

基于小邻域系和特征基团的人脸皮沟老化检测

赵志博¹ 王映辉²

(陕西师范大学计算机科学学院 西安 710062)¹ (西安理工大学 西安 710062)²

摘 要 人脸老化过程极为复杂,皮沟特征极其细微,并且伴随大量噪声。传统的皮沟匹配方法不能很好地刻画出细微老化的特征变化,人脸老化的检测准确度不强。提出一种基于小邻域系和特征基团的人脸老化检测算法,建立了人脸图像小邻域系和特征基团的对应关系,构造了运动参数联合概率分布的能量函数来反映人脸皮沟参数之间的约束关系。最后采用模拟退火算法对老化特征在约束关系下的相关关联求出最优解,得到不同老化程度下各皮沟特征点的关联性。实验表明:该方法能很好地对人脸不同状态下的皮沟老化特征进行识别,检测结果更加准确,且准确度更高。

关键词 人脸老化,小邻域,特征基团

中图分类号 TP391.9 **文献标识码** A

Men Groove Aging Test Based on Small Neighborhood and Characteristics Groups

ZHAO Zhi-bo¹ WANG Ying-hui²

(School of Computer, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)¹

(Xi'an University of Technology, Xi'an 710062, China)

Abstract Face aging process is very complex, and skin of features and purchase is subtle with a lot of noise. The traditional leather channel matching method can't depict subtle aging characteristics change wall, and face aging test accuracy is not strong. A face aging detection algorithm based on a small neighborhood and the characteristics groups was proposed. The corresponding relationship between small face image neighborhood and characteristics groups was set up, and the energy function of tectonic motion parameters association probability distribution was constructed to reflect the constraint relation between the parameters. The simulated annealing algorithm was used to seek the optimal solution of the related constraints association of the skin channel feature point relevance, getting aging characteristics under the different aging condition. The experiment shows that this method can recognize the aging skin channel characteristics under the different face state. Test results are more accurate, higher accuracy.

Keywords Face aging, Small neighborhood, Characteristics groups

1 引言

人类年龄的自然增长、光线累积效应和其他环境因素使人体皮肤表面结构逐步改变,在临床医学上这一现象被称为皮肤老化。皮肤老化的定量分析为表征的物理条件和生理年龄提供了一种新的研究方法^[1-3]。老化在人类发展过程中是不可避免的。目前为止,对老化的分类有两个不同的体系,一类是年纪上的正常老化,一种是伪装程度的老化。在当前的计算机图形学领域,具有较高准确性的人脸老化检测研究成为了热点。人脸年龄识别中,老化的检测作为其中一个分支,由于涉及到复杂的生理、心理因素,并与人物的生活经历、病变等因素密切相关,因此,十分具有挑战性。基于统计学的方法是解决这类不确定性问题的一个重要思路,并被尝试应用于人脸的年龄识别^[4]。随着对人脸老化检测应用性的要求越来越高,当前方法的弊端也进一步显现,尤其是对一些细微老化特征的刻画和识别,成为了很多学者研究的重点。但是对

细微皮沟老化的识别一直是模式识别领域的一个难点,细微老化和奇异老化的识别问题,还没得到很好解决^[5-7]。

2 人脸老化图像中邻域系和基团的确定

为了解决细微皮沟特征老化的检测问题,提出一种基于小邻域系和特征基团的人脸老化程度识别算法。对人脸图像的老化特征部分进行小邻域系的划分,将划分的结果与老化特征基团建立关联的对应关系,通过构造特征参数相关概率分布的能量函数,反映人脸老化参数之间变化的约束关系,对人脸的老化皮沟变化进行准确的形变分析。具体方法如下:

首先,建立人脸代表区域的特征标记集为:

$$L = \{m_i | i \in S\}$$

$$m_i = (a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, b_{i1}, b_{i2}, b_{i3}, c_{i1}, c_{i2}, c_{i3})^T$$

特征位置 i 的邻域 N_i 定义为:

$$N_i = \{i' \in S | [dist(i, i')]^2 \leq r, i \neq i'\}$$

式中, $dist(i, i')$ 表示发生老化变化的过程中,人脸局部区域

到稿日期:2011-11-15 返修日期:2012-03-26 本文受教育部高等学校博士学科点专项科研基金课题(20110202120002)资助。

赵志博(1979—),男,硕士,助教,主要研究方向为图像处理及人脸表情识别, E-mail: zhaozhibo@snnu.edu.cn; 王映辉(1967—),教授,博士生导师,主要研究方向为软件理论与方法、图形图像技术。

