

人脸识别中表情弱化处理研究

杜杏菁^{1,2} 白廷柱¹

(北京理工大学光电学院光电成像技术与系统教育部重点实验室 北京 100081)¹

(华北科技学院计算机系 三河 065201)²

摘 要 针对表情对人脸识别准确率的影响问题,提出了基于向导的局部表情弱化模型,其利用网格变形技术来减少表情人脸的塑性变形。首先在表情区域按三角面片变换,采用梯度算子计算出变形后梯度场,实现基于向导微分梯度场的变换;然后代入泊松方程完成离散三角形拼接和变形模型的重建。找到脸部表情不变的刚性区域,得到类内的平均人脸差异,从而产生约束条件并将之加入变形过程来保持类间的差异和类内的相似度。与其它算法比较,其识别准确率有明显提高,证明了算法的有效性。

关键词 人脸表情,人脸识别,微分梯度场,刚性区域

中图分类号 TP391.4 **文献标识码** A

Study of Weaken Expression in Face Recognition

DU Xing-jing^{1,2} BAI Ting-zhu¹

(Key Laboratory of Photoelectronic Imaging Technology and System, Ministry of Education of China, School of Optoelectronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)¹

(Department of Computer, North China Institute of Science & Technology, Sanhe 065201, China)²

Abstract For expression impact on face recognition accuracy, a guide-based model was proposed to weaken local expression, and the mesh deformation technology was used to reduce the plastic deformation of facial expression. First the expression area was transformed according to triangular patches, and the deformation gradient was calculated according to gradient operator to realize the guide-based differential gradient field transform, and then the Poisson equation was used to complete the triangle stitching and reconstruction. The rigid region in expression face was found to get the class average face differences and constraints. The constraints was used to maintain the differences between classes and within-class similarity. Comparing with other algorithms, the face recognition accuracy rate is improved significantly, and the effectiveness is proved.

Keywords Face expression, Face recognition, Differential gradient field, Rigid region

1 引言

最近几年,人脸识别克服了姿态、光照带来的影响,但表情对人脸识别的影响并未得到很好的解决,表情处理是人脸识别中急需研究的一个问题。查阅当前的参考文献发现,表情的处理分为两类:1)人脸识别中寻找人脸的刚性不变区域提取特征而避开表情变换区域;2)减弱或消除表情的影响的非刚性方法。基于刚性区域的人脸识别是提取刚性区域的特征进行直接的匹配,对人脸进行分类。Chua 等人^[1]将识别人脸与标准人脸进行对齐,用对应点之间的欧式距离来判断刚性区域和非刚性区域,在刚性区域内计算顶点的局部曲面形状的描述子,作为人脸特征,采用投票的方法完成人脸的匹配。Chang 等人^[2]通过计算人脸曲面各点的高斯曲率和平均曲率,按照两者的不同符号定义了 8 种不同的基本形状,根据这些区域的特征提取 3 种鼻子区域,然后与完整模型进行匹

配,并将结果融合得到最终的识别结果。基于刚性不变区域的人脸识别方法虽然避免了表情对人脸识别的影响,但这里的刚性区域并非完全的不变区域,另外只用刚性区域进行识别,丢失了大量的人脸信息,识别准确率不高。非刚性方法是当前表情人脸识别研究的热点,该方法将人脸看作表情变化下保持某种内在特征不变的曲面,这种内在特征大部分研究人员用测地线距离来表示^[3]。另外一部分研究人员选取了等距变化下曲面的各种积分表示,如对欧式度量下的几何基元进行积分、测地线积分、多种内在几何特征的积分^[4-6]。Mitchell 等人提出了精确测地线的求解算法,Surazhsky 等人给出了算法的实现^[7]。王跃明^[8]提出了基于向导的表情变形。本文在王跃明提出的基于向导的变形基础上,提出了局部表情变换模型。首先确定表情区域,然后根据向导进行局部变换,使用刚性区域保持类内相似度,提高变换的速度并保持类内相似度,从而提高识别的准确率。

到稿日期:2011-09-21 返修日期:2012-01-20

杜杏菁(1976-),女,博士生,讲师,主要研究方向为生物识别,E-mail:dxj761017@ncist.edu.cn;白廷柱(1955-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为光电成像、模拟仿真。

