

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)

中图分类号: TP301.6 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)06-0707-05

论文引用格式: 谢志华, 伍世虔, 方志军. LBP与鉴别模式结合的热红外人脸识别[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(6): 707-711.

LBP与鉴别模式结合的热红外人脸识别

谢志华^{1,2}, 伍世虔¹, 方志军¹

1. 江西财经大学信息学院, 南昌 330013; 2. 江西科技师范学院光电子与通信重点实验室, 南昌 330013

摘要: 为了提取具有鉴别能力的红外人脸图像局部结构特征, 提出一种基于LBP(local binary pattern)鉴别模式的红外人脸识别方法。传统的LBP均匀模式, 提取自然图像中占主导地位的信息用于识别, 但占主导地位的信息不一定是最适合识别的。为了提取有效的鉴别模式特征, 基于监督学习的思想, 在LBP模式下引入可分性标准, 对不同LBP模式进行有效的模式选择, 从而抽取适合识别的鉴别模式。最后, 为了利用人脸的空间位置信息, 结合分块和直方图技术得到最后的识别特征。实验结果表明, 本文鉴别模式可以提取更适合识别的特征, 识别性能优于传统的基于均匀模式的LBP方法。

关键词: 局部二进制模式(LBP); 红外人脸识别; 模式选择; 可分性(SD); 鉴别模式

Infrared face recognition using LBP and discrimination patterns

Xie Zhihua^{1,2}, Wu Shiqian¹, Fang Zhijun¹

1. School of information technology, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang, Jiangxi 330013, China;

2. Key Lab orat of Optic-Electronic and Communication, Jiangxi Sciences and Technology Normal University Nanchang, Jiangxi 330013, China

Abstract: To extract the discriminant local structural features, an improved infrared face recognition method based on LBP discrimination patterns is proposed in this paper. In traditional uniform patterns of LBP, the most frequency pattern information in nature image is chosen for image recognition. However, the most frequency patterns are not most suitable for face recognition. Based on supervised learn idea, pattern selection algorithm is proposed to get the LBP patterns which are most suitable for infrared face recognition. To make full use of the space locations information, the partitioning and LBP histogram are applied to get final features. The experimental results demonstrate the infrared face recognition method based on LBP and discrimination patterns proposed outperforms the traditional methods based on LBP or PCA.

Key words: local binary pattern (LBP); infrared face recognition; pattern selection (PS); separability discriminant (SD); discrimination patterns

0 引言

由于红外人脸识别在光照变化、化妆、照片欺诈等条件下的鲁棒性, 而受到了广泛关注^[1-3]。特征提取技术是鲁棒人脸识别系统的关键技术。借鉴可见光的人脸提取方法, 伍世虔等人^[2]提出了基于线

性鉴别的特征提取方法, 华顺刚等人^[4]根据红外图像低分辨率特点提出了PCA + LDA的特征提取方法。这些方法都是基于有监督的整体统计特征提取方法。研究表明: 基于图像局部的特征提取方法对于人脸识别要好于基于统计特征的方法^[5-6]。为了提取近红外人脸的局部结构特征, 李子青等人^[5]提出基于局部二进制模式(LBP)的特征提取方法, 可

收稿日期: 2011-09-22; 修回日期: 2012-02-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(60767001/F050103); 江西省教育厅科技项目(GJJ11225)

第一作者简介: 谢志华(1977—), 男, 副教授, 2011年于江西财经大学获管理科学与工程专业博士学位, 主要研究方向为图像处理与模式识别。E-mail: xie_zhihua@yahoo.com.cn

以降低环境温度对红外人脸识别的影响^[6-7]。但是,李子青等人提取的 LBP 特征的直方图没有考虑鉴别特征对识别的贡献,特征维数很高,存在较大的冗余。针对 LBP 特征直方图维数高的特点,Ojala 等人^[7]提出了 LBP 均匀模式的概念,提取所有模式中的部分模式进行识别,解决了维数过大的问题(在 LBP(8,1)方式下选取 256 个模式下的 59 个模式^[8])。Liao 等人^[9]指出均匀模式只是基于大量纹理图像的经验判断,并不能提取人脸和所有纹理数据库等中占主导地位的模式,提出 LBP 的主导模式。但是,Liao 等人^[9]的主导模式没有考虑不同特征具有的鉴别信息,不一定是最适合识别的模式^[10]。如何从 LBP 总模式中,提取适合识别的部分模式(鉴别模式)对提高红外人脸识别的鲁棒性有着重要的作用。Fang 等人^[11]在特征提取过程中,引入了全局类间可分性准则,增强了特征提取的有效性。受此启发,为了充分考虑在人脸表示和识别中,LBP 不同模式对识别的影响,基于监督学习的思想,本文在 LBP 的模式选择(PS)中引入可分性(SD)标准,根据 LBP 模式对识别贡献的不同,构建 LBP 的鉴别模式。实验结果表明,本文提出的基于可分性标准的模式选择(PS)得到的鉴别模式比传统的均匀模式更具鉴别能力,得到了更好的识别性能。

