

一种曲线松弛约束逼近的三维人脸图像建模算法

宋广元 宁玉富

(德州学院计算机系 德州 253023)

摘要 针对人脸特征表情变化极为复杂、传统的匹配方法不能很好刻画细微表情变化、三维人脸建模的准确度不强的问题,提出一种基于小区域点曲线逼近的三维人脸建模算法。对人脸的三维区域表情变化较为丰富的区域进行小区域划分,运用特征点曲线松弛约束逼近技术,模拟较为复杂的人脸曲线轮廓,避免了传统算法中用直线进行轮廓刻画带来的刻画不准、特征模拟失真的弊端。实验表明,该方法能很好地恢复三维人脸表情变化较为丰富区域的特征信息,使三维人脸重建更加准确,特征刻画准确度更高。

关键词 人脸重建,小区域,点曲线逼近

中图分类号 TP391.9 **文献标识码** A

Face Reconstruction Algorithm Based on Small Curve Relaxation Constraint Approximation

SONG Guang-yuan NING Yu-fu

(Department of Computer and Science, Dezhou University, Dezhou 253023, China)

Abstract Aiming at the problem that face feature expression change is very complex, and the traditional modeling methods can't good depict subtle expression changes, and the realistic face modeling is not strong, this paper proposed 3d face modeling algorithm based on a small area the approaching a point curve. The three dimensional area face expression changes are relatively rich. This paper made small region partition of the area used points approximation technology to simulate more complex curve profile, to avoid the abuses of depict and characteristics simulation distortion when using traditional algorithm based on the features of the straight line. This method can restore good 3d face expressions change relatively rich area feature information, making 3d face modeling more realistic, and features depict higher accuracy.

Keywords Face modeling, Small area, Point curve approach

1 引言

视觉是人类观察世界、认知世界的重要功能手段,人类从外界获得的信息约有 80%来自视觉系统,这既说明视觉信息量巨大,也说明人类对视觉信息有较高的利用率。人类视觉过程可看作是一个复杂的从感觉到知觉(由 2-D 图像认知 3-D 世界的内容和含义)的过程^[1-3]。计算机的问世使人类的科学与技术取得了长足的进步,促使了一批新兴学科的诞生。人们用摄像机获取场景中物体的图像并将其转换为数字信号,用计算机实现信息处理,试图建立以计算机为中心的视觉系统,以在某种程度上或某种环境下替代人类的部分视觉工作^[4,5]。

三维重建是计算机视觉理论的重要研究目标,它从二维图像恢复场景的三维几何结构,是虚拟现实领域中生成真实感复杂三维场景的重要途径。这种技术可以用价格低廉的数码相机作为图像获取设备,最终得到场景的三维几何模型,其最大的优点就是可以直接从图像中重建几何模型并抽取表面纹理和光照信息,可简单、快速地构建出具有“照片级”真实感的三维模型。其中随着人工智能识别技术的不断发展,生物

特征识别成为一项重要技术。人脸因为其不可替代性,成为生物特征识别领域的一个重点。人脸的三维准确重建,成为后期智能识别能否成功的一个重要因素。但是,与一般的三维刚性物体重建不同,人脸由于丰富的表情变化,带有很强的非刚性特征,其特征极易变化,因此,对人脸面部的三维重建一直是一个难题^[6,7]。

为了解决人脸易变性引起的重建问题,提出一种基于小区域点约束曲线逼近的三维人脸重建算法。对人脸的三维区域表情变化较为丰富的区域进行小区域划分,运用点逼近技术模拟较为复杂的曲线轮廓,并且运用合理的约束手段限制特征点的非正常移动,避免了传统算法中用直线进行轮廓特征重建带来的特征失真的弊端

2 小区域划分与三维人脸特征匹配

三维人脸的有效匹配中,特征的匹配是一切运算的基础。人脸特征有着极强的非刚性,易变性较强。现有的方法虽然可以得到一个一一对应的人脸匹配点,对集合完成相关匹配,但人脸受到易变性的影响,在匹配过程中仍然存在一些错误的匹配点对,受到错误的干扰,后期的匹配精度大幅降低,影

