

Journal of Image  
and Graphics

# 中国图象图形学报



ISSN1006-8961  
CN11-3758/TB

2012 **6**  
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会主办  
北京应用物理与计算数学研究所

# 中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年6月 第17卷 第6期(总第194期)

## 目次

### 综述

人脸图像的年龄估计技术研究 ..... 王先梅, 梁玲燕, 王志良, 胡四泉(603)

图像统计模型参数估计中的期望最大值算法 ..... 李旭超(619)

### 图像处理和编码

鲁棒的梯度驱动图像修复算法 ..... 叶学义, 王靖, 赵知劲, 陈华华(630)

快速去块效应的线性规划方法 ..... 金剑秋, 刘春晓, 王勋, 章志勇(636)

DWT-SVD 域全盲自嵌入鲁棒量化水印算法 ..... 叶天语(644)

Mean-shift 滤波和直方图增强的图像弱边缘提取 ..... 冀峰, 高新波, 谢松云(651)

### 图像分析和识别

梯度点对约束的结构化车道检测 ..... 王永忠, 王晓云, 文成林(657)

多水平外区抑制的轮廓检测 ..... 闫超, 张建州(664)

基于局部投影与块 LBP 特征的图像检索 ..... 邹彬, 潘志斌, 胡森(671)

### 图像理解和计算机视觉

视觉陌生度驱动的增量自主式视觉学习算法 ..... 瞿心昱, 姚明海, 顾勤龙(678)

霍夫空间中多足球机器人协作目标定位算法 ..... 许家铭, 解仑, 王志良, 倪善超(687)

### 计算机图形学

虚拟 CCD 线阵星载光学传感器内视场拼接 ..... 张过, 刘斌, 江万寿(696)

“第八届数字电视与无线多媒体通信国际论坛”会议专栏

追踪盗版者的抗共谋数字指纹 ..... 李晓强, 张煌, 赵洋洋, 汪晶晶(702)

LBP 与鉴别模式结合的热红外人脸识别 ..... 谢志华, 伍世虔, 方志军(707)

电影中复杂事件的检索与识别 ..... 杜吉祥, 郭一兰, 翟传敏(712)

方向特征和网格特征融合的离线签名鉴别 ..... 杨丹凤, 吕岳(717)

视觉关注度的立体图像质量评价 ..... 张艳, 安平, 张秋闻, 张兆杨(722)

低开销的异构数据交换 ..... 赵凯, 赵正德(726)

灵活的多视点视频编码预测结构 ..... 张艳, 蔡灿辉(730)

跨层反馈在无线视频自适应编码中的应用 ..... 王垚中, 郑世宝, 张重阳, 刘勃(736)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 6 期

2012 年 6 月 16 日出版

主管单位 中国科学院  
主 办 中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会  
北京应用物理与计算数学研究所  
主 编 李小文  
编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会  
北京 9718 信箱 邮编 100101  
电子信箱:jig@irsa.ac.cn  
电话:010-64807995 010-82614429  
网 址:www.cjig.cn  
印刷装订 北京北林印刷厂  
广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号  
总 发 行 北京报刊发行局  
订 购 全国各地邮局  
国外发行 中国国际图书贸易总公司  
(中国国际书店)  
(北京 399 信箱 邮编 100044)

**Superintended by** Chinese Academy of Sciences  
**Sponsored by** Institute of Remote Sensing Application,  
CAS China Society of Image and Graphics  
Institute of Applied Physics and Computational  
Mathematics  
**Chief editor** LI Xiaowen  
**Editor, Publisher** Editorial and Publishing Board  
of Journal of Image and Graphics  
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)  
E-mail:jig@irsa.ac.cn  
**Distributed by** Beijing Bureau for Distribution of Newspapers  
and Journals  
**Domestic** All Local Post Offices in China  
**Foreign** China International Book Trading Corporation  
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)  
**Printed by** Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

# Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 6 June 2012

## Contents

### Review

- Age estimation by facial image: a survey ..... Wang Xianmei, Liang Lingyan, Wang Zhiliang, Hu Siqian(603)  
Expectation maximization method for parameter estimation of image statistical model ..... Li Xuchao(619)

### Image Processing and Coding

- Robust gradient driving image inpainting method ..... Ye Xueyi, Wang Jing, Zhao Zhijing, Chen Huahua(630)  
Fast image de-blocking by linear programming ..... Jin Jianqiu, Liu Chunxiao, Wang Xun, Zhang Zhiyong(636)  
Perfectly blind self-embedding robust quantization-based watermarking scheme in DWT-SVD domain ..... Ye Tianyu(644)  
Weak edge detection using Mean-shift filtering and histogram enhancement ..... Ji Feng, Gao Xinbo, Xie Songyun(651)

### Image Analysis and Recognition

- Gradient-pair constraint for structure lane detection ..... Wang Yongzhong, Wang Xiaoyun, Wen Chenglin(657)  
Contour detection based on multilevel inhibition ..... Yan Chao, Zhang Jianzhou(664)  
Image retrieval method based on local projection and block LBP feature ..... Zou Bin, Pan Zhibin, Hu Sen(671)

### Image Understanding and Computer Vision

- Visual novelty driven incremental and autonomous visual learning algorithm ..... Qu Xinyu, Yao Minghai, Gu Qinlong(678)  
Target localization algorithm for cooperative multi-soccer robots based on Hough space .....  
..... Xu Jiaming, Xie Lun, Wang Zhiliang, Ni Shanchao(687)

### Computer Graphics

- Inner FOV stitching algorithm of spaceborne optical sensor based on the virtual CCD line .....  
..... Zhang Guo, Liu Bin, Jiang Wangshou(696)

### Special Issue of the IFIC' 2011

- Anti-collusion fingerprinting scheme capable of tracing pirate ..... Li Xiaoqiang, Zhang Huang, Zhao Yangyang, Wang Jingjing(702)  
Infrared face recognition using LBP and discrimination patterns ..... Xie Zhihua, Wu Shiqian, Fang Zhijun(707)  
Recognize and retrieval complex events in real movies ..... Du Jixiang, Guo Yilan, Zhai Chuanmin(712)  
Off-line signature verification based on combination of direction feature and grid feature ..... Yang Danfeng, Lv Yue(717)  
Stereo image quality assessment based on visual attention ..... Zhang Yan, An Ping, Zhang Qiuwen, Zhang Zhaoyang(722)  
Low overhead of heterogeneous data exchange ..... Zhao Kai, Zhao Zhengde(726)  
Flexible prediction structure for multi-view video coding ..... Zhang Yan, Cai Canhui(730)  
Cross-layer feedback based adaptive coding for wireless video transmission .....  
..... Wang Yaozhong, Zheng Shibao, Zhang Chongyang, Liu Bo(736)

中图法分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)06-0603-16

论文引用格式: 王先梅, 梁玲燕, 王志良, 胡四泉. 人脸图像的年龄估计技术研究[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(6): 603-618.

# 人脸图像的年龄估计技术研究

王先梅, 梁玲燕, 王志良, 胡四泉

北京科技大学计算机与通信工程学院, 北京 100083

**摘要:** 年龄信息作为人体的一种重要生物特征, 在安全监控、人机交互、视频检索等领域有着巨大的应用潜力, 并且是人脸识别技术的主要瓶颈问题之一。基于人脸图像的年龄估计技术作为一种新兴的生物特征识别技术, 目前已经成为计算机视觉、人机交互等领域的一个重要研究课题。为此对国内外近几年来在年龄估计技术方面的发展情况进行了综述, 主要包括年龄特征提取与年龄分类模式两大部分。同时对常用的年龄数据库、性能评价指标进行了总结, 并在此基础上对当前的一些年龄估计系统的性能进行了对比。最后, 对基于人脸图像的年龄估计技术所面临的挑战以及可能的发展方向进行了讨论。

**关键词:** 人脸衰老; 年龄估计; 年龄特征提取; 年龄分类模式; 年龄数据库

## Age estimation by facial image: a survey

Wang Xianmei, Liang Lingyan, Wang Zhiliang, Hu Siqian

School of Computer and Communication Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

**Abstract:** Age information, as an important personal trait, has great potential in safety surveillance, human-computer interaction, multimedia applications, and face recognition. As an emerging biometric information identification technology, face-image based age estimation has gained great attention recently and has become one of the important research topics in machine learning and computer vision. In this paper, we survey most existing commonly used methods in face-image based age estimation, especially focusing on the extraction of age features and classification. Then, we also introduce some face aging databases and evaluation protocols, which are widely used at present. Based on these databases and evaluation methods, a comparison of the performances of several age estimation systems is presented. Finally, the challenges and promising directions of age estimation techniques are discussed.

**Key words:** face aging; age estimation; age feature extraction; age classification; aging database

## 0 引言

人脸是一个丰富的信息源, 人们能容易地从人脸图像中抽取大量的有用信息, 如身份、情感、性别、年龄、态度等。因此与人脸相关的信息处理技术已经成为计算机视觉、人机交互和模式识别等领域中的重要研究课题, 例如在近几十年中, 人脸识别、

面部表情合成与识别、性别分析等均得到了长足的发展。年龄信息作为人类的一种重要生物特征, 在人机交互领域中有着众多应用需求, 并且对人脸识别系统的性能有着重要影响。

基于人脸图像的年龄估计是指应用计算机技术对人脸图像随年龄变化的规律进行建模, 从而使机器能够根据面部图像推测出人的大概年龄或所属的年龄范围(年龄段)。众所周知, 人类的衰老(老化)

收稿日期: 2011-06-24; 修回日期: 2011-11-01

基金项目: 国家自然科学基金(61105120; 61170115; 61170117)

第一作者简介: 王先梅(1974—), 女, 副教授, 2007年获北京科技大学控制理论与控制工程博士学位, 主要研究方向为机器学习。

E-mail: plum-wang@tom.com

是一个非常复杂、不受人意志控制的过程,它不仅与健康状况、生活方式、工作性质、生活压力、健康状况和社会影响等多种因素有关,同时还受到遗传基因的影响,具有多样性以及不确定性的特点。随着年龄的增大,不同的人在同一年龄段将呈现出不同的外貌形态,所以基于人脸图像的年龄估计无论在学术研究或是在实际应用系统的设计中都存在巨大的困难和挑战。