1 局部二进制模式

局部二值模式具有旋转不变性和亮度不变性等显著优点,已经广泛地应用于纹理分类,纹理分割,人脸图像分析等领域^[7,12]。LBP 算子主要是根据掩膜的中心像素值对应领域的像素值进行二值化。假设原始的掩膜大小是 3×3 的邻域,LBP 编码统计计算形式为

$$\text{LBP}_{P,R}(x_c, y_c) = \sum_{i=0}^{P-1} 2^i S(g_i - g_c) \quad (1)$$

$$S(g_i - g_c) = \begin{cases} 1 & g_i - g_c \geq 0 \\ 0 & g_i - g_c < 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中, (x_c, y_c) 为 8 邻域的中心像素 c 的坐标,像素值为 g_c , i 为邻域像素,像素值为 g_i 。 R 为邻域半径,以像素为单位, P 表示以 R 为半径的圆周邻域上像素的个数。其中(8,1)为标准的 LBP 定义取值,常用于识别。

从 LBP 编码的定义可以看出,LBP 计算简单,是一种基于单幅图像的无监督快速描述子,十分适

合实时特征提取。由于 LBP 算法中,对 LBP(P, R)而言,共有 2^P 种 0 和 1 组合的可能性,维数比较高,所以,从所有模式中选择一种组合方式,从而有效地描述图像的局部特征,是提高 LBP 性能的关键一步。在自然图像表述和分类中,Ojala 等人发现均匀模式在所有模式中占主导地位,90% 的模式都属于均匀模式^[7],提取了 LBP 均匀模式用于可见光图像识别的方法。

2 LBP 算子中的鉴别模式

在人脸识别系统中,提取人脸图像特征的目的有两个,一是降低图像的维数,减小分类时计算的复杂程度;另一个是选出最具鉴别能力的特征提高分类性能。

在传统的 PCA 特征提取方法中,不少研究者指出,最优表示图像的特征,并不一定适合作为识别的特征^[11]。LBP 均匀模式主要是从图像表示的角度出发,提取自然图像占主导地位的结构信息。但是,LBP 的均匀模式用于人脸图像的特征表示时,并不一定是主导模式,而且主导地位的结构信息不一定是最适合识别的模式^[10]。为了提取适合识别的 LBP 模式,考虑到模式之间的独立性,引入一种基于 LBP 模式直方图的可分性准则,对每一个模式定义一个可分性值,并在此基础上,提出了 LBP 模式选择算法(PS)。PS 的流程如图 1 所示。

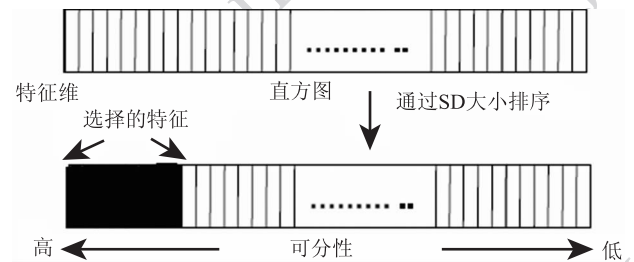


图 1 模式选择流程

Fig. 1 The flow of pattern selection

假设训练样本总共有 C 类,每一类有 S 个样本,对于 LBP 模式直方图中的某一维 H_i ($i = 1, 2, \dots, 2^P$) 可以构造样本 2 维向量,即

$$H_i = \begin{bmatrix} H_i(1,1) & H_i(1,2) & \dots & H_i(1,C) \\ H_i(2,1) & H_i(2,2) & \dots & H_i(2,C) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ H_i(S,1) & H_i(S,2) & \dots & H_i(S,C) \end{bmatrix} \quad (3)$$

直方图 H 第 i 维的可分性值 $SD(i)$ 的计算方法如下:

1) 计算所有训练样本中,直方图中 H_i 的类间分布距离

$$D_b(i) = \sum_{c=1}^C \frac{1}{C} (\bar{H}_i^c - \bar{H}_i)^2 \quad (4)$$

2) 计算训练样本中,直方图中 H_i 的类内分布距离

$$D_w(i) = \sum_{c=1}^C \frac{1}{C} \sum_{s=1}^S \frac{1}{S} (H_i(s,c) - \bar{H}_i^c)^2 \quad (5)$$