到稿日期:2012-05-12 返修日期:2012-07-20 本文受山东省科技攻关计划项目(2009GG20001029)资助。

宋广元(1975-),男,硕士,讲师,主要研究方向为计算机软件与理论,E-mail: songgy@zdu.edu.cn;宁玉富(1967),男,博士,教授,主要研究方向为智能算法。

响最后匹配的效果。因此需要删除已经存在的错误匹配点，以保证匹配精度同时保证对应的匹配几何精度较高。方法如下：

先对人脸区域进行小区域划分，如果 m_1 与 m_2 为人脸对应点， 3×3 矩阵 F 为两幅三维匹配图像的基础矩阵，向量 \tilde{m}_i 为点 m_i 的齐次坐标，则有： $\tilde{m}_i^T F \tilde{m}_i = 0$ 且 $l_{m_1} = F \tilde{m}_1$ ，初始匹配流程如图 1 所示。

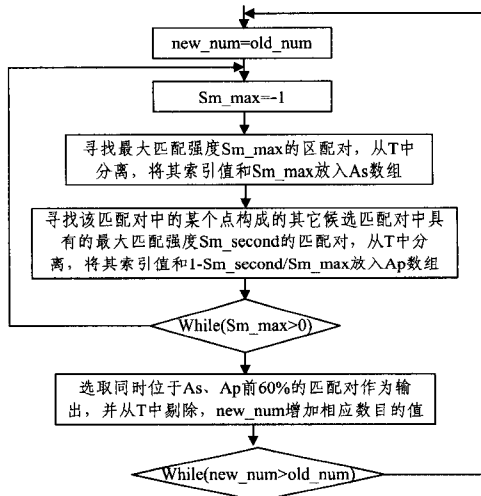


图 1 松弛匹配法流程

$$l_{m_2} = F^T \tilde{m}_2$$

由于受到外界因素的干扰，匹配的特征点不一定会严格地满足精度要求，存在一定程度的误差。但是，如果 m_1 和 m_2 是人脸上的正确匹配点，那么对应的图像中，两个匹配点间的直线距离应该是非常小的，表示匹配吻合。如果两者之间存在较大匹配距离，那么点 m_2 必然是 m_1 的错误匹配点。但是，距离的判断应该是设定合理的阈值，可以用一个较为精确的阈值参数作为标准，将其设为阈值中值。这个最小中值法通过解下列非线性最小化问题来估计参数，这也需要把人脸区域转化成小区域：

$$\min_i \text{med } r_i^2$$

需要对阈值数据的残差平方的中值求解。运用这种方法能够得到较小的阈值误差，使得结果较为准确，得到较为准确的阈值结果，也能够避免匹配过程中出现的鲁棒性低的缺陷。

上式中的 r_i^2 为第 i 对匹配点中各点与对应极线的距离的平方，称之为残差的平方，其表达式为：

$$r_i^2 = d^2(m_{2i}, F_J m_{1i}) + d^2(m_{1i}, F_J^T m_{2i})$$

计算出匹配精度阈值中得到的直线距离，其表达式为：

$$d^2(m_{2i}, F_J m_{1i}) = \frac{|m_{2i}^T F_J m_{1i}|}{\sqrt{(F_J m_{1i})_1^2 + (F_J m_{1i})_2^2}}$$

在发生匹配的特征点 $\{(m_i, m_i'), i = 1, 2, \dots, n\}$ 中，需要随机地选取 M 个特征点匹配像素，像素中特征点的数量为 N ，可取 $N=8$ 。计算的方法如下，设定一个索引，通过人脸特征像素灰度信息计算出一个基础的数据矩阵 F_J ，对于每个 F_J ，其可以决定相对于整个匹配点对集的残差平方的中值 M_J ，即

$$M_J = \text{med}_{i=1,2,\dots,n} \{d^2(m_{2i}, F_J m_{1i}) + d^2(m_{1i}, F_J^T m_{2i})\}$$