如果基于人脸图像的年龄估计问题得到解决,那么在日常生活中,基于年龄信息的各种人机交互系统将在现实生活中有着极大的应用需求<sup>[1-3]</sup>,具体主要包括以下几个方面:1)安全监控。通过年龄估计系统自动判断人的年龄,实现安全网络或安全门禁控制,这对保护未成年人的健康成长尤其重要。例如可以阻止未成年人进入酒吧或舞厅等一些成年人的娱乐场所;销售烟酒的自动服务机可以通过识别年龄,拒绝向未成年人出售烟酒;在安全的互联网访问控制系统中,通过年龄估计可以确保青少年儿童不能浏览包含成人信息的网页或其他含有不健康内容的网页。2)电子顾客管理系统。在电子顾客管理系统中,通过摄像头采集人脸图像并自动进行年龄估计,可以实现对各年龄段顾客的消费特点和产品喜好进行自动、无干扰地收集与分析,从而便于对不同年龄段的顾客进行产品开发并提供有针对性的营销服务。3)和谐人机交互。通过自动识别用户的年龄,计算机可以为不同年龄的用户提供适合其年龄特点的用户界面和使用环境(例如调整音量与音调、字体颜色与大小等),从而改变目前呆板的人机交互现状,提供更为人性化的服务。4)人脸识别。研究表明,年龄变化所带来的人脸外貌变化对人脸识别系统的性能有着非常重要的影响。对于较大范围的年龄变化,其人脸识别准确率较低,鲁棒性很差。因此年龄信息作为一种生物特征,除了会对使用者的身份认证提供有效的信息外,也将大大提高多年龄人脸识别系统的鲁棒性。5)图像与视频检索。可以通过限定检索对象的年龄范围,从数据库中检索到需要的人脸图像或视频片断。例如,具有人脸年龄分类功能的电子相册,能够快速地从大量照片中找到特定年龄范围的照片或者将照片按照年龄进行分类存储。6)刑事侦查。将人脸年龄估计技术用于刑事侦查,可以帮助刑侦人员根据现场所留下的视频监控资料来判断犯罪嫌疑人的大致年龄,从而缩小侦查范围。

尽管自动年龄估计十分重要,但是与表情识别、人脸识别等面像研究工作相比,自动年龄估计技术起步较晚,其最早的研究文献可以追溯到 1994 年 Kwon 和 Lobo 所发表的论文<sup>[4]</sup>,真正意义上的研究可以追溯得 2002 年 Lanitis 的工作<sup>[5]</sup>。迄今为止,无论在国内还是国外,关注年龄估计的研究还是相对较少,但是近几年逐年呈现出一定的上升趋势。目前从事年龄估计的国外研究机构主要包括美国的 Illinois 大学 Urbana 分校<sup>[6-10]</sup>、Maryland 大学 Park 分校<sup>[1,11-12]</sup>、North Carolina 大学的 Wilmington 分校<sup>[13-15]</sup>、Rutgers 大学<sup>[16]</sup>、澳大利亚的 Monash 大学<sup>[17-18]</sup>、加拿大的 Concordia 大学<sup>[19-20]</sup>、日本的东京农工大学<sup>[21-22]</sup>、新加坡的 Nanyang Technological 大学<sup>[23-25]</sup>以及塞浦路斯的 Cyprus 大学<sup>[5,26-27]</sup>。国内的南京大学<sup>[19-20,28-29]</sup>、中国科学院计算研究所<sup>[30-31]</sup>、清华大学<sup>[32-33]</sup>、上海交通大学<sup>[2,34]</sup>、天津大学<sup>[35]</sup>、东南大学<sup>[3]</sup>、华侨大学<sup>[36-38]</sup>、Lotus Hill 研究院<sup>[30-31]</sup>以及台湾地区的国立清华大学<sup>[39-40]</sup>等都有相关人员从事人脸年龄估计方面的研究。

基于人脸图像的年龄估计系统是一种典型的机器学习系统,其系统结构一般分为人脸检测与定位,年龄特征提取,年龄估计,系统性能评价,人脸年龄数据库几个部分。由于人脸检测与定位技术目前已经成为一个独立的分支,相关文章也很多,因此主要从后 4 个部分对近年来年龄估计这一新兴课题的研究现状与发展水平进行总结。

## 1 年龄特征提取

年龄特征提取的主要目的是从人脸图像或图像序列中提取能够表征年龄变化的特征值,从而为后续的年龄估计奠定基础。年龄特征提取是年龄估计系统中最重要的一部分,稳定而有效的年龄特征能够大大提高年龄估计系统的性能,并降低年龄估计算法的难度。

通常一个人在成长过程中,其人脸形状、脸部纹理、皮肤颜色、面部斑点、皮肤松弛度、发际线等都有着不同程度的变化,因此研究者往往根据这些变化来直接或间接地提取各种面部年龄特征。根据特征所反映的人脸信息,可以将常用的人脸年龄特征分为形状特征、纹理特征、代数特征以及混合特征。由于每种类型的特征均从不同角度描述了人脸图像,为了充分利用各种特征的优点,研究人员通常综合

集成多种人脸特征,并采用不同的数学方法对其进行处理,从而形成了各具特色的面部年龄特征提取模型。常见的特征提取模型包括人体测量学模型(anthropometric models)、特征子空间模型(AGES)、柔性模型(flexible models)、流形学习(age manifold)以及外观模型(appearance model)等。

### 1.1 人体测量学模型

人体测量学模型主要是描述随着年龄的增长人脸整体轮廓变化的数学规律,它所测量的是人脸的一种结构信息。

利用人体测量学模型进行人脸描述是人脸特征提取领域研究最早的一种模型,其研究可以追溯到Kwon等人<sup>[4]</sup>的研究,该方法的主要思想是基于颅面发展理论。颅面发展理论的数学模型是Todd等人<sup>[41]</sup>在关于颅面增长的心理物理学研究中所提出的一种“修正”曲线拉伸模型。该模型认为颅骨的变化与所受压力的大小和方向有关,因此可用一个充满液体的球体来模拟颅骨的变化。该模型能有效描述一个人从孩童逐渐成长为成年人过程中的头部轮廓变化规律,其表达式可以表示为

$$\begin{aligned} P &\propto R_0(1 - \cos \theta_0) \\ R_1 &= R_0 + kR_0(1 - \cos \theta_0) \\ \theta_0 &= \theta_1 \end{aligned} \quad (1)$$

式中, $P$ 对应面部特征的压力因子,  $(R_0, \theta_0)$ 与  $(R_1, \theta_1)$ 表示面部特征变换前后的极坐标值,  $k$ 为用户定义的增长参数。

Kwon等人<sup>[4,42]</sup>最早采用人体测量学模型对人脸图像进行年龄特征提取。他们采用可变形模板和Snakelets能量函数进行人脸轮廓检测并在此基础上进行人脸特征点定位,然后计算出6种几何比例用于小孩年龄段与其他年龄段的区分。这6种比例值分别是:两眼之间的间距/鼻子与眼睛的间距、两眼之间的间距/眼睛与嘴巴的间距、两眼之间的间距/眼睛与下巴的间距、眼睛与鼻子的间距/眼睛与嘴巴的间距、眼睛与嘴巴的间距/眼睛与下巴的间距、头部与下巴的间距/眼睛与下巴的间距。

Horng等人<sup>[43]</sup>根据人脸的对称性特点,采用Sobel边缘检测法进行特征点定位和区域标记,提取出嘴巴与眼睛的间距/两眼之间的间距、两眼中心与鼻子的间距/鼻子与嘴巴的间距两种比例特征。最后采用BP神经网络对这两种比例特征进行训练,实现了婴儿年龄(0~2岁)和非婴儿类(3岁以上)的分类。

总之,人体测量学模型利用了人脸的几何形状特征,主要适合于对未成年人进行年龄分类。由于该模型对人体姿态变换比较敏感,因此主要适用于提取正面人脸图像的年龄特征。到目前为止,还没有见到单独使用该模型进行特征提取,并在大型年龄数据库上进行年龄估计的评估报告。在实际研究中,人们常将纹理信息与人脸测量学模型结合起来进行年龄估计<sup>[30,44]</sup>。

### 1.2 柔性模型

柔性模型<sup>[2]</sup>将人脸的形状与灰度/纹理有机结合起来,用统计的方式建立人脸模型。其典型的代表是主动形状模型(ASM)和主动外观模型(AAM)。

在ASM/AAM柔性模型中,人脸图像 $x$ 可表示为

$$x = x_m + Pb \quad (2)$$

式中, $x_m$ 表示平均脸, $P$ 为特征向量矩阵, $b$ 为模型参数(或称向量系数),不同的人脸图像将对应不同的模型参数 $b$ 。

AAM<sup>[45]</sup>是由Cootes等人提出的一种人脸统计模型,是主动形状模型的延伸,它在形状模型的基础上添加了全局纹理模型。Lanitis等人<sup>[5]</sup>首次将AAM应用于基于人脸图像的年龄估计特征提取中,建立年龄与人脸特征参数之间的函数关系

$$y = f(x) \quad (3)$$

式中, $x$ 是人脸模型参数, $y$ 为该人脸图像对应的估计年龄值, $f$ 为人脸图像与年龄之间对应关系的函数。

清华大学的王俊艳等人<sup>[32]</sup>通过改进的多尺度ASM提取人脸的形状和纹理特征,然后通过建立年龄函数把人脸特征与年龄大小关联起来。首先通过ASM方法自动获取人脸图像的点分布模型,通过形状特征点坐标在形状主元空间上的投影,得到形状特征向量;再通过形状拉伸去除形状特征,得到单独的纹理图像,将其在纹理主元空间投影得到纹理特征向量。最后按照最优化准则(最小二乘方法)得到年龄函数的相关系数,并结合人脸变老方式进行年龄估计。

总之,柔性模型从整体入手,充分提取人脸图像的形状信息和全局纹理信息,因此可以更好地适应复杂图像的特征点定位和特征提取。但随着年龄的增长,人脸纹理的变化更多地体现在局部区域,如额头、眼角、脸颊等,因此采用该模型进行特征提取时,将会丢失掉很多局部纹理信息,可能不利于对老年

人进行年龄估计。在训练过程中,柔性模型通常将形状和纹理空间分别进行训练,这将会损失掉大量纹理和形状之间的有效信息。此外柔性模型的确定依赖于很多脸部特征点的准确定位,一旦定位出现误差,这种误差将很容易在后续处理中被放大<sup>[3]</sup>。