特征位置 i 和 i' 之间的欧式距离, r 代表一个固定数值。根据对人脸区域邻域的定义, 能够推导出一个老化特征基团。从求解精度和形变速度两方面考虑, 基团的点数不能过多, 这里采用两点以下基团:

$$c_1 = \{i | i \in S\}, c_2 = \{i, i' | i' \in N_i, i \in S\}, C = c_1 \cup c_2$$

由于人脸图像中各个位置的老化特征是局部相关的, 因此基团中用邻域系来描述这种空间上的相关性。某一点 i 的邻域 N_i 可以定义为:

$$N_i = \{i' \in S | [dist(i, i')]^2 \leq r, i \neq i'\}$$

式中, $dist(i, i')$ 表示人脸老化特征变化中的特征距离函数, 通常把 $dist(i, i')$ 定义为人脸特征位置 i 和 i' 之间的欧式几何距离; 式中的 r 也是常数。一个点的邻域系 N_i 必须满足特定的要求, 即:

(1) 一个老化特征点的邻域系不能包括这个点本身, 即 $i \notin N_i$;

(2) 老化特征点和点之间的邻域系关系是相互的, 即 $i \in N_i \Leftrightarrow j \in N_i$ 。

基团表示的是某个人脸老化区域位置上, 所有邻域点(包含该位置)集合的子集。通常, 考虑的人脸老化特征基团有单个点基团 $c_1 = \{i\}$ 和多点基团。一般地, 把 C 记为基团的特征集合, 把 c_k 记为含有 k 个点的基团。基团的类型会因邻域定义的不同而不同, 4 邻域关系和 8 邻域关系所包含的基团不同, 并且相同基团的形状也不相同。4 邻域关系的点包含基团 c_1, c_2 , 8 邻域关系的点包含基团 c_1, c_2, c_3, c_4 。

3 能量函数的确定

从上面的分析可知, 如果要计算人脸的准确老化皮沟特征变化程度, 那么需要计算出特征之间的相互约束关系, 但皮沟特征关系较为复杂, 很难建立准确的模型。本文提出运用能量函数的关系进行皮沟特征之间的约束。其中在能量计算的过程中, 能量函数包含两层含义: 似然能量和先验能量。似然能量能够较为准确地反映人脸皮沟老化特征中的噪声影响, 而先验能量则是对人脸在老化形变过程的假定。在构造先验能量时需要加入一定的约束, 由于人脸老化特征的特殊属性, 约束不能是全局的。这里, 根据人脸运动的特点建立马尔可夫随机场中的似然能量和先验能量, 以便计算最终的目标函数。

后验能量:

邻域系中后验能量由似然能量 $U(P/\chi)$ 和先验能量 $U(\chi)$ 构成:

$$U(\chi/P) = c_1 \times U(P/\chi) + U(\chi)$$

式中, c_1 是计算得到的权重系数。其后验能量 $U(\chi/P)$ 就是要优化求解的目标函数。根据后验能量的极小值计算, 得到反向最大化后验估计的值:

$$\chi^* = \arg \min_w U(\chi/P)$$

式中, χ^* 是待求的人脸老化皮沟特征点坐标。

似然能量:

在 t 时刻, 人脸老化皮沟特征点 i 在成像平面上的投影如下:

$$P_i^t = P_i'^t + n_i^t$$

式中, $P_i^t = (x_i^t, y_i^t)$ 表示实际观察到的人脸老化皮沟特征投影

点, $P_i'^t = (x_i'^t, y_i'^t)$ 表示计算得到的实际人脸老化皮沟特征投影点, n_i^t 表示随机噪声的干扰。实际的噪声项 $n_i^t = (n_{ix}^t, n_{iy}^t)$ 满足相互独立的高斯分布 $N(0, \sigma^2)$, 即:

$$n_{ix}^t \sim N(0, \sigma^2)$$

$$n_{iy}^t \sim N(0, \sigma^2)$$

这里, 假设各老化皮沟特征点的噪声分布相互独立, 同时噪声的分布在时间上不相关。测量数据(即成像点的平面坐标)的条件概率为:

$$P(P/\chi) = \prod_{t=1}^n \prod_{i=1}^m P(P_i^t/\chi_i, t)$$

$$P(P_i^t/\chi_i, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x_i^t - x_i'^t)^2 + (y_i^t - y_i'^t)^2}{2\sigma^2}\right]$$