2 局部表情弱化理论依据

对一个中性表情的人脸进行识别时,直接提取其脸部特征信息,与数据库中的样本信息进行匹配,以达到识别判断的目的。当人脸发生表情变化,随之发生局部变形时,脸部关键特征点值就会发生变化,因此,匹配时,对应的特征点值偏差加大,识别准确度下降。本文采用的表情弱化方法是表情人脸在自身拓扑结构的约束条件下,以数据库中的中性人脸为向导,使用泊松梯度域变形技术进行表情弱化。通过加入约束条件和刚性区域来保证类内的相似度,即变形后的逼真度,同时保持了类间差异度。约束条件的确定由实验确定的阈值决定,在3.3节有具体说明。不同个体表情会影响到表情区域和刚性区域的变换,并影响到约束条件的变化,研究不同个体表情的特点能够提高识别率。如果表情人脸是数据库中的某个人脸,也就是说能够在数据库中找到该人脸的原型向导,那么表情弱化后人脸与原型人脸就非常相近,特征值更接近中性表情数据,从而能够准确地将其识别。

3 基于向导的局部表情弱化模型

人脸识别过程中,首先建立一个人脸数据库,用来存放每个人脸的一个中性模型。现在要解决的问题是:对输入的表情人脸图像,如何正确地判断其是不是数据库中的人脸;如果是,他是谁,即分类问题。表情降低了类内的相似度,增加了类间的相似度,使得分类难度增加。假设有一种表情处理方法,可以将带表情的区域在拓扑条件约束下尽可能向人脸库中的某个模型变形,使其变换后与人脸库中的一个模型非常相似。那么拓扑约束条件如何找,处理方法如何确定是关键问题。本节首先讲述基于向导的局部表情处理技术,然后求解变形约束条件。在基于向导的局部表情弱化模型中将完成表情人脸在自身拓扑结构的约束下的变形,其变形过程是给定两个人脸网格模型,一个是表情人脸网格,另一个是中性人脸网格,将表情人脸网格向中性人脸网格变形,我们称为基于向导的表情处理技术。

3.1 表情变换理论

在人脸库中,每一个样本给定一个中性表情的人脸网格 F_z ,待识别的表情人脸 F_b ,用 F_z 作为向导和变形的依据,使 F_b 的表情区域变换到自然的中性状态, F_b 的不变区域则保持不变。对于一个特定的人脸网格 F_b ,其所有顶点的坐标分量 x, y, z 分别表示 3 个标量场。采用梯度算子,可以得到其梯度场,修改梯度场可得到网格微分属性;然后重建标量场,重建后的结果对应原来的 x, y, z ,从而得到变形后的模型。待变形的人脸网格 F_b 就是通过未知的几何信息 (x, y, z) 的梯度场 ξ ,结合其拓扑信息,求解其散度,然后利用下面公式求解其几何信息 (x, y, z) ,即得到变形结果。

基于泊松方程的梯度域变形技术是图形学中重要的网格编辑技术,离散条件下的泊松方程为

$$\Delta(u) \equiv \text{Div}(\nabla(u)) = \text{Div}(\xi) \quad (1)$$

式中, $\Delta(u)$ 表示离散的拉普拉斯算子,它在 1 环网络上表示为式(2);参考图 1, $N(i)$ 表示顶点 v_i 的邻接顶点。

$$\Delta(u) = \sum_{j \in N(i)} \frac{1}{2} (\cot \alpha_j + \cot \beta_j) (u_i - u_j) \quad (2)$$

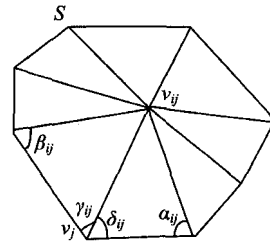


图 1 人脸网格

式中, $\nabla(u)$ 表示离散梯度运算符,可以表示为式(3), T_v 是顶点 v 依附的三角形,它的 3 个顶点 v_0, v_1, v_2 按逆时针排列, ϕ_i 是分段线性基函数, A_T 表示三角形 T_v 的面积, $(\cdot)^\perp$ 表示沿 T_v 的法向逆时针旋转 90° 。

$$\nabla(u) = \sum_{i \in T_v} u_i \nabla \phi_i(v) \quad (3)$$

$$\nabla \phi_i = \frac{1}{2A_T} (v_{(i+2)\%3} - v_{(i+1)\%3})^\perp$$

$\text{Div}(\xi)$ 离散散度运算符可以表示为

$$\text{Div}(\xi) = \sum_{T_k \in N_T(i)} \langle \nabla \phi_i, \xi_k \rangle A_k \quad (4)$$