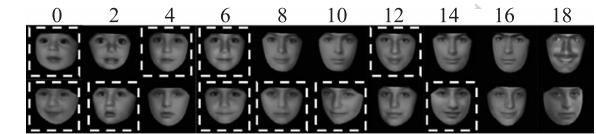
### 1.3 特征子空间模型

由于每个人的衰老过程都是非常复杂且不可控制的,它不仅与健康状况、生活方式和天气条件等有关,同时还受到遗传基因的影响。为了解决人脸衰老过程中的个性化问题,Geng 等人<sup>[17-18]</sup>提出了一种如图 1 所示的年龄特征子空间模型。该模型由同一个人不同年龄时期的一组人脸图像决定,按时间顺序将每个对象不同年龄的人脸图像组合在一起构成该个体的年龄模式,将不同个体的年龄模式按照一定的关系进行映射就得到年龄模式空间。在该模式中,如果每个年龄值的人脸图像都存在,则该模型称为完整年龄模型,如图 1(a)所示,否则该模型称为不完整年龄模型,如图 1(b)所示,对应年龄值上人脸图像不存在的向量用“m”表示,AGES 模型采用 EM (error minimum) 迭代算法学习得到向量“m”。

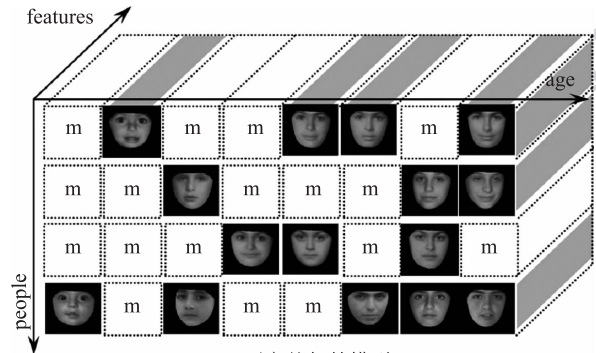
AGES 模型由学习训练和年龄估计两部分组成。在 AGES 的学习阶段,Geng 等人采用 AAM 提取了 210 维人脸参数作为人脸特征,但是最终仅用了其中的 50 维特征,然后通过主元分析(PCA)训练得到子空间模型,进而估计出人的大致年龄,具体过程如图 1(c)所示。在一些年龄模型中,由于某些年龄值对应的人脸图像不存在,那么由 PCA 训练得到的子空间模型将不能有效反映该人的特征模型。为解决该问题,Geng 等人采用 EM 迭代算法最小化真实人脸图像与重构人脸图像之间的误差来寻找最优特征向量,缺失图像的初始特征值由其他人相同年龄位置上的真实人脸图像特征的均值代替,该模型重构得到的人脸图像如图 1(a)所示。在年龄估计阶段,测试人脸图像需要找到合适的年龄模式,然后对每个年龄位置上的人脸图像进行重构,重构人脸图像与测试人脸图像的重构误差最小的位置点就为该测试人脸的估计年龄值,如图 1(b)所示。如果测试图像放在了不合适的年龄位置点,重构的人脸看上去将会让人感到非常奇怪。

根据人的面部衰老具有个体化与动态性的特点,文献[16]则将 Ranking 排序模型融入到基于 AGES 的年龄估计中。他们首先采用类 Haar 特征

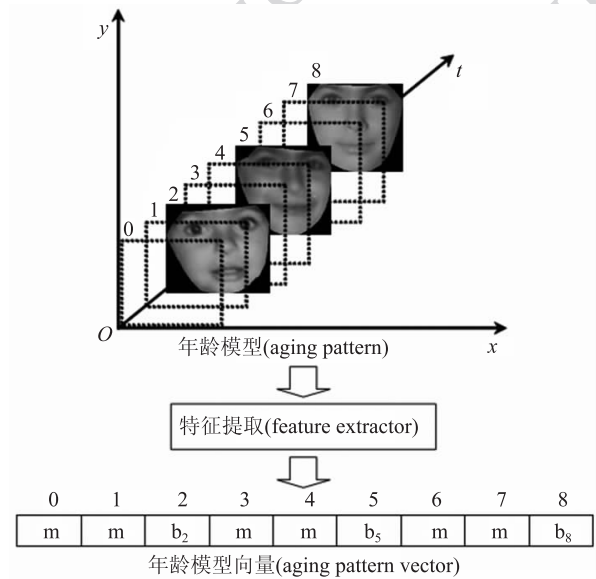
对人脸进行描述,每幅图像(60×60)得到 195 552 维特征,然后采用 RankBoost 模型进行降维。在弱分类器的构造过程中,他们用年龄序列中任意一对人脸图像 $\{x_k, x_{k+1}\}$ 代替单幅人脸图像进行弱分类器训练,最终选取了 1 000 个分类能力强的 Haar 特征。该方法以 FG-NET 年龄数据库为基础,采用不同的方法对挑选的特征进行了估计。当采用 SVR(support vector regression)进行年龄估计时,平均估计误差为 5.67 a,结果优于文献[17](6.22 a)和文献[30](5.974 a);在特征维数为 50 的时候就取得了比文献[30](采用 572 维特征)更好的实验效果。



(a) 完整年龄模型



(b) 不完整年龄模型



(c) 年龄模型向量图

图 1 年龄模型图<sup>[17-18]</sup>

Fig. 1 Ages models<sup>[17-18]</sup>

为了取得较好的重构效果,子空间方法要求尽可能完整地收集每个个体在不同年龄段的图像,而实际研究中很难满足这种理想状态。一般情况下,研究者往往只能收集不同个体一定时间期内的或者间断的人脸图像数据来构成不完整的数据集。为了提高在数据库不完整情况下的年龄估计精度,Geng等人<sup>[18]</sup>又提出了信息缺失情况下的多线性子空间(M<sup>2</sup>SP)处理方法,该方法可以在个体年龄图像数量很少时仍然取得较好的估计效果。

总之,在 AGES 年龄模型中,人脸图像在图像序列中的位置点对应该人的年龄值。该模型集人脸重构与年龄估计于一体,把每个人的变老过程作为一个独立的年龄模式,自然地将个人身份与时间相结合,把基于完整数据库的年龄估计问题转化为非完整数据库的年龄估计问题,大大降低了年龄数据库的收集难度。但在实际建立 AGES 模型时,需要同一个人多幅不同年龄的图像来建立子空间,因此该模型将不适合一些年龄数据库,如 YGA 数据库;同时 AGES 模型采用柔性模型对人脸图像进行特征提取,而柔性模型主要是对形状和全局纹理特征进行提取,因此在人脸重构阶段,可能无法很好地对人脸的局部纹理进行重构。

#### 1.4 流形学习模型

Guo 与 Fu 等人<sup>[7-8]</sup>从统计学的角度认为序列模型是人类年龄变化的一个重要特征,每幅人脸图像对应唯一的年龄标签,大量不同年龄图像的年龄特征将会在序列模型上有明显的变化趋势。而认知科学家认为同一事物随着时间、空间等因素连续发生变化时形成了一个低维的流形,人的强大认知能力正是对这个稳定流形的视觉记忆<sup>[46]</sup>。因此 Guo 与 Fu 等人将流形学习引入到人脸图像的年龄模型中。

流形学习旨在发现高维数据集分布的内在规律性,从采样数据学习得到低维流形的内在几何结构或者内在规律。因此年龄特征的流形学习就是寻找一种特征空间,将人脸原始图像数据通过该特征空间转化为一组低维年龄特征用于年龄估计中。

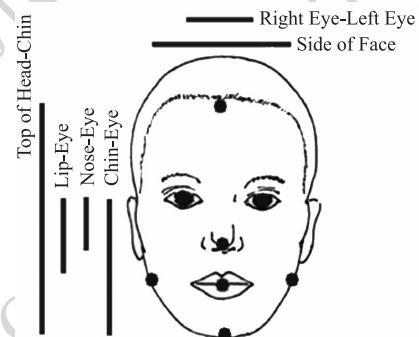
Guo 与 Fu 等人通过实验比较了典型的维数降解和嵌入式流形学习方法,并基于 UIUC-IFP-Y 年龄数据库对 PCA、局部线性嵌入算法(LLE)、正交局部保留投影法(OLPP)进行比较。实验结果表明:OLPP 方法在提取年龄特征的流形学习方面,具有明显可分的老化趋势,其性能优于 PCA 和 LLE,符合年龄估计对特征提取的要求。

年龄特征的流形学习方法的优点是:以一种低维度的形式来表示原始年龄数据,且能够捕获潜在的脸部年龄成长结构<sup>[3,7]</sup>。它在本质上属于一种年龄模式的子空间学习方法,但与 AGES 不同的是:该方法不需要针对每个人建立个性化的年龄模式子空间。年龄特征的流形学习方法用于年龄特征提取中,仅要求每个年龄值对应多幅人脸图像,而不要求同一个人不同年龄段的多幅图像,但由于年龄特征的流形学习方法对数据库的数量要求较多,因此该方法适合于大型的年龄数据库,且要求每个年龄段的数据分布比较均匀。

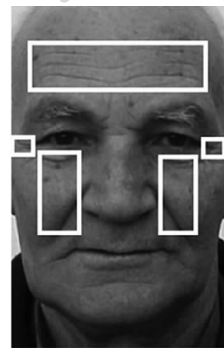
#### 1.5 外观模型

在与年龄相关的面部特征的提取中,人们非常重视基于外观模型的特征提取,包括全局信息和局部信息,如面部纹理信息、频率信息和肤色信息等,并与人脸几何特征等信息相融合进行人脸描述。

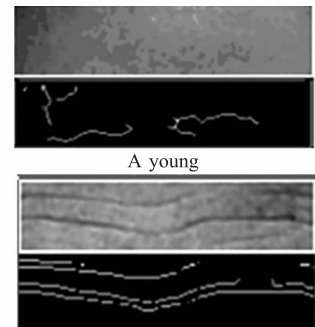
Dehshibi 等人<sup>[47]</sup>采用人体测量学模型与纹理信息相结合的方式(如图2所示)进行年龄估计。该方法首先进行特征点定位以提取7种五官比例,并采用 Canny 边缘检测的方法提取出前额、眼角和脸颊3个区域的纹理密度,最后采用4层的BP(back propagation)神经网络进行4个年龄段的分



(a) 8个特征点与6种面部距离



(b) 纹理提取区域



(c) 纹理密度图

图2 Mohammad 的五官距离和纹理提取区域<sup>[46]</sup>

Fig. 2 Facial feature extraction by Mohammad<sup>[46]</sup>

类:5岁以下、16~30岁、31~50岁和50岁以上。Dehshibi 等人采用自己建立的 IFDB 年龄数据库中的 298 幅人脸进行训练,210 幅人脸用于测试,平均分类准确率为 86.64%。

