractal interpolation [C] // 4th International Conference on Image and Graphics, August 22-24, 2007, Chengdu, China. [S. l.]: IEEE, [2007-09-04]: 933-937.
- [10] VENKATARAMAN K, LODHA S, RAGHAVAN R. A kinematic-variational model for animating skin with wrinkles [J]. *Computers and Graphics*, 2005, 29(5): 756-770.
- [11] ZHANG Y, SIM T. Realistic and efficient wrinkle simulation using an anatomy-based face model with adaptive refinement [C] // *Computer Graphics International 2005*, June 22-24, 2005, Stony Brook, NY, USA. [S. l.]: IEEE, [2005-08-29]: 3-10.
- [12] WANG Y, WANG C C L, YUEN M M. Fast energy-based surface wrinkle modeling [J]. *Computers and Graphics*, 2006, 30(1): 111-125.
- [13] CUTLER L D, GERSHBEIN R, WANG X H, et al. An art-directed wrinkle system for CG character clothing and skin [J]. *Graphical Models*, 2007, 69(5/6): 219-230.
- [14] LI M, YIN B C, KONG D H, et al. Modeling expressive wrinkles of face for animation [C] // 4th International Conference on Image and Graphics 2007, August 22-24, 2007, Chengdu, China. [S. l.]: IEEE, [2007-09-04]: 874-879.
- [15] MACKIEWICZ Z, RIMKEVICIUS A. Skin aging [J]. *Gerontologija*, 2008, 9(2): 103-108.
- [16] 赵德春, 彭承琳, 陈园园, 等. 用形态学改进医学图像边缘检测算法 [J]. *重庆大学学报*, 2010, 33(2): 123-126.
ZHAO DE-CHUN, PENG CHENG-LIN, CHEN YUAN-YUAN, et al. An improved morphological edge detection algorithm of medical image [J]. *Journal of Chongqing University*, 2010, 33(2): 123-126.
- [17] LI L, LIU F, LI C B, et al. Realistic wrinkle generation for 3D face modeling based on automatically extracted curves and improved shape control functions [J]. *Computers and Graphics*, 2011, 35(1): 175-184.
- [18] ANSARI A N, ABDEL-MOTTALEB M. Automatic facial feature extraction and 3D face modeling using two orthogonal views with application to 3D face recognition [J]. *Pattern Recognition*, 2005, 38(12): 2549-2563.

(编辑 张 苹)