将式(4)代入,得到稀疏线性系统,即

$$A(X, Y, Z) = b$$

$$A_{ij} = \begin{cases} -\frac{1}{2} (\cot(\alpha_{ij}) + \cot(\beta_{ij})), & j \in N(i) \\ -\sum_{k \in N(i)} A_k, & i=j \\ 0, & \text{other} \end{cases} \quad (5)$$

式中, A 是拉普拉斯算子在网格 F_b 上构建的一个稀疏矩阵, b 是变换后的梯度向量场的散度, $N(i)$ 表示顶点 v_i 的相邻顶点, α_{ij}, β_{ij} 如图 1 所示。按照 Helmholtz-Hodge 矢量场分解定理,任意区域内的光滑矢量场 ξ 存在一个唯一的分解,即

$$\xi = \nabla u + \nabla \times v + h \quad (6)$$

式中, ∇u 是分解的无旋分量; v 是分解的无散分量; h 为分解的调和分量。求解 ξ 的无旋分量在离散条件下的一个最小值,即

$$\min \sum \|\nabla u - \xi\|^2 A_T \quad (7)$$

求解变形过程其实是在最小二乘的意义上全局均匀地拟合给定的梯度场,实现向导变形和保留细节之间的折中。 F_z 是 F_b 的变形向导,建立 F_z 和 F_b 三角面片之间的对应关系,使它们在欧式空间中直接变换,这样会使 F_z 的三角面片变得支离不连续,因此计算这些支离的三角面片集的梯度场,将其作为 F_b 的梯度场。将 F_b 和 F_z 统一放在一个坐标系中,通过改变 F_z 上的三角面片方向改变其梯度值,对于每一个三角面片 T_i 的 3 个坐标进行相同的变换 T_i' ,对于每一对顶点按照最近邻原则建立对应关系。由于梯度向量与平移无关只与旋转有关,因此在各自三角面片内建立局部的坐标框架 F_z^i, F_b^i 为

$$X_U^j = H_i \cdot X_{ij} = F_b^i \cdot (F_z^i)^{-1} X_{ij}, j=0,1,2 \quad (8)$$

式中, X_U^j 是三角面片 T_i' 中某顶点对应的坐标。对应的三角面片变换完成后,采用梯度算子可计算出变形后的梯度场,从而实现了基于向导微分梯度场的变换。代入泊松方程即可完成离散三角形拼接和变形模型的重建。

3.2 约束条件

基于向导的弱表情变换可以实现表情人脸向中性人脸的

变换,使得变换后能够与人脸库中的某个中性模型尽可能相似,促进了类内相似度,但也增加了类间的相似度。其原因是人脸库中每个模型都作为向导进行表情人脸的变换,因此提出了添加约束条件的方法来保证类内相似度和类间的差异度,如图2所示。

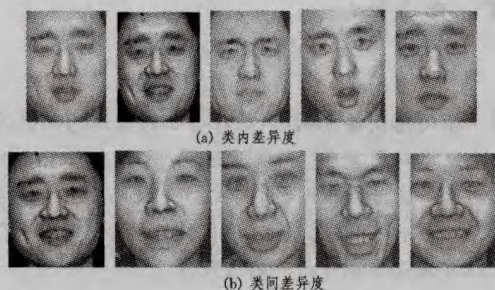


图2 类内和类间差异

经过分析和观察,我们发现类内差异多表现在表情变换明显的区域,如嘴巴、眉毛、两颊等;类间差异非常不稳定,人脸的任何区域都可能存在差异。通过求解类内平均差异,得到图3。类内差异图亮度大的区域就是表情变化小的区域,也就是刚性区域。利用刚性区域给泊松过程加上约束条件。



图3 平均类内差异

3.3 约束条件的加入

3.3.1 确立刚性约束条件

在中性模型和表情人脸模型对应点之间建立统一的坐标系,以一个圆盘作为参数域对每个模型进行参数化,如图4所示。将圆盘分成多个同心圆环,再进行圆环的分区,落入圆盘同一个区域的认为是人脸同一区域。约束条件是要确定参数域某个分区内固定的点,设定一个平均差异的阈值,得到一个二值化刚性约束,黑色区域为刚性区域,白色区域是表情区域(圆环中相反),需要按照向导进行变形。