Txia 等人<sup>[40]</sup>在眼睛定位的基础上,采用 AAM 进行面部 28 个关键点的定位,并在此基础上提取面部关键区域的明显皱纹信息和头发的颜色信息。提取纹理信息时,首先用 Sobel 算子提取如图 3 所示的额头、左右眼角、左右眼袋、左右嘴角、左右鼻翼、下巴等区域的边缘密度信息。为了减少胡须对嘴角特征的影响,他们采取边缘密度阈值法判断嘴角是否有胡须,如果嘴角边缘密度超过了规定的阈值,则忽略嘴角的特征。此外,为了克服不同姿态对特征大小的影响,在计算左右眼部、鼻翼、嘴角等区域的特征时,将左区域或右区域的最大特征值作为眼角、眼袋、鼻翼和嘴角的特征。在提取头发的颜色时,首先采用窗口搜索法寻找头发区域,然后计算头发区域的 256 维灰度直方图,最后用 PCA 和多元判别分析(MDA)法对灰度直方图进行降维处理,并将降维后的信息作为最终的头发颜色特征。最后将皱纹信息与头发颜色信息送入支持向量机(SVM)进行 4 个成人年龄段(20~30岁,31~40岁,41~50岁,51~60岁)的判别,在 MORPHY 数据库的识别率为 72.52%。

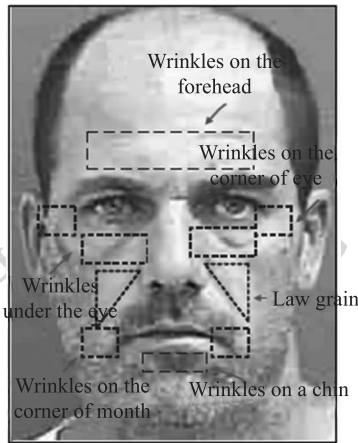


图 3 明显皱纹信息的提取<sup>[40]</sup>

Fig. 3 The extraction of wrinkle texture<sup>[40]</sup>

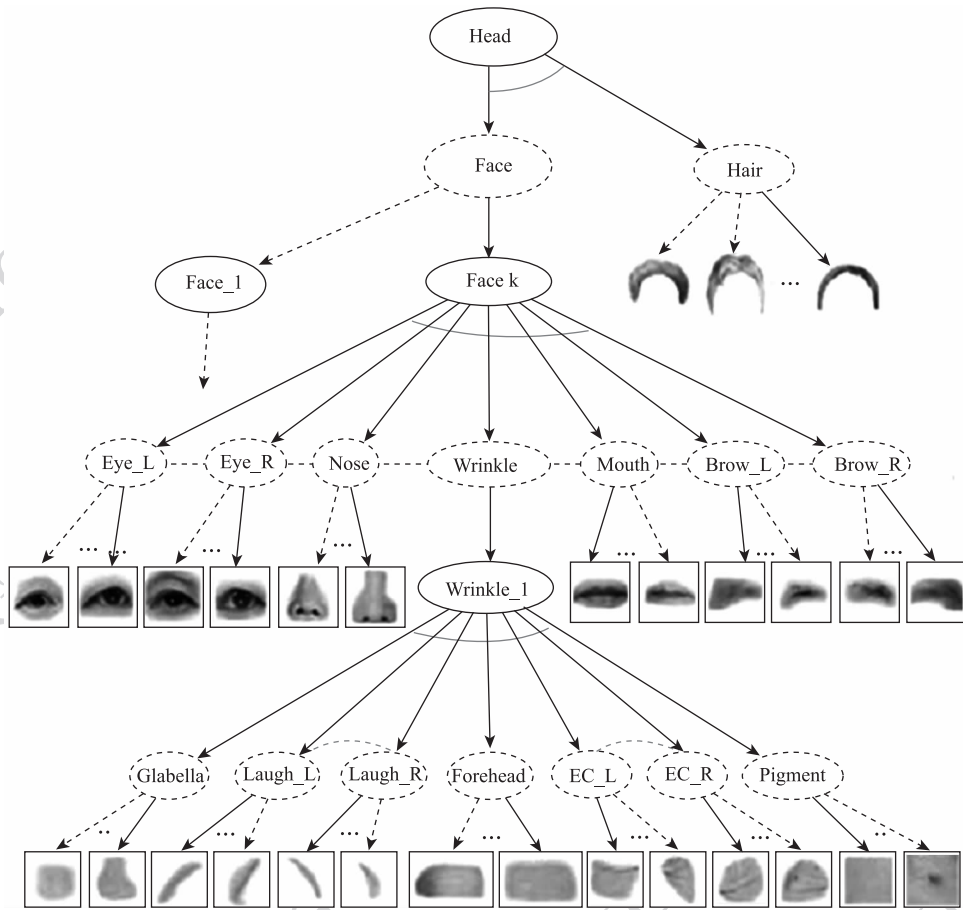
Guo 等人<sup>[9]</sup>基于 Gabor 滤波器提取人脸纹理特征并提出了一种 biologically inspired features (BIF) 用于年龄估计。BIF 的提出是受到“HMAX”模型的影响,“HMAX”模型是一种前向反馈模型,该模型是由简单和复杂单元层交替组成,以构造一种处理从

初始视觉皮层(primary visual cortex VI)到下级临时皮层(inferior temporal cortex IT)的复杂度递增的层进度模型。在 Guo 所设计的年龄估计系统中,第 1 层 S1 层采用 Gabor 滤波处理输入图像,第 2 层 C1 基于 S1 层的结果采用“MAX”过滤操作,然后进行维数降解以用于年龄估计分类。该系统采用 SVM 进行年龄分类,在 FG-NET 数据库上实验的平均绝对误差为 4.77 a,在 YGA 数据库中,女性的平均绝对误差为 3.91 a,男性为 3.47 a。

Suo 等人<sup>[31]</sup>认为提取有效的年龄特征是自动年龄估计系统实现的关键点之一,并提出了一种如图 4 所示的基于低、中、高分辨率的分层人脸描述模型(整体层、五官层、纹理层)。该模型根据拓扑学、几何学、光学和结构学 4 种模型,把人脸图像分解为从粗(coarse)到细(fine)的多个细节部分进行面部特征提取,包括人脸几何特征、肤色特征、低频和高频纹理特征、发际线等,并用与或图(and-or graph)方式解释各层之间的相互关系,最后采用回归性算法进行年龄估计。在 FG-NET 年龄数据库上,该系统的平均绝对误差为 5.97 a。在他们自行建立的年龄库上,系统的平均绝对误差达到 4.68 a,误差范围在 10 a 以内的准确率高达 91.6%。

余庆等人<sup>[36-38]</sup>则采用代数变换的方法进行面部外观分析。他们采用改进的 NMF (non-negative matrix factorization) 方法,将线性判别分析融入到矩阵分解中,直接对每个 NMF 基图像进行线性判别分析,保留最具判别力的基图像来构造子空间并进行投影<sup>[36-37]</sup>。这样既解决了小样本问题,又获取了最具判别力的特征。实验结果表明,改进的 NMF 比传统的 PCA 方式有更高的鉴别力。2009 年杜吉祥等人<sup>[38]</sup>又使用一种基于 WTA (winner-take-all) 竞争规则的独立分量分析方法来实现年龄估计任务。人脸图像经过归一化后,使用基于 WAT 方案的 ICA (independent component analysis) 算法对人脸图像进行非线性特征提取,用径向基神经网络来进行预测,实现了人脸图像的年龄自动估计。基于 FG-NET 人脸数据库的实验结果表明:改进的 WTA-ICA 算法在 4~7 岁的年龄误差明显好于经典的 PCA 方案。

作为一种灰度范围内的纹理量度方法,局部二值模式(LBP)也被用于提取面部的纹理特征。Nabiyev 等人<sup>[22]</sup>采用 LBP 进行人脸全局和局部纹理提取,分别采用最小距离分类,最近邻分类法和 k-近邻分类法进行年龄组分类,在 FERET 数据库上实

图4 分层人脸模型图及所用特征<sup>[31]</sup>Fig. 4 Hierarchical face model and feature types<sup>[31]</sup>

验准确度达到80%以上。王甦菁等人<sup>[48]</sup>采用活动形状模型将人脸分成若干个三角形,每个三角形与人脸部特定的区域相对应,然后使用LBP提取每个三角形区域的纹理特征,并通过支持向量回归算法对年龄进行估计。基于FG-NET年龄数据库的实验结果表明,其平均绝对误差小于AGES算法。Chen等人<sup>[15]</sup>则采用AAM将人脸分成若干个区域,然后在区域尺寸进行归一化的基础上,提取每个区域的LBP直方图特征。在采用PCA进行降维后得到150维的LBP直方图特征,最后采用Least Angle Regression方法进行年龄估计。

总之,外观模型是目前应用最为广泛的年龄特征提取模型,它较好地描述了面部的纹理特性,并常常与形状特征相融合,可以较好地实现全年龄段的年龄估计。然而目前的外观模型往往侧重于从数学角度分析面部的纹理特性,忽略了数学性质后面隐藏的语义信息,尤其是缺乏直观的纹理方向与纹理深度的描述方法。

## 2 年龄估计模式

基于人脸图像的年龄估计是一类“特殊”的模式识别问题:一方面由于每个年龄值都可以看作是一个类,所以年龄估计可以被看作是一种分类问题(Classification);另一方面,年龄值的生长是一个有序数列的不断变化过程,因此年龄估计也可被视为一种回归性问题(Regression)。Fu等人<sup>[10]</sup>通过对已有年龄估计工作进行总结后认为:针对不同的年龄数据库和不同的年龄特征、分类模式和回归模式具有各自的优越性,因此将二者有机融合可以有效提高年龄估计的精度。由于传统的年龄估计模式忽略了人脸衰老的动态性,最近研究人员又将Rank模型引入到年龄估计方法中<sup>[16,49-50]</sup>,并取得了较好的效果。

### 2.1 单一年龄估计模式

单一年龄估计模式是指采用单独的分类器或

者回归模式对年龄组进行分类或对年龄值进行估计。根据分类的具体目标,可以将单一年龄估计分为年龄段(组)的估计与年龄值的估计。所谓年龄段的估计就是根据分类器确定出该人脸所属的年龄段范围,如小孩、青年、中年、老年或者 0~10 岁、10~20 岁、30~40 岁等;所谓年龄值的估计则就是根据年龄估计器估计出该人脸的年龄值,也被称为年龄值估计,如 1 岁,2 岁,3 岁等<sup>[5]</sup>。