式中, $P = \{P_i^t | i \in S, t = 1, 2, \dots, N\}$ 表示老化皮沟特征点成像平面坐标集合; F 表示采集的人脸特征图像序列的帧数。这样, 可以得到老化皮沟特征中似然能量的结果:

$$U(P/\chi) = \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{t=1}^F \sum_{i=1}^N [(x_i^t - x_i'^t)^2 + (y_i^t - y_i'^t)^2]$$

先验能量:

先验能量与老化皮沟特征基团构成有关。从求解精度和速度两方面考虑, 采用两点以下老化皮沟特征基团, 先验能量定义为:

$$U(\chi) = c_2 \times \sum_{i \in S} U_1(\chi_i) + c_3 \times \sum_{i \in S} \sum_{i' \in N_i} U_2(\chi_i, \chi_{i'})$$

式中, $U_1(\chi_i)$ 为单点基团的势能, $U_2(\chi_i, \chi_{i'})$ 为双点基团的势能, c_2, c_3 是权重系数, S 是将人脸图像看成对应于特征点的有限集合, 即 $S = \{1, 2, \dots, N\}$ 。定义位置 i 处单点基团的势能为:

$$U_1(\chi_i) = \sum_{t=2}^n \{[\max(0, z_i^t - (z_i^{t-1} + \Delta z))]^2 + [\max(0, (z_i^{t-1} - \Delta z) - z_i^t)]^2\}$$

这是由于观察数据(似然能量)只包含了人脸老化皮沟特征点在平面方向上的变化信息, 对三维方面的变化却没作限制, 因此考虑在先验能量中加入这个约束。根据人脸运动原理, 假设在连续两帧之间, 和老化相关的特征点三维变化很小, 属于小范围内变化。令 Δz_i 表示特征点 i 的深度变化幅度, 则有 $z_i^{t-1} - \Delta z_i \leq z_i^t \leq z_i^{t-1} + \Delta z_i$ 。利用惩罚函数方法可以得到下式。位置 i 处双点基团的势能定义为:

$$U_2(\chi_i, \chi_{i'}) = \min\{\|\chi_i - \chi_{i'}\|^2, \alpha\}$$

式中, α 是一个大于零的阈值, 它是为了实现人脸区域一致性的分割而设定的值, 描述了各个相邻特征点的老化变化参数的关联程度。

4 老化检测求解过程

老化检测运用模拟退火算法求解, 在能量函数的约束下, 计算过程为:

- (1) 在温度 t , 由当前状态 i 随机产生一个新的状态 j ;
- (2) 计算状态转变后能量的变化 $\Delta E = E_i - E_j$;
- (3) 若 $\Delta E < 0$, 接受新状态 j 为当前状态;
- (4) 若 $\Delta E \geq 0$, 根据概率 $P = \exp(-\frac{\Delta E}{kt})$ 来接受新状态 j

为当前状态, k 表示 Boltzmann 常数。

在经过多次重复的抽样过程后, 算法逐渐达到一个能量较低的平衡态。根据概率公式 $P = \exp(-\frac{\Delta E}{kt})$ 可以发现, 当

温度 t 较高时,算法可接受比当前状态能量要高的新状态,因此可以跳出极小点;当温度 t 较低时,系统基本上只接受能量减小的新状态。

5 实验结果分析

本实验中,提出基于小邻域系和特征基团的人脸老化识别算法。实验过程中不论是学习样本还是测试样本,均首先对输入的图像进行直方图均衡化预处理,然后连续进行两次二维离散小波变换(2DWT)来降维和分解。原图像为 256×256 大小、tiff 格式的灰度图像,其经过两次小波变换后大小变为 64×64 ,数据量大大降低,但没有改变原图像的主要信息部分。然后将变换后的每幅图像分割成 4×4 块,每块子图像大小为 16×16 ,对每块子图像进行二维离散余弦变换(2DCT),余弦变换具有聚能作用,其能量主要集中在变换后的左上角。我们可以按“之”字形顺序(见图 1)提取每块子图像左上角的特征,然后按照先左后右、自上而下得到每幅图像对应的 $16 \times K$ 的矩阵,接着对该矩阵进行奇异值分解,得到相应的奇异值特征向量。