假设矩阵 F_J 是最小中值矩阵 M_J 对应的基础矩阵，这个

矩阵被用于去除那些匹配发生错误的点。可以证明，像素的数量 m 影响基础矩阵 F_J 的精确程度。像素中 p 对像素正确的概率可以表示为：

$$P = 1 - (1 - (1 - \epsilon)^p)^m$$

式中， ϵ 代表匹配集中错误匹配的比例。在计算中，设定 $\epsilon = 40\%$ ，像素的数量 m 取值为 2004，此时的 P 约等于 1。如果将估计参数的最低方差与实际的方差之比作为参数估计的效率评定，当像素数据的噪声符合高斯分布时，最小中值法的效率最差。可以使用最小加权二乘法对误差进行补偿，标准方差为：

$$\bar{\sigma} = 1.4826(1 + 5/(n - p)) \sqrt{M_J}$$

式中， M_J 是求取的最小的中值；常数 1.4826 是一个校正系数，这个系数可以将高斯噪声与最小二乘法保持同样的效率； $5/(n - p)$ 补偿了数据像素较小时的匹配误差。根据 $\bar{\sigma}$ 的值，对每一个匹配点设置一个匹配权数。

$$\omega_i = \begin{cases} 1, & r_i^2 \leq (2.5\bar{\sigma})^2 \\ 0, & r_i^2 > (2.5\bar{\sigma})^2 \end{cases}$$

r_i^2 是对应最小中值矩阵 M_J 的误差代价矩阵。经过上述运算后，权数为 0 的点判定为一些匹配错误的点被去除。得到一组较好的匹配点集以后，经过最小二乘的加权求解 $\min \sum_i \omega_i r_i^2$ 得到一个基础矩阵 F ，此矩阵具有很高的鲁棒性与精确性。经过上面的步骤，基本得到了一个比较好的匹配点集。

在一幅图像被均匀划分为 $b \times b$ 块以后，在每一块的区域上加一些落在该区域上的点，相当于该匹配区域的匹配点集。如果某些区域不包括任何的点，则将其去除。随机选取互不相关的 8 个像素块，随机抽取其中的 1 个进行匹配。随机均匀抽取的像素在错误匹配均匀分布的像素中是可行的，但是如果某块的匹配点数与其他的某块不同，则匹配加大的块被抽取到的概率就会比那些匹配较小的点大。将匹配点数目较多的块的数目抽取概率进行修正，以保证所有的匹配点具有相同的匹配抽取概率。可以使用以下的方法进行区域化来保证抽取的公平性。如图 2 所示，假设图像中一共包含有 l 个图像块，区域 $[0, 1]$ 被平均划分为 l 个间隔，间隔的宽度根据 $n_i / \sum_i n_i$ 来计算， n_i 为第 i 块图像中匹配点的数目。抽取时如果匹配点的数目落在了第 i 个间隔上，第 i 块就被当作选取的像素。

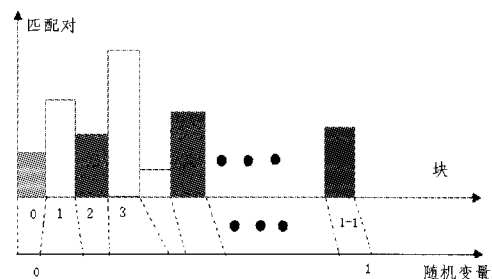


图 2 间隔和块的对应

经过上述计算后得到的图像匹配点已经去除了了一些模糊匹配与错误匹配的图像点，这样的图像匹配效果具有良好的鲁棒性。

3 人脸小区域点的直线特征逼近建模

在三维建模的过程中,人脸是一种非刚体的状态,使用直线仍然无法准确对其进行描述,为此提出一种使用小距离曲线特征逼近的算法进行人脸非刚体曲线的特征描述。方法如下:

考虑灰度的平方和差最小,人脸小区域线段建模可表示为 $\sum v = \min$ 。上一节中偶然误差下的表示为 $v = g_1(x, y) - g_2(x, y)$, 假设 $g_m(x, y)$ 为建模算法中的人脸模板, $g(x, y)$ 为真实的人脸影像, 建模算法的理想效果是 $g_m(x, y) = g(x, y)$, 这时每一个点完整准确建模, 灰度值点与点完全对应。但是在实际的图像建模中噪声的产生会存在建模的误差, 建模不可能完全相等, 建模的误差可以表示为:

$$v(x, y) = \frac{\partial g}{\partial x} dx + \frac{\partial g}{\partial y} dy - \Delta g$$

$$\Delta g = g_m(x, y) - g(x, y)$$

式中, $\frac{\partial g}{\partial x}, \frac{\partial g}{\partial y}$ 分别为像点灰度在 x, y 方向的偏导数, 实际的分析中使用差分运算。

3.1 曲线松弛建模约束

为了克服表情易变性给建模带来的影响, 在图像建模的算法中引入松弛约束的概念。运用这种方法来进行数据降维, 将二维的搜索空间转换到一维的向量空间中, 从而大大减少计算量, 提高建模的精度。方法如下:

(1) 松弛区间的建立: 如图 3 所示, 假设在图中有人脸特征线段 L_L , 其人脸特征端点坐标分别为 (X_s, Y_s) 和 (X_e, Y_e) , 则在右图中由 $(X_s - d_{\max}, Y_s), (X_e - d_{\max}, Y_e), (X_s - d_{\min}, Y_s), (X_e - d_{\min}, Y_e)$ 可组成一个平行四边形(其中 d_{\max} 为右相片点相对于左同名点的最大视差), 该平行四边形为 L_L 的潜在松弛建模区, 记为 $A(L_L)$ 。任何能与 L_L 相建模的线段 L_R , 应该和这个平行四边形相交。当且仅当 L_R 和 $A(L_L)$ 相交, 但与 $A(L_L)$ 两条斜边不相交时, L_R 与 L_L 存在潜在建模, 也就是能在松弛建模区域内。

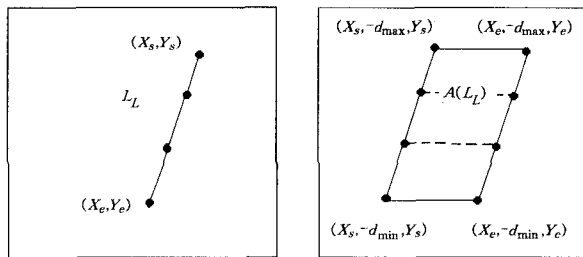


图 3 曲线段的核线约束

(2) 唯一性约束: 图像之间的曲线是函数对应的关系, 即一一对应于自己的直线建模。

(3) 几何和灰度松弛相似性约束: 直线的特征相似作为松弛建模约束的最重要的依据, 其计算的方法如下:

① 小区域的特征直线边缘的松弛梯度幅度表示。

与传统的梯度计算方法不同, 可以用一种相似性的判断标准完成梯度的松弛度计算, 假定边缘梯度的幅度记为 $GM(L)$, 则边缘梯度幅度的相似判据可以判别为:

$$SIM[GM(L_L, L_R)] = \frac{\min(GM(L_L), GM(L_R))}{\max(GM(L_L), GM(L_R))}$$

② 小区域特征直线的边缘梯度方向表示。

在直线边被提取以后, 直线表示为 $\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$ 的直线方向, 即 θ 角的大小, 相似表示为:

$$SIM[GM(L_L, L_R)] = \cos(\theta_L - \theta_R)$$

选取余弦作为松弛建模中相似度的判断, 是因为如果人脸的边与 Z 轴成垂直角, 直线在两邻面的投影为重合的点, 这时夹角的余弦可以很好地表示。

③ 人脸小区域直线边缘同一像面投影长度。

利用松弛约束对两条曲线进行左右像面的投影建模后, 这两条直线具有同样的方向, 其投影长度具有很强的相似性, 假设这两条面像直线的投影长度记为: $PL(L_L), PL(L_R)$, 则其相似性函数定义如下:

$$SIM(PL(L_L, L_R)) = \frac{\min(PL(L_L), PL(L_R))}{\max(PL(L_L), PL(L_R))}$$

(4) 人脸的直线局部关系约束, 包括特征角点的位置与类型。

角点是一种很准确的人脸特征, 角点的邻域灰度对比与角点类型的分析都影响直线与邻近的直线的结构关系与相关性, 重点考虑角点可以减少图像的建模误差。

(5) 人脸角点与空间的点的对应共线, 这样的约束又称为视觉连续性, 角点的空间位置一定位于左右图像的建模直线段上。这样的约束同样可以减少建模的约束。

经过以上的核线相关就可以将两幅图像的特征进行相关分析, 得出三维人脸图像的松弛建模。

4 实验结果分析

本文首先在一个初级的三维人脸模型中进行双目立体的特征点的选取后匹配, 这样的特征点形成的图像是由一些稀疏的点构成的。这样的人脸会存在一些问题, 这就要求使用本文的算法进行更高清晰度的三维人脸匹配。图 4 是特征提取约束点, 这种结构只是由人脸区域不同的点构造成的。图 4 是对模型不同部位的 100 个特征点的约束条件的统计结果。

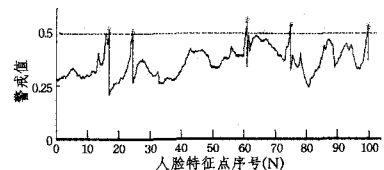


图 4 人脸特征提取模型约束值

其中, 绿色代表该部位超过警戒值, 需要重新取点匹配。通过将实验结果与理论建立三维人脸模型的各种特征值进行比较(见表 1)可以看出, 其角度偏差、距离偏差、平移量等特征参数的误差都保持在非常小的范围内。

表 1 匹配约束值统计

数理分析	匹配结果			
	采集数据点	角度平均偏差	距离平均偏差	平移量
三维人脸模型	108	X: 0.419	2.4	X: 7.523
	108	Y: 0.842	1.2	Y: 7.023
	108	Z: 0.554	1.7	Z: 6.532

而且, 由表 1 还可以看到, 采集、特征提取、三维匹配的工作得到的误差较小, 完全满足各行业对识别工作的实时性要求。图 5 为不同表情的人脸效果图。不同特征下的特征细节

统计如表 2 所列。



图 5 本文算法下建立的三维人脸图片

表 2 三维人脸模型几何特征测量

微笑	沮丧	撅嘴	鼓腮
0.8cm	1.6cm	0.3cm	0.1cm
0.6cm	1.7cm	0.1cm	0.2cm
3.7cm	2.9cm	0.5cm	0.2cm
0.2cm	0.1cm	0cm	0cm
7度	7度	0度	0度
3度	9度	3度	3度
23度	7度	4度	4度
43度	27度	27度	27度
3 cm ³	2.4 cm ³	0 cm ³	0 cm ³
0.57	0.44	0.62	0.54
0.62	0.73	0.61	0.58

通过表 2 的统计以及图 5 的结果可以看出,本文的方法较为准确地刻画了人脸在表情发生变化下的三维人脸情况,刻画较为精准,取得了令人满意的效果。

结束语 本文提出一种基于小区域点曲线逼近的三维人脸建模算法。对人脸的三维区域表情变化较为丰富的区域进行小区域划分,运用特征点曲线松弛约束逼近技术,模拟较为复杂的人脸曲线轮廓,避免了传统算法中用直线进行轮廓刻