### 2.1.1 分类模式

分类模式采用模式分类的理念与方法实现年龄的估计。

在年龄段(组)估计方面:Horng 等人<sup>[43]</sup>采用由形状特征和面部纹理特征分别训练得到的 BP 神经网络进行 4 种年龄段的分类。Dehshibi 等人<sup>[47]</sup>结合人脸形状特征和面部纹理特征,训练得到 4 层 BP 神经网络进行年龄段的分类;Gao 等人<sup>[51]</sup>采用 Gabor 滤波器进行年龄特征的提取,通过对 SVM、Adaboost、模糊 LDA (linear discriminant analysis) 方法对年龄组(婴儿、小孩、成年、老年)进行分类,分别得到了 89.78%、76.69%、91.00% 的准确率,该实验基于他们自己搜集的网络人脸年龄库,其中训练库包括 0~79 岁的 5 408 幅图像,测试库包括 57 幅婴儿图像,350 幅小孩图像,492 幅成年人图像和 79 幅老年人图像。同时作者认为对于年龄组分类,采用分类方法性能优于统一的回归模式方法。Takimoto 等人<sup>[52]</sup>也采用人工神经网络进行分类。他们将人脸形状、颜色、纹理等信息作为特征,采用 3 层人工神经网络进行训练与年龄段分类。年龄组数为 6 组,间隔为 10 a。在 HOIP 上的实验结果表明:男性的年龄估计准确率为 56.6%,人工估计准确率为 53.1%;女性的年龄估计准确率为 49.5%,人工估计准确率为 51.1%。

HMM(hidden markov models)也是一种重要的年龄分类方法。Zhuang 等人<sup>[6]</sup>采用基于 HMM 方法对年龄组进行分类。他们首先将每个训练图像分为若干个相互覆盖的子块,并假设每个块的观察值输出相互独立,然后统计出每个子块的 HMM 模型参数,将它们联合起来作为该子块的概率密度,最后使用最近邻方法进行分类。他们使用 4 000 幅 0~93 岁(每 10 岁为一段,共 8 组,其中 70~93 岁为第 8 组)的图像进行测试,取得了比高斯混合模型(GMM)更好的实验效果,平均估计误差为 6.334 年(女)和 5.397 年(男)。

### 2.1.2 回归模式

回归模式运用回归分析的方法,通过建立表征人脸年龄变化规律的函数模型来实现年龄的估计。

早期 Lanitis<sup>[5]</sup>评价了 3 种年龄函数的年龄估计性能:线性函数、平方函数和立方函数,每种函数的最佳函数参数是通过遗传算法训练得到的,实验结果表明平方函数的估计性能最优。Lanitis 在文献[26]中进一步评价了其他不同年龄分类器的性能,包括二次年龄函数、最近距离分类器、多层感知器算法(MLP)、自组织映射神经网络(SOM)算法。该实验中,人脸年龄特征采用 Cootes 提出的人脸统计模型—主动外观模型表示,每幅训练人脸的年龄特征用 22 个模型参数表示。他们使用 400 幅 0~35 岁的人脸图像进行测试,每组包含 210 幅图像,二次年龄函数、最近距离分类器、MLP、SOM 算法的平均估计误差分别为 5.04 a、5.65 a、4.78 a 和 4.9 a,其中 21 名观察者的平均主观估计年龄与真实年龄的误差为 3.64 a。

Guo 等人<sup>[8]</sup>为了比较分类模式和回归模式在年龄估计中的性能,基于两种年龄数据库对 SVM 和 SVR(support vector regression)进行了比较,其中年龄特征采用 OLPP 流形学习模型学习得到。通过实验得出,SVM 和 SVR 在 YGA 年龄数据库,女士平均绝对误差分别为 5.55 a 和 7 a,男士平均绝对误差分别为 5.52 a 和 7.47 a;而在 FG-NET 年龄数据库中,平均绝对误差分别为 7.16 a 和 5.16 a。

张宇等人<sup>[28]</sup>基于典型相关分析(CCA)和代价敏感学习方法(CLS)对年龄值进行估计,并在此基础上利用集成技术来提高年龄估计的准确性。该方法基于 FG-NET 年龄数据库,采用 LOPO(leave-one-person-out)模式进行测试,即每一轮,同一个人的所有图像用来作为测试集,其余作为训练集,实验得到的平均绝对误差为 3.486 3 a,性能优于 WAS、AAS(appearance-and age-specific classifiers)、AGES 方法,同时也优于单一的典型相关分析和代价敏感学习方法。

Suo 等人<sup>[31]</sup>在分层面部模型特征提取的基础上,采用交叉验证的方式分别测试了线性回归、SVR、MLP 以及 boosting 等回归算法的年龄估计性能。在他们自行采集的数据库中(男女各 4 000),绝对估计误差为 4.68 a,在 FG-NET 数据库的测试中,绝对估计误差为 5.97 a。

Ni 等人<sup>[53]</sup>提出一种鲁棒的多事例回归法

(RMIR)进行年龄的估计。他们把人脸按照相似性分成若干个包(bags),在进行年龄回归估计训练时,首先定义样本 $X_j$ 属于对应 bag  $B_i$  概率大小的函数 $p_j$ ,在此基础上定义至少含有一人脸样本的样本集属于对应 bag  $B_i$  概率大小的函数 $P_{B_i}$ ,并以 $p_j$ 和 $P_{B_i}$ 为基础定义融合K-近邻准则的优化函数。在参数求取的过程中,采用Cauchy收敛准则对优化函数进行参数优化。研究者以IAD为训练库,对FG-NET、MORPH1、MORPH2 3个公开库分别进行测试,实验结果表明RMIA算法具有较好的鲁棒性,在FG-NET、MORPH1、MORPH2 3个库上进行测试时,其平均绝对误差分别为8.37 a、7.13 a、6.06 a,估计效果明显好于基于高斯核函数回归算法。

### 2.1.3 Rank 模式

众所周知,不同年龄的人其面部衰老形式与衰老速度不同,即人类衰老是一个“动态”变化的个性化过程。传统的基于分类模式的年龄估计把年龄分成了若干个年龄段,没有考虑到不同年龄之间的相互关系,因此损失了很多重要的信息;传统的回归模式虽然考虑到了年龄之间的相关性,但是却假设人的衰老是一个“静态”过程,即不同年龄的人的衰老变化规律一致。此外,在日常生活中,我们对一个人进行年龄判定时,总是将该人脸与我们熟悉的且知道相应年龄的人脸图像进行比较,通过综合大量的比较结果进行年龄判断。因此,年龄估计过程可以看成是对大量人脸有效信息对进行比较的过程,也就是通过若干组二值分类结果就可以得到相应的年龄估计值。基于上述思想,研究人员于2010年又提出了基于rank的年龄估计模式,他们把年龄标签看作是一个数据序列,将年龄估计问题转换为待估计年龄大于某年龄还是小于某年龄的问题,从而将年龄估计问题转化为一系列的二值分类问题,通过寻找当前年龄标签在年龄序列中的相对位置来确定最终的年龄值,从而有效克服了传统的年龄估计方法忽略了人类面部衰老过程中的动态性、模糊性以及个性化的特点。根据二值分类器所采用的分类方法,rank模型又可以细化为rank-SVM、rank-Linear以及rank-RBF(radial basis function)等具体模型。

Chang等人<sup>[49]</sup>采用AAM对人脸进行特征提取,利用线性分类器的方法实现二值分类问题,在MORPH和FG-NET数据库上的实验结果表明,基于二值分类器组合的rank分类方法的性能优于SVR、SVM、KNN等常规年龄估计方法,平均估计误差分

别为6.49 a和5.79 a。

Ma等人<sup>[50]</sup>认为人的年龄增长过程是由其自身的基因所决定的,因此年龄识别应以其自身的图像为基础。年龄识别应先找到其对应的相似人脸图像序列,计算待估计人脸图像在相关图像序列中的排序位置,最后综合考虑所有的排序位置,将其映射到真实年龄上。在此基础上,Ma等人提出一种融合人脸识别技术的rank年龄估计框架:训练阶段,对每个人的序列图像,采用Ranking SVM算法学习得到各自的序列函数 $F(\mathbf{x})$ ,其中 $\mathbf{x}$ 为特征向量。对于测试图像,首先通过人脸识别,找到与其相似的人脸集合(属于不同的人),然后将待估计的人脸特征向量 $\mathbf{x}$ 代入相似人脸对应的序列函数 $F(\mathbf{x})$ ,得到相应的估计年龄。最后对所有相似人脸估计得到的年龄进行加权平均,以得到最终的年龄估计结果。在FG-NET人脸库上的实验结果表明:在rank框架下,使用RBF ranking SVM识别方法的平均估计误差为6.02 a,其识别率为84.74%,优于其他年龄估计方法。

### 2.2 混合年龄估计模式

由于老化的原因是多方面的,因此不同的人群可能有着不同的变老方式,而且不同的估计模式具有不同的优势,因此可以将各种估计模式综合起来进行年龄的估计。所谓混合年龄估计模式就是使用多个不同的年龄估计器代替单个年龄估计器来进行年龄估计。

Lanitis等人<sup>[26]</sup>最早提出了混合年龄估计的思想,他们基于特定年龄范围和外观相似模式,设计了3种类型的年龄估计方法:特定年龄分类器(age-specific classifiers)、特定外观分类器(appearance specific classifiers)、特定年龄和外观相结合的分类器(AAS)。在这3种混合年龄估计方法中,所使用的分类器有平方函数、最短距离、多层感知器。

特定年龄分类器是由一组对特定年龄范围分别进行估计的年龄分类器组成,每个年龄分类器均由不同年龄范围的人脸图像训练得到。使用特定年龄分类器进行年龄分类时,首先需要采用全局年龄分类器对测试人脸的年龄进行粗略估计,得到该人脸的大概年龄范围,然后采用相应年龄段的局部分类器对年龄值进行精确估计,其中全局年龄分类器是由所有的训练数据学习得到。在文献[26]中,Lanitis所用的年龄范围为0~35岁,3种局部年龄分类器的年龄分布范围为:0~10岁,11~21岁,21~35岁。

特定外观分类器是基于外貌相似的人群的老龄化

方式也趋于相似的理论而提出,该分类器由基于聚类得到的外貌相似的 5~7 个年龄分类器和聚类选择分类器组成。在年龄估计阶段,首先对年龄特征进行聚类分类得到外貌最相似的年龄估计器,然后采用该年龄估计器进行年龄的精确估计。

特定年龄和外观相结合的分类器是特定年龄分类器和特定外观分类器的一种组合。在年龄估计阶段,首先采用特定外观分类器,利用与外貌最相似的年龄估计器得到测试人脸的大概年龄范围,然后利用特定年龄段的估计器对年龄值进行精确的估计。

Lanitis 等人使用了 400 幅 0~35 岁的人脸图像对这 3 种混合年龄估计方法进行实验,特定年龄和外观相结合的混合分类器所得到的平均绝对误差优于其他两种模型,最优的平均绝对误差为 3.82 a,而 21 名观察者的平均估计年龄误差为 3.64 a,非常接近人类的估计水平。