3) 根据模式识别分类的思想“具有较大类间分布距离和较小类内分布距离的特征更适合分类”,借鉴 LDA 线性鉴别分析思想,定义 LBP 不同模式的可分性值

$$SD(i) = \frac{D_b(i)}{D_w(i)} \quad (6)$$

式中, \bar{H}_i^c 是第 c 类样本的 LBP 直方图第 i 维(模式)的均值, \bar{H}_i 是所有样本的 LBP 直方图第 i 维的均值。

从式(6)可以看出,我们为 LBP 直方图每一维(模式)都分配了一个 SD 值,在对 LBP 直方图进行模式选择时,可以对模式的 SD 值进行降序排序。选择前 N 个模式作为最后的特征。同时,与经典的 LDA 不同的是:LDA 方法是将原始数据,变换到了另一个低维空间;而本文的特征选择只是在同一个空间(对 LBP 模式编码)的特征抽取。

对不同模式编码的 SD 值降序排序后,为了确定模式的个数 N ,通过对训练样本的统计学习,提取训练样本所有模式中的主导模式^[9](不少于所有模式的 80%)。计算过程如下:

1) 统计训练样本中所有样本的不同模式总分布直方图 $H_{\text{origin}}[i]$,即所有样本的累加后得到的直方图,而不是某一幅样本的直方图。

2) 按 SD 值的大小对总分布直方图 $H_{\text{origin}}[i]$ 排序,得到排序后的总分布直方图 $H_{\text{sort}}[i]$ 。

3) 确定获取主导模式的个数

$$N = \arg \min_N \left(\frac{\sum_{i=0}^{N-1} H_{\text{sort}}[i]}{\sum_{i=0}^{2^p-1} H_{\text{sort}}[i]} \geq 80\% \right) \quad (7)$$

通过模式选择得到的主导模式,定义为 LBP 的鉴别模式。

3 提出的红外人脸识别方法

为了利用红外人脸的空间位置信息,对红外人脸图像首先进行分块处理,对分块进行 LBP 模式编码构成新的特征,用于识别。具体的识别过程如下:

1) 对红外人脸图像进行人脸检测、归一化等预处理^[1],得到统一规格的红外人脸图像。

2) 对每一分块后的红外图像进行 LBP 直方图表示。通过本文的特征选择算法,选出其鉴别模式,构成新的直方图 $H(u,v)$,其中 u, v 表示某一分块在人脸图像中的坐标。

3) 把所有分块的模式直方图 $H(u,v)$ 连接起来,构成一个新的直方图,即最后的整体特征 H 。

4) 通过计算测试样本和训练库样本中整体直方图的相似度,找到与测试样本相似度最接近的类别,即为最后的识别结果。

计算两个直方图 H_1 和 H_2 的相似度采用基于 Chi-square 距离的准则来计算,具体的计算方法参见文献^[13]。

4 实验结果与分析

红外人脸识别还没有标准的数据库,所有实验都是使用自建的红红外人脸数据库^[1]。自建数据库中包含在同一条件下采集的 1 000 张照片,共 50 个人,每人 20 张照片,称此类数据为同时态数据。自建库中还包括了在不同环境温度下采集的 165 张照片,环境温度的变化范围为 20 °C ~ 28.4 °C,本文定义此类数据为时延数据(elapse-time data)。

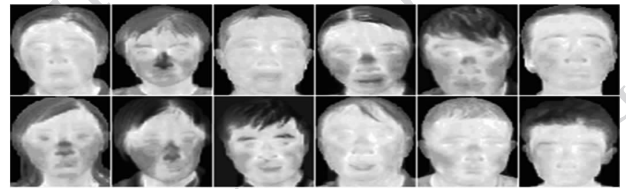


图2 红外人脸数据库
Fig.2 Infrared face database

本文的 LBP 参数(P, R)取值为(8,1)。为了不影响识别的复杂度,分块的个数不应过多,经过反复实验,分块方式取 4×2 时,识别率最高。

对同一环境下的同时态数据,采用 50 个人的前 10 幅图像作为训练样本,后 10 幅图像作为测试样

本,采用本文提出的方法进行识别,不分块和按 4 × 2 的分块的识别率如图 3 所示。

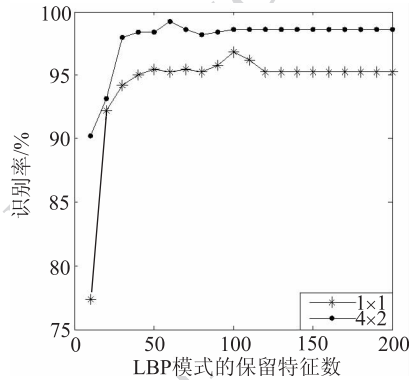


图 3 同时态数据识别结果

Fig. 3 Recognition rate of same-session data

从图 3 可以看出,本文方法在分块方式为 4 × 2,模式选择个数取 71 时,得到最高的识别率 98.8%;在不分块方式下,模式选择后的特征数为 102 时,得到最高识别率为 96%。所以,特征数越多,识别率可能会有部分的降低,主要原因是:LBP 模式中,有些特征不一定对识别有贡献,甚