画中带来的刻画不准、特征模拟失真的弊端。该方法能很好地恢复三维人脸表情变化较为丰富区域的特征信息,三维人脸匹配更加逼真,特征刻画准确度更高。

参 考 文 献

- [1] Ueshiba T, Tomita F. A factorization method for projective and euclidean reconstruction from multiple perspective views via iterative depth estimation[C]// Proc. European Conference on Computer Vision (ECCV), 2008:296-310
- [2] Xiao J, Chai J, Kanade T. A closed-form solution to non-rigid shape and motion recovery[J]. International Journal of Computer Vision (IJCV), 2009, 67: 233-246
- [3] Lee L. Gait Analysis for Classification[R]. AI Technical Report 2003-014. Massachusetts Institute of Technology-Artificial Intelligence Laboratory, June 2003
- [4] Lu Y, Pyandeh S. Cooperative Hybrid Multi-camera Tracking for People Surveillance[J]. Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering, 2008, 33(3): 145-152
- [5] Yoon H-S, Park T-H. A fast focusing method for CCM auto-focusing handlers [J]. Int J Adv Manuf Technol, 2009, 43: 287-293
- [6] 秦晓周, 杨天梁, 刘增良. 图文互生转换的实现方法[J]. 计算机仿真, 2003, 10(11): 17-20
- [7] 杨荣根, 任明武, 杨静宇. 基于稀疏表示的人脸识别方法[J]. 计算机科学, 2019, 9(9): 267-269
- [8] 李茜, 龚勋, 王国胤. 基于曲率和纹理信息的三维人脸特征提取[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2008, 20(6): 729-732
- [9] plitude by Time-Average Imaging[J]. Journal of southeast university(Natural science Edition), 1999, 4(11): 3-4
- [8] Maitre, Henri. Contribution to the Prediction of Performances of the Hough Transform[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, PAMI-8(5): 669-674
- [9] Hart P E. How the Hough transform was invented [J]. Signal Processing Magazine, IEEE Issue Date, 2009, 26(6): 18-22
- [10] Davison A J. Dept. of Eng. Sci. Oxford Univ. Real-time simultaneous localisation and mapping with a single camera[C]// Computer Vision, 2003. Proceedings. Ninth IEEE International Conference. 2003, 2: 1403-1410
- [11] Uornori K. Automatic image stabilizing system by full-digital signal processing[J]. IEEE Trans. on Consumer Electronics, 1990, 36(3): 510-519
- [12] Paik J-K, Park Y-C, Kim D-W. An adaptive motion decisionsystem for digital image stabilizer based on edge pattern matching [J]. IEEE Trans. on Consumer Electronics, 1992, 38(3): 607-615
- [13] Kinugasa T, Yamamoto N, Komatsu H. Electronic image stabilizer for video camera use[J]. IEEE Trans. on Consumer Electronics, 1990, 36(3): 520-525
- [14] Ko S-J, Lee S-H, Lee K-H. Digital image stabilizing algorithms based on bit-plane matching[J]. IEEE Trans. on Consumer Electronics, 1998, 44(3): 617-622
- [15] Ko S, Lee S, Jeon S, et al. Fast digital image stabilizer based on gray-coded bit-plane matching[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 1999, 45(3): 598-603

(上接第 293 页)

下的运动,同时必须要解决满足旋转对象旋转的同时还在进行移动的情况,只有把解决问题方法的限定条件充分弱化,将特殊情况进行泛化,这种方法才会更有价值,应用更加广泛。本研究中的算法绝大多数都是依靠软件实现的,为了更好地实现算法的实时性,提高计算速度,对基于位平面的快速块匹配算法可以设法通过硬件来直接实现,这样速度必将大幅度提高,这些都是今后继续研究的方向。

参 考 文 献

- [1] Auzuki H, Ebine T, Hamada N. Moving objects detection using motion field constraint with Observer motion parameter[C]// Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering 3808, 1999: 398-405
- [2] 彭可, 彭年香, 陈燕红. 一种基于视频处理技术的转速测量方法 [J]. 计算技术与自动化, 2010, 29(1): 76-81
- [3] 彭年香. 基于视频处理技术的转速测量与监控系统研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2010
- [4] Schnörr C. Segmentation of visual motion by minimizing convex non-quadratic functionals[C]// Proc. Twelfth International Conference on Pattern Recognition, volum A. IEEE Computer Society Press. Jerusalem, Israel. Oct. 1994: 661-663
- [5] 李玉山. 数字视觉和视频技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2006: 94-99
- [6] 孙即祥. 图像分析[M]. 北京: 科学出版, 2005: 100-102
- [7] Bai Shun-ke, Wang Feng-quan. Measurement of Vibration Am-