Guo 等人<sup>[8,54]</sup>认为年龄变化过程是一个复杂的非线性回归问题,通过实验发现 SVR 用于年龄估计时,只能估计到年龄变化的一个大概范围,而不能对年龄进行精确估计。为了改进 SVR 方法的缺陷,Guo 等人提出了局部调整鲁棒回归方法(LARR)。LARR 方法将 SVR 和 SVM 相结合,采用全局分类器和局部分类器相结合的年龄估计方式,先采用 SVR 进行全局年龄范围估计,然后采用 SVM 在特定年龄范围内进行年龄值的局部调整以得到准确的年龄估计值。通过实验得到,在 YGA 年龄数据库上,用该方法得到的女士和男士的最好平均绝对误差分别为 5.25 a,5.38 a。尽管 LARR 方法改进了年龄估计器的性能,但是该模式不能决定该分类器的局部搜索范围,只能多次尝试不同的年龄范围,最后需要使用者选择最好的结果,并最终确定参数范围。

Guo 等人<sup>[55]</sup>为了改进 LARR 方法的信息自动抽取性能,进而提出了一种基于模糊概率法(PFA)的年龄估计方法。该方法将回归器和分类器采用统计的方式结合到一起,在相互独立的情况下,基于贝叶斯规则得到估计年龄,再使用顺序融合的策略,该预测因子能明显减少年龄估计误差。该方法能在没有用户参与的多媒体内容的分析和理解中,建立一个自动的年龄信息抽取器。在对 YGA 和 FG-NET 年龄数据库上进行测试时,所得到的平均绝对误差分别为 5.11 a 和 4.97 a。

Wang 等人<sup>[56]</sup>采用将年龄函数融入 Bayes 框架的方式进行年龄值的估计。他们在 AAM 定位的基

础上,构造了 3 次方的年龄表达函数,并通过 ML 准则计算使年龄误差最小的表达式权值,最后通过 Bayes 分类法实现对年龄的概率估计。为了验证算法的有效性,他们在 FG-NET 数据库中挑选了 778 幅接近正脸的人脸图像,并进行了 5 组实验。实验结果表明,该算法的估计误差控制在 3.78~5.03 a 之内。

研究表明,在一般情况下,混合年龄估计器的性能都要优于单一年龄估计器。实际上这也是符合人脸变老的实际规律。人类衰老的面部表现因人而异,因此基于人脸图像的年龄估计是一种“特殊”的模式识别问题,仅仅采用单一的估计模式,很难满足人脸老化趋势的多样性。而混合年龄估计器就是为适应这种多样化趋势而提出的,它能够更好地综合每类分类器的优势,从而取得更优的年龄估计效果。

### 3 年龄数据库及年龄估计性能评价指标

#### 3.1 常用年龄数据库

年龄数据库是年龄估计的基础,是年龄估计性能评价的一个基准,下面总结了年龄估计研究中常用的一些国内外年龄数据库。

##### 1) FG-NET 年龄数据库<sup>[57]</sup>

塞浦路斯大学的 FG-NET 人脸年龄图像数据库包括了 82 个人的 1 002 幅人脸图像。在该数据库中,每个人都有 6~18 岁幅彩色或灰度人脸图像并附有该图像的准确年龄,所有人年龄分布范围为 0~69 岁。同时,该数据库的每张人脸都进行了特征点标定,每幅图像都有 68 个标记点的坐标。FG-NET 人脸年龄图像库是迄今为止最常用的公开年龄数据库之一。

##### 2) YGA 数据库<sup>[8]</sup>

YGA 数据库(又称 UIUC-IFP-Y 年龄数据库)收集了户外环境下的 1 600 个志愿者的 8 000 幅人脸图像,包括 800 位女士和 800 位男士,年龄范围为 0~93 岁,每幅人脸图像都附有其真实年龄。该数据库包含有光照、面部表情等多种条件变化。YGA 数据库年龄分布情况为 0~9 岁,10~19 岁,21~29 岁,30~39 岁,40~49 岁,50~59 岁,60~69 岁,70~79 岁 8 个年龄段。每个年龄段包含的男女照片各 500 幅。

### 3) IFDB 人脸数据库<sup>[58]</sup>

IFDB 人脸数据库包含了 621 个志愿者的 3 600 幅彩色人脸图像,参与者的年龄范围在 1~85 岁之间。其中每个参与者的图像包含 4 种不同姿态,两种不同的表情,其中有些还戴着眼镜。同时,该数据库还收集了每个参与者的实际年龄、职业、肤色、指纹以及是否整容或脸上有无疤痕等详细信息。

### 4) MORPH 数据库<sup>[59]</sup>

MORPH 人脸数据库是由北卡罗莱纳大学的人脸老龄化组所收集,主要是用于人脸生物特征的应用研究。该数据库分为相册一和相册二两部分。相册一采集了 515 名志愿者的 1 724 幅人脸图像,其中包括 294 位女士,130 位男士,最大年龄为 68 岁;相册二包含了 4 000 多名志愿者的 20 000 多幅人脸图像。该数据库记录了所有志愿者的年龄、性别、身高、体重等多种个人信息,是公开的人脸数据库之一。

### 5) HOIP 数据库<sup>[1,60]</sup>

HOIP 人脸图像库包含 300 个人的 306 600 幅人脸图像,其中男女各一半。该人脸库将 15~64 岁间的人脸图像分为 10 组,每 5 年一个年龄组,每一组中包含 15 个男性和 15 个女性。每幅人脸图像都是大小为 640×480 的彩色图像。

### 6) IAD (internet aging database) 数据库<sup>[53]</sup>

IAD 数据库是目前规模最大的一个年龄数据库,由新加坡国立大学收集。研究人员通过与年龄相关的文字关键字查询方式从共享网站上(如 Flickr 和 Google)收集了 391 176 幅图像,经过处理后,形成了拥有 175 000 幅人脸的年龄数据库。由于人脸图像是从 Internet 上大规模收集的,因此该库的特点是:广泛含有各种不同年龄、不同地区、不同环境、不同种族与性别的人脸,且姿态、光照、表情与图像质量均有丰富的变化,具有很强的通用性;年龄范围从不满 1 岁到 80 岁,每个年龄段均包含大量的人脸图像。

### 7) OAPFD 人脸年龄数据库<sup>[33]</sup>

OAPFD (one age per-person face database) 是清华大学收集的人脸年龄库。该库包含 865 个中国男士的 865 幅正脸照片,年龄跨度为 23~60 岁,每个年龄大约有 25 幅图像,每幅图像有 105 个面部关键点。

### 8) LHI 亚洲人脸库<sup>[31]</sup>

LHI (the lotus hill research institute) 人脸库

(LHI DB Asia) 包含了大约 50 000 幅亚洲成年人的高分辨率人脸图像。该库的年龄跨度为 20~80 岁,每个年龄段都具有大量的、不同性别的图像。其中男性的具体年龄分布为:20~30 岁 8 599 幅,30~40 岁 5 731 幅,40~50 岁 3 639 幅,50~60 岁 2 846 幅,60 岁以上 2 216 幅。女性的具体年龄分布为:20~30 岁 7 725 幅,30~40 岁 6 324 幅,40~50 岁 3 747 幅,50~60 岁 2 893 幅,60 岁以上 1 989 幅。Suo 等人<sup>[31]</sup>从中挑选了 8 000 幅图像用于实验,其中男女各占一半。

总之,FG-NET 年龄数据库是当前公开的数据库之一,它的年龄跨度范围在 0~69 岁之间,但 FG-NET 年龄数据库的分布主要集中在 0~35 岁之间,仅有 91 幅人脸图像分布在 38~69 岁之间。同时,FG-NET 年龄数据库中的人脸图像是在非受限的环境下拍摄的,人脸图像的尺度、姿态及光照等因素变化较大,而且有些照片还是对旧照片翻拍得到的,照片质量较低,这些非客观因素将对年龄估计的研究带来很大影响。MORPH 数据库也是公开的图像库之一,相对于 FG-NET 数据库,MORPH 数据库在年龄信息采集方面更加丰富,但该图像库中的人脸光照不均匀,额头处光照较强烈。尽管 IAD 数据库是目前公开报导的规模最大的人脸年龄数据库,但是该库的年龄标注可能不够精确,而且至今也未公开。此外,其他的数据库也未公开。因此,采集更多、质量更高的人脸年龄图像,并包含相应人脸图像的真实年龄、生活习惯方式、身体状况、性别、是否化妆等多方面的信息,进而构建对所有研究人员开放的大型年龄估计图像库,是当前非常急迫的任务。

## 3.2 年龄估计性能评价

任何一种算法只有对它进行客观评价,才能有效说明该算法的优越性,因此年龄估计算法的性能评价是年龄估计研究中的一个重要环节。目前常用的年龄估计评价指标包括平均绝对误差 (MAE) 和累积指数 (CS)。

平均绝对误差是指估计年龄和真实年龄之间绝对误差的平均值,其表达式为

$$MAE = \frac{\sum_{k=1}^N |\tilde{s}_k - s_k|}{N} \quad (3)$$

式中,  $s_k$  为真实年龄,  $\tilde{s}_k$  为估计年龄,  $N$  是所有测试图像的个数。MAE 是年龄估计中最常用的性能评价方法,MAE 越小表示误差范围越小,该算法准确性越高。

在年龄估计性能评价中,人们关注更多的是所估计出的年龄值的绝对误差范围是否在人们能接受的范围内,因此累积指数被用于年龄估计的性能评价中,累积指数的定义如下:

$$CS = \frac{N_{e \leq j}}{N} \times 100\% \quad (4)$$

式中,  $N_{e \leq j}$  表示测试图像中估计年龄与真实年龄的绝对误差不超过  $j$  年的测试图像数,  $N$  为所有测试图像的总数。因此  $j$  越小,  $CS$  越大,说明估计年龄越接近真实年龄,年龄估计越准确。

另外估计精度 (accuracy 或 correct rate, CR) 也

是人们常用的一种年龄估计评价函数。所谓估计精度就是年龄估计正确的图像数量占整体识别图像数量的百分比,其表达式为:

$$CR = \frac{N_{\text{correct}}}{N} \times 100\% \quad (5)$$

式中,  $N_{\text{correct}}$  表示估计正确的图像数,  $N$  为所有测试图像的个数。可见年龄估计准确度越高,年龄估计性能越好,该评价方法主要用于年龄段的分类性能评价中。