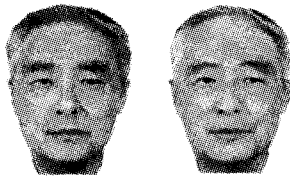


图 1 老化识别中的学习样本

老化识别学习样本的识别流程如图 2 所示。



图 2 老化识别过程

5.1 老化特征提取实验结果分析

实验的识别统计结果如表 1 所列。从表 1 中可以看出,提取特征个数 K 从 4 增长到 15 的过程中“中年老化”类图像的识别率均比较高,最低为 90%,最高为 93.33%,且受 K 值变化的影响不大。“老年”类老化的识别率更高,最高达 100.00% ($K=9$ 时),最低为 90.00% ($K=6、8、11$ 时)。“少年”类老化在 $K=5$ 和 $K=6$ 时识别率相对较小,分别为 86.67%、83.33%,其余情况下识别率也较高,最高为 100% ($K=4$ 时),次最高为 96.67% ($K=9、11$ 时)。“女性”类老化在 $K=4、5、6、7$ 时,识别率相对较低,分别为 82.76%、86.21%、79.31%、79.31%,在 $K=8$ 到 $K=15$ 的过程中,总体呈增长态势,识别率最高达到 93.10%。“男性”类老化识别率在 $K=4、8、9、10$ 时最高,达到 90.32%,其余情况下相对较低。“非真实”类老化在 $K=12、13$ 时最高,达到 90.00%,其它情况都在 85% 左右。“退化”类老化最高识别率为 93.55% ($K=15$ 时),最低为 80.65% ($K=10$ 时)。

总体来说,平均识别率随着 K 值的增大而不断提高,在 $K=9$ 时达到最高,为 91.47%,正确识别个数为 193 个。在 K 值从 10 增长到 15 过程中,总的识别率稳定在 90% 以上。

表 1 老化识别结果比较 ($K=4 \sim 7$)

老化	学习样本个数	测试样本个数	K=4		K=5		K=6		K=7	
			(正识个数及正识率)		(正识个数及正识率)		(正识个数及正识率)		(正识个数及正识率)	
AN	20	30	27	90.00%	27	90.00%	27	90.00%	27	90.00%
DI	20	29	24	82.76%	25	86.21%	23	79.31%	23	79.31%
FE	20	31	28	90.32%	26	83.87%	26	83.87%	27	87.10%
HA	20	30	23	76.67%	23	76.67%	24	80.00%	25	83.33%
NE	20	30	28	93.33%	28	93.33%	27	90.00%	29	96.67%
SA	20	31	26	83.87%	26	83.87%	26	83.87%	28	90.32%
SU	20	30	30	100.00%	26	86.67%	25	83.33%	28	93.33%
测试样本总数(211)										
正确识别个数及平均识别率			186	88.15%	181	85.78%	178	84.36%	187	88.63%

5.2 结果分析

(1) 基于小邻域系和特征基团的人脸老化识别算法是可行且有效的,为接下来的基于老化特征的人脸识别奠定了实践基础;

(2) 我们不断实验设计出来的老化特征提取学习样本库(见图 2)为基于小邻域系和特征基团的人脸老化识别算法良好的效果起到了促进作用,接下来同样可以将它作为学习样本来识别人脸,并用基于老化特征的人脸识别方法来提高鲁棒环境中的人脸识别率。

文献[2]提出鲁棒老化识别不仅要考虑光照、头部运动等干扰,而且要意识到人的因素。如何运用本文方法进一步提高鲁棒环境下的老化识别仍有待继续研究。

结束语 本文提出了一种基于小邻域系和特征基团的人脸老化检测算法,建立了人脸图像小邻域系和特征基团的对应关系,构造了运动参数联合概率分布的能量函数来反映人脸皮沟参数之间的约束关系。最后采用模拟退火算法对老化特征在约束关系下的相关关联求出最优解,得到不同老化程度下各皮沟特征点的关联性。实验表明:该方法能很好地对人脸不同状态下的老化进行识别,识别结果更加准确,且准确度更高。

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. of 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] 任成娟, 胡淑芳, 刘蒙文. 子模式局部保持映射人脸识别算法[J]. 重庆理工大学学报: 自然科学版, 2011, 25(6): 84-89