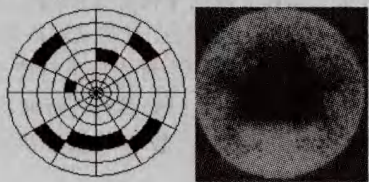


图4 刚性约束区域

3.3.2 加入约束条件

确定了刚性区域也就知道了在基于向导的局部表情弱化模型中保持不变的顶点,这时,需将表情人脸参数化到同样的圆盘参数域中。假设 V_G 是表情人脸中刚性区域顶点的集合,其元素个数为 m 个,在泊松方程中,假设稀疏矩阵 A 的 m 行的方程系数对应着 m 个顶点,那么泊松方程改为

$$\begin{bmatrix} A_1 & A_2 \\ A_3 & A_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

式中, U_1 是刚性区域顶点, U_2 是表情区域的顶点坐标, b_1, b_2 是对应的散度。

3.3.3 约束阈值的确定

约束阈值也就是在圆盘参数域中二值化的阈值,阈值太小和太大都会影响识别的效果。下面以识别效果为目标,测试不同的阈值的识别率,阈值从0到100,阈值为0意味着不进行变换的识别,阈值为100意味着所有顶点都要变换,根据泊松方程选择鼻尖点为最近顶点。选择CICAS数据库中30个人,每人1个中性表情模型作为人脸库和3个非中性表情人脸组成90个测试库,对阈值进行测试,随着阈值的变化,人脸识别率的变化如图5所示。

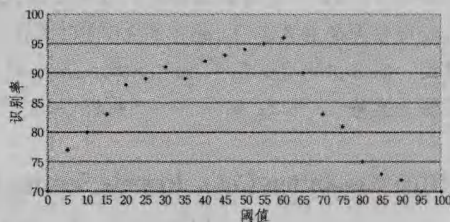


图5 阈值对识别率的影响

从图5可以看出,阈值在50~60时,识别率达到了最高值;60以后,识别率开始下降,这说明刚性阈值选择在55左右比较合适。

4 算法的有效性

从式(7)可以看出,变形过程实际上是最小二乘意义上均匀梯度场的拟合,这样既实现了向导变形又保留了细节,使变形与向导非常相似。这样的变形虽然提高了表情人脸与原型向导的相似度,但也使表情人脸与非原型向导之间的变化更接近非原型向导,使匹配度降低。

为了提高类间差异度,我们在泊松方程实现局部重建时添加边界条件,即约束条件。约束阈值的确定是通过识别能力的测试确定的,在CASIA数据库选择了30个中性表情人脸,每个中性人脸对应3个不同表情人脸,即共90个表情人脸进行测试,发现阈值在50~60之间识别率最高,达到了90%左右,因此我们选择约束阈值为55。约束阈值的合适选择,是表情变化更接近原型向导、远离非原型向导的保证,也即识别率的保证。

5 识别结果比较

5.1 表情弱化示例

我们在做实验时,假设已经知道表情的种类,判断出了表情变化大的部位。图6是一幅表情人脸,其中的嘴部变形较大,通过表情弱化后,嘴部变形结果如图6(c)所示。



图6 嘴部表情弱化示例

(下转第310页)

- [4] Cao Fei, Liu Zhi-yong. Snooping and Ordering Ring-An Efficient Cache Coherence Protocol for Ring Connected CMP[C]//Proceedings of the Fifteenth International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS'09), 2009
- [5] 曹非. 环连接片上多核处理器缓存一致性协议研究[D]. 北京: 中国科学院计算技术研究所, 2010
- [6] Bloom B. Space/Time Tradeoffs in Hash Coding with Allowable Errors[M]. Communications of the ACM, 1970
- [7] Fan P C L, Almeida J, Broder A Z. Summary Cache: A Scalable Wide-Area Web Cache Sharing Protocol[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), 2000, 8: 281-293
- [8] Barroso L, Dubois M. Cache Coherence on a Slotted Ring[C]//Proceedings of the International Conference on Parallel Processing. 1991: 230-237
- [9] 张福新, 章隆兵, 胡伟武. 基于 SimpleScalar 的龙芯 CPU 模拟器 Sim-Godson[J]. 计算机学报, 2007, 30: 68-73
- [10] Hu F Z W, Li Z. Microarchitecture of the Godson-2 Processor [J]. Journal of Computer Science and Technology, 2005, 20: 243-249
- [11] Cameron W S, Moriyoshi O, Evan T, et al. The SPLASH-2 programs, characterization and methodological considerations[C]//Proceedings of the 22nd annual international symposium on Computer architecture S. Margherita Ligure, Italy: ACM, 1995
- [12] Liqun C. Context-aware coherence protocols for future processors[D]. University of Utah, 2007
- [13] Karin S, Xiaowei S, Josep T. Flexible Snooping: Adaptive Forwarding and Filtering of Snoops in Embedded-Ring Multiprocessors[C]//Proceedings of the 33rd annual international symposium on Computer Architecture. IEEE Computer Society, 2006
- [14] Andreas M, Gokhan M, Alok C, et al. JETTY: Filtering Snoops for Reduced Energy Consumption in SMP Servers[C]//Proceedings of the 7th International Symposium on High-Performance Computer Architecture. IEEE Computer Society, 2001
- [15] Andreas M. RegionScout: Exploiting Coarse Grain Sharing in Snoop-Based Coherence[C]//Proceedings of the 32nd annual international symposium on Computer Architecture. IEEE Computer Society, 2005