表 1 对当前一些年龄估计系统的性能进行了总结与对比。

表 1 年龄估计性能统计表

Table 1 Summary and comparison of age estimation algorithms

文献	年龄表现模型	年龄估计算法	数据库	实验结果		
				MAE/a	CS(≤10)	100%
文献[4]	人体测量学	最佳阈值	自行采集			81.58%
文献[47]	人体测量学	BP 神经网络	IFDB			86.64%
文献[32]	ASM	二次回归	清华人脸年龄库	1.1		
文献[40]	外观模型	SVM	MORPHY			72.52%
文献[26]	AAM	WAS/AAS	自行采集	3.82—5.58		
文献[17]	AGES	最近邻	FG-NET	8.83	70%	
文献[8]	流形学习	LARR	FG-NET	5.07	88%	
文献[8]	流形学习	LARR	YGA	5.25(女性) 5.30(男性)	81%(女性) 83%(男性)	
文献[50]	外观模型(BIF)	SVR	FG-NET	4.77	90%	
文献[50]	外观模型(BIF)	SVM	YGA	3.91(女性) 3.47(男性)	85%(女性) 88%(男性)	
文献[31]	外观模型	MLP	LHL/FG-NET	5.97	82.7%	
文献[61]	外观模型 & 流形学习	SVM	YGA	2.61(女性) 2.58(男性)		
文献[28]	AAM	集成学习	FG-NET	3.4863	91%	
文献[36]	外观模型	RBF	FG-NET	7.26		
文献[37]	外观模型	RBF	FG-NET	7.11		
文献[23]	AGES	QMR	MORPH	4.98(白人) 4.68(黑人)		
文献[62]	外观模型	Neural Network Regression	FG-NET	4.28	92%	
文献[62]	外观模型	QMR	G-NET	3.65	95%	
文献[21]	外观模型	Neural Network	HOIP	4.65		
文献[18]	AGES	M <sup>2</sup> SA	FG-NET	5.36	>80%	
文献[24]	流行学习	二次回归	MORPH	5.24(白人) 4.18(黑人)	95(白人) >90(黑人)	
文献[49]	AAM	Rank	MORPH/FG-NET	6.49/5.79		

## 4 困难与挑战

尽管基于人脸图像的年龄估计研究在近几年取得了很大进展,学术研究日趋活跃,但要年龄估计技术应用到现实生活中,仍有很多工作亟待研究,其困难与挑战主要表现在以下几个方面。

### 1) 大规模年龄数据库的采集与标注

年龄数据库的采集时间范围跨度很大,目前国际上公开的多年龄人脸数据库还较少,并且人数规模有限。由于一些研究者采用的人脸年龄库没有对外公开,这就给不同的年龄估计算法的性能对比带来不利的影响。此外,目前已有的年龄数据库主要是进行了年龄与性别标注,而面部的衰老与地域环境、种族、生活方式、工作性质以及健康状况等因素密切相关,因此在数据库标注过程中,还需要对上述因素进行标注,从而便于研究人员从不同的角度对面部衰老问题进行分析与建模。可见建立规模大、信息全、对所有研究人员公开的人脸年龄库是未来年龄估计工作的一个重要任务。

### 2) 特征提取

纹理特征提取。尽管研究人员已经采用了多种外观模型对人脸进行描述,但是目前对纹理特征的提取还不够全面和深入。我们知道,不同的人群随着年龄的变化,其纹理方向、纹理密度、纹理位置以及纹理深度等都可能不同,因此如何提取更多的纹理信息是未来特征提取的一个重要研究内容。

面部多生物信息融合。目前的特征提取主要集中在面部形状、纹理等方面,少数研究者还研究了颜色与斑点对年龄估计的影响<sup>[51]</sup>。而面部肌肉的松弛程度、发际线的变化等都能体现人脸的老化程度,目前从计算机视觉的角度综合考虑上述面部因素的研究还很少,可见如何有效地提取多种面部生物特征将是提高年龄估计准确度的关键因素之一。

慢信号的特征提取。人脸老化是个缓慢的过程,如何针对慢时序信号,有效提取人脸缓慢老化的时空特征也是一个很好的研究方向。文献[63]以合成的人脸为研究对象(合成了某个年龄段的每个年龄所对应的人脸图像),采用层级分析的方法,对面部的缓慢变换进行了相应的

特征提取,并取得了令人振奋的效果,但是这方面的研究还刚刚出现,其效果还需要检验。

### 3) 分类器设计

目前的分类器设计主要是借鉴已有的机器学习领域的研究成果进行的,而基于人脸图像的年龄估计问题涉及生理学、心理学、计算机科学等多个学科,因此如何将多种学科有效结合,从而找到一种能全面反应人脸变老的年龄模式,是建立年龄分类器的基础。

目前的人脸年龄估计方法采用的主要是“自下而上”的数据驱动模式,而人类认知具有符号推理的特点,因此如何更好的利用人类已有的年龄估计认知经验,引入有效的自然语言处理方法,有效地融合“自下而上”与“自上而下”两种认知模式也将是提高年龄估计系统性能的重要途径。

此外,不同人的面部衰老方式不同,不同年龄段的人的衰老模式不同,如何建立反映上述特点的年龄估计模型,将是一个非常意义的研究方向。这一方面,Rank 年龄估计模式已经做出了有益的探索。

### 4) 多姿态人脸的年龄估计

现阶段的年龄数据库以及年龄特征提取模型主要针对于正面人脸图像进行的,怎样对非正面人脸图像进行年龄估计将是一个非常意义的开放性研究领域。大规模地收集不同年龄、不同生活背景的非正面人脸图像并进行详细的信息标注(例如年龄、性别、职业、地域、种族、血型、健康状况、生活习惯等)也是该解决该问题必不可少的基础。

### 5) 基于多模态的年龄识别

研究表明,不同年龄的人除了具有不同的面部特征外,还具有不同的行为特性与语音特征。因此在年龄估计时,如果考虑融合人的行为特性、语音特征等其他模态的信息,理论上能够提高年龄估计的精度。然而,当前的年龄估计几乎都是基于静态图像进行估计的,所采集的数据库也是以图像的形式存在的。文献[3]提出了将人脸图像与语音信息有效融合起来进行年龄估计的思想,文献[27]对采用头部运动信息进行年龄估计的可行性进行了初步探索。但是如何将面部图像信息与身体运动或语音等多通道信息融合起来进行年龄估计还需要进一步研究与验证。可见基于多种生物特征的多模态年龄估计也将是未来一个重要的研究方向。

除了上述具有挑战性的研究方向外,基于 3D 人脸的年龄估计也将是未来的一个重要研究内容。

## 5 结 语

作为一种新型的生物特征识别技术,年龄估计技术已经成为计算机视觉与人机交互等领域的重要研究课题。本文从年龄特征提取、年龄估计分类模式、常用数据库以及系统性能评价 4 个方面进行了综述,并对近年来基于人脸图像的年龄估计方法进行了归纳与对比,最后对当前研究中存在的不足与挑战进行了总结。

总地来看,目前人脸年龄估计技术在国内外仍处于起步和探索阶段,很多理论与算法还不完善。由于涉及计算机科学、认知科学、心理学、生理学等众多学科领域,同时人类面部衰老具有不可操控性,且衰老模式因人而异、因境而变,因此基于人脸的年龄估计研究在未来一段时间内仍然是一个非常具有挑战性的课题。与其他人脸图像工程相比,目前从事人脸年龄估计的研究人员较少,发表的论文也相对较少,要想将其应用于现实生活中,还有很长的路要走。我们相信,随着研究人员的不懈努力以及相关技术的深入发展,基于人脸图像的年龄识别技术必将在未来的生活中发挥重要作用。

## 参考文献 (References)

- [ 1 ] Ramanathana N, Chellapa R, Biswas S. Computational methods for modeling facial aging: a survey [ J ]. Journal of Visual Language and Computing, 2009, 20(3) : 131-144.
- [ 2 ] Lu L. A study of gender classification and age estimation based on face image [ D ]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2010. [ 陆丽. 基于人脸图像的性别识别与年龄估计研究 [ D ]. 上海:上海交通大学,2010. ]
- [ 3 ] Fang E Q, Geng X. Automatic age estimation based on visual and audio information [ J ]. Journal of Software, 2011, 22(7) : 1503-1523. [ 方尔庆, 耿新. 基于视听信息的自动年龄估计方法 [ J ]. 软件学报, 2011, 22(7) : 1503-1523. ]
- [ 4 ] Kwon Y H, Lobo N. Age classification from facial images [ C ] // Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Seattle, USA: IEEE Computer Society Press, 1994: 762-767.
- [ 5 ] Lanitis A, Taylor C, Cootes T. Toward automatic simulation of aging effects on face images [ J ]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(4) : 442-455.
- [ 6 ] Zhuang X D, Zhou X, Hasegawa-Johnson M, et al. Face age estimation using patch-based hidden markov model supervectors [ C ] // Proceedings of 19 th International Conference on Pattern Recognition, Tampa: IEEE Press, 2008:1-4.
- [ 7 ] Fu Y, Huang T S. Human age estimation with regression on discriminative aging manifold [ J ]. IEEE Transactions on Multimedia, 2008, 10(4) : 578-584.
- [ 8 ] Guo G D, Fu Y, Dyer C, et al. Image-based human age estimation by manifold learning and locally adjusted robust regression [ J ]. IEEE Transactions on Image Processing, 2008, 17(7) : 1178-1188.
- [ 9 ] Guo G D, Mu G, Fu Y, Huang T S. Human age estimation using bio-inspired features [ C ] // Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Miami: IEEE Computer Society Press, 2009: 112-119.
- [ 10 ] Fu Y, Guo G D, Huang T S. Age synthesis and estimation via faces: A survey [ J ]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 32(11) : 1955 - 1976.
- [ 11 ] Ramanathan N, Chellappa R. Face verification across age progression [ J ]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(11) : 3349-3361.
- [ 12 ] Ramanathan N, Chellappa R. Modeling age progression in young faces [ C ] // Proceedings of 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. New York: IEEE Computer Society Press, 2006: 462-469.
- [ 13 ] Ricanek K, Wang Y Sh, Chen C X, et al. Generalized multi-ethnic face age-estimation [ C ] // Proceedings of IEEE 3rd International Conference on Biometrics: Theory, Applications, and Systems. Washington: IEEE Computer Society Press, 2009: 1-6.
- [ 14 ] Chen C X, Chang Y, Ricanek K, et al. Face age estimation using model selection [ C ] // Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. San Francisco: IEEE Computer Society Press, 2010: 93-99.
- [ 15 ] Chen C X, Yang W K, Wang Y Sh, et al. Facial feature fusion and model selection for age estimation [ C ] // Proceedings of IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition and Workshops. Santa Barbara: IEEE Computer Society Press, 2011: 200-205.
- [ 16 ] Yang P, Zhong L, Metaxas D. Ranking model for facial age estimation [ C ] // Proceedings of 2010 International Conference on Pattern Recognition. Istanbul: IEEE Computer Society Press, 2010: 3404-3407.
- [ 17 ] Geng X, Zhou Zh H, Smith-Miles K. Automatic age estimation based on facial aging patterns [ J ]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2007, 29(12) : 2234-3340.
- [ 18 ] Geng X, Smith-Miles K, Zhou Zh H, et al. Face image modeling by multilinear subspace analysis with missing values [ J ]. IEEE Transactions on Systems, man and Cybernetics-Part B: Cybernetics, 2011, 41(3) : 881-892.
- [ 19 ] Luu K, Ricanek K, Bui T D, et al. Age estimation using active appearance models and support vector machine regression [ C ] //