(上接第 283 页)

5.2 识别结果

为了比较算法的有效性, 采用 CASIA-3DFACE 人脸库进行了实验。取库中的 30 幅中性表情的图像进行训练, 取 40 幅表情人脸图像进行识别(30 幅有原型向导, 10 幅没有原型向导)。使用文中算法表情弱化后识别得到结果: 28 人在数据库中、11 人找不到、1 人识别错误。直接识别得到结果: 23 人在数据库中、16 人未找到、1 人识别错误。通过分析识别结果发现, 表情弱化后的识别中 2 人未能够准确匹配, 原因是表情人脸同时带有幅度较大的偏转。表情弱化对表情变化大的情况效果更明显。

5.3 算法比较

用位平面法、特征块法、小波变换法等表情弱化算法与本文中算法比较。在 orl 人脸库上进行了实验, 取库中的 100 幅中性表情的图像进行训练, 然后取 50 幅表情人脸图像进行识别, 在相同的条件下得到表 1 所列的识别数据。

表 1 不同算法的识别数据

识别项目 \ 算法	位平面	特征块法	小波变换	本文算法
正确识别数量	37	40	41	45
错误识别数量	4	3	2	1
未识别数量	9	7	7	4
识别准确率	0.74	0.80	0.82	0.90
平均耗时(s)	1.05	1.50	1.22	1.30

从以上的数据可以看出, 位平面法、特征块法、小波变换法与本文算法比较, 它们使用结构信息进行识别, 虽然能够减弱表情对人脸识别的影响, 但未明显提升识别准确性; 使用基于向导的表情区域变换, 时间无太大变化, 识别准确率有明显提高, 说明该算法是一种较好的算法。

结束语 首先介绍了常见的表情弱化的方法。在此基础上, 提出了基于向导的局部表情变换方法, 实现了局部表情弱

化处理, 并在重建时添加了刚性区域约束条件, 保证了类内相似度和类间的差异; 将使用基于向导的表情区域变换方法与 PCA 算法进行比较, 在不影响识别速度的同时, 其识别准确率达到 90% 以上, 说明该算法是一种较好的算法。但表情弱化时未考虑姿态等复杂人脸情况; 另外, 通过确定个体表情变化的特点来提高识别率需要进一步研究。

参考文献

- [1] Chua C S. 3D Human Face Recognition Using Point Signature [C]//Int'l Conf. on Automatic Face and Gesture Recogniton. 2000: 254-259
- [2] Chang K, Bowyer K, Flynn P. Adaptive rigid multi-region selection for handling expression variation in 3D face recognition[C]//IEEE Workshop on Face Recogniton Grand Challenge Experiments. 2005: 11-14
- [3] Jahanbin S, Choi H, Liu Y, et al. Three dimensional face recognition using ISO-geodesic and ISO-depth curves[C]//Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Biometrics: theory, Applications and Systems. Piscataway: IEEE Press, 2008: 1-6
- [4] Xu D, Li H. Geometric moment invariants[J]. Pattern Recognition, 2008, 41(1): 240-249
- [5] 胡平, 曹伟国, 李涛涛. 曲面上一种等距不变量的构造[J]. 系统科学与数学, 2009, 29(9): 1178-1188
- [6] 胡平, 曹伟国, 李华. 一类等距不变量及其在三维表情人脸识别中的应用[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2010, 22(12): 2089-2094
- [7] 周竞文, 程志全, 金士尧. 基于 Dijkstra 距离剪枝的测地线求解算法[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(1): 141-144
- [8] 王跃明. 表情不变的三维人脸识别研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007