- Proceedings of IEEE 3rd International Conference on Biometrics: Theory, Applications, and Systems. Washington: IEEE Computer Society Press, 2009: 1-5.
- [20] Lu K, Bui T D, Suen C Y, et al. Combined local and holistic facial features for age-determination [C]// Proceedings of 2010 11th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision. Singapore: IEEE Computer Society Press, 2010: 900-904.
- [21] Takimoto H, Mitsukura Y, Fukai H, et al. An analysis of the influence of facial feature for apparent age estimation [C] // Proceedings of 2009 Fifth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing. Kyoto: IEEE Computer Society Press, 2009: 728-731.
- [22] Fukai H, Takimoto H, Mitsukura Y. Age and gender estimation by using facial image [C]// Proceedings of The 11th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control. Nagaoka: IEEE Computer Society Press, 2010: 179-184.
- [23] Lu J W, Tan Y P. Cost-sensitive subspace learning for human age estimation [C]// Proceedings of 2010 IEEE 17th International Conference on Image Processing. Hongkong: IEEE Computer Society Press, 2010: 1593-1596.
- [24] Lu J W, Tan Y P. Ordinary preserving manifold analysis for human age estimation [C]// Proceedings of 2010 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. San Francisco: IEEE Computer Society Press, 2010: 90-95.
- [25] Wang J G, Sung E, Wei Y. Active learning for solving the incomplete data problem in facial age classification by the furthest nearest neighbor criterion [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(7): 2049-2062.
- [26] Lanitis A, Draganova C, Christodoulou C. Comparing different classifiers for automatic age estimation [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, 2004, 34(1): 621-628.
- [27] Lanitis A. Age estimation based on head movements: A feasibility study [C]// Proceedings of the 4th International Symposium on Communications, Control and Signal Processing. Limassol, Cyprus: IEEE Press, 2010: 1-6.
- [28] Zhang Y, Zhou Z H. A new age estimation method based on ensemble learning [J]. Acta Automatica Sinica, 2008, 34(8): 997-1000. [张宇, 周志华. 基于集成的年龄估计方法[J]. 自动化学报, 2008, 34(8): 997-1000.]
- [29] Geng X, Zhou Zh H, Zhang Y, et al. Learning from facial aging patterns for automatic age estimation [C]// Proceedings of the 14th Annual ACM international conference on Multimedia. Santa Barbara: ACM Press, 2006: 307-316.
- [30] Suo J L, Wu T F, Zhu S C, et al. Design sparse features for age estimation using hierarchical face model [C]// Proceedings of The 8th IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition. Amsterdam, Netherlands: IEEE Press, 2008: 1-6.
- [31] Suo J L, Zhu S C, Shan Sh G, et al. A compositional and dynamic model for face aging [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 32(3): 385-401.
- [32] Wang J Y, Su G D, Lin X G. Age estimation from facial image [J]. Journal of Tsinghua University: Sci&Tech, 2007, 47(4): 526-529. [王俊艳, 苏光大, 林行刚. 人脸图像年龄估计[J]. 清华大学学报:自然科学版, 2007, 47(4): 526-529.]
- [33] Ben Sh L, Chen J Sh, Su G D. Piecewise linear aging function for facial age estimation [C]// Proceedings of International Conference on Image Processing. Cairo, Egypt: IEEE Computer Society Press, 2009: 2753-2756.
- [34] Lu L, Shi P F. Fusion of multiple facial features for age estimation [J]. IEICE Transactions on Information and Systems, 2009, 92D(9): 1815-1818.
- [35] Jin B. Estimate age of human face images [D]. Tianjin: University of Tianjin, 2009. [金波. 人脸图像的年龄估计[D]. 天津:天津大学, 2009.]
- [36] Yu Q, Du J X. Age estimation of facial images based on an improved non-negative matrix factorization algorithm [J]. Journal of Image and Graphics, 2008, 13(10): 1865-1868. [余庆, 杜吉祥. 基于一种改进 NMF 算法的人脸年龄估计方法[J]. 中国图象图形学报, 2008, 13(10): 1865-1868.]
- [37] Du J X, Yu Q, Zhai C M. Age estimation of facial mi ages based on non-negative matrix factorization with sparseness constraints [J]. Journal of Shandong University: Natural Science, 2010, 45(7): 65-67. [杜吉祥, 余庆, 翟传敏. 基于稀疏性约束非负矩阵分解的人脸年龄估计方法[J]. 山东大学学报:理学版, 2010, 45(7): 65-70.]
- [38] Du J X, Zhai C M, Shang L. Age automation estimation based on an ICA coefficient sparse description algorithm [J]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(10): 2102-2105. [杜吉祥, 翟传敏, 尚丽. 基于 ICA 系数稀疏表示的年龄自动估计[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(10): 2102-2105.]
- [39] Wang C C, Su Y C, Hsu C T, et al. Bayesian age estimation on face image [C]// Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia and Expo ICME. New York: IEEE Press, 2009: 282-285.
- [40] Xia J D, Huang Ch L. Age estimation using AAM and local facial features [C]// Proceedings of Fifth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing. Kyoto: IEEE Press, 2009: 885-888.
- [41] Todd, J T, Mark L S, Shaw R E, et al. The perception of human growth [J]. Scientific American Perception, 1980, 242: 106-114.
- [42] Kwon Y, Lobo N. Age classification from facial images [J]. Computer Vision and Image Understanding, 1999, 74(1): 1-21.
- [43] Horng W B, Lee C P, Chen C W. Classification of age groups based on facial features [J]. Journal of Science and Engineering, 2001, 4(3): 183-192.
- [44] Lu J W, Tan Y P. Fusing shape and texture information for facial age estimation [C]// Proceedings of International Conference on

- Acoustics, Speech and Signal Process. Prague: IEEE Press, 2011: 1477-1480.
- [45] Cootes T, Edwards G, Taylor C. Active appearance models [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(6): 681-685.
- [46] Xu R, Jiang F. Overview of manifold learning [J]. Transactions on Intelligent System, 2006, 1(1): 44-51. [徐蓉, 姜峰. 流形学习概述[J]. 智能系统学报, 2006, 1(1): 44-51.]
- [47] Dehshibi M, Bastanfard A. A new algorithm for age recognition from facial images [J]. Signal Processing, 2010, 98(8): 2431-2444.
- [48] Wang S J, Zhou C G, Zhang N, et al. Age estimation by extracting facial features of shape and texture [J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2011, 41(5): 1383-1387. [王甦菁, 周春光, 张娜, 等. 基于形状和纹理特征的人脸年龄估计方法[J]. 吉林大学学报, 2011, 41(5): 1383-1387.]
- [49] Chang K Y, Chen Ch S, Hung Y P. A ranking approach for human ages estimation based on face images [C]// Proceedings of 2010 International Conference on Pattern Recognition. Istanbul, Turkey: IEEE Computer Society Press, 2010: 3396-3399.
- [50] Ma Y, Xiong T, Zou Y M, et al. Personal-specific age estimation under ranking framework [C]// Proceedings of the 1st ACM International Conference on Multimedia Retrieval. Trento, Italy: ACM Press, 2011: 294-301.
- [51] Gao F, Ai H Zh. Face age classification on computer images with Gabor feature and fuzzy LDA method, advances in biometrics [J]. Lecture Notes in Computer Science, 2009, 5558: 132-141.
- [52] Takimoto H, Mitsukura Y, Fukumi M, et al. A design of gender and age estimation system based on facial knowledge [C]// Proceedings of the International Joint Conference on SICE-ICASE. Busan, Korea: IEEE Press, 2006:3883-3886.
- [53] Ni B B, Song Zh, Yan H Ch. Web image and video mining towards universal and robust age estimator [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2011, 6(1): 1-14.
- [54] Guo G D, Fu Y, Huang T S. Locally adjusted robust regression for human age estimation [C]// Proceedings of IEEE Workshop on Applications of Computer Vision. Colorado: IEEE Computer Society Press, 2008: 1-6.
- [55] Guo G D, Fu Y, Dyer C R. A probabilistic fusion approach to human age prediction [C]// Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. Alaska: IEEE Press, 2008: 1-6.
- [56] Wang C C, Su Y C, Hsu Ch T, et al. Bayesian age estimation on face images [C] // Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Multimedia and Expo. New York: IEEE Press, 2009: 282-285.
- [57] Face and Gesture Recognition Working Group. The FG-NET aging database [EB/OL]. [2011-06-28]. <http://www.fgnet.rsunit.com>.
- [58] Department of Engineering, Islamic Azad University of Karaj. The Iranian Face Database (IFDB) [EB/OL]. [2011-06-28]. [http://kia.ac.ir/bastanfard/IFDB\\_index.htm](http://kia.ac.ir/bastanfard/IFDB_index.htm).
- [59] The Face Aging Group, University of North Carolina Wilmington. MORPH database [EB/OL] 2011-06-28. <http://www.faceaginggroup.com/projects-morph.html>.
- [60] Human and Object Interaction Processing (HOIP) Organization HOIP Face Database. [EB/OL]. [2011-06-28]. <http://www.hoip.jp>.
- [61] Guo G D, Mu G W, Fu Y, et al. A study on automatic age estimation using a large database [C]// Proceedings of International Conference on Computer Vision. Kyoto: IEEE Press, 2009: 1986-1991.
- [62] Fang H, Grant P, Chen M. Discriminant feature manifold for facial aging estimation [C]// Proceedings of 2010 International Conference on Pattern Recognition. Istanbul, Turkey: IEEE Press, 2010: 593-596.
- [63] Alberto N, Escalante B, Wiskott L. Gender and age estimation from synthetic face images [J]. Lecture Notes in Computer Science, 2010, 6178: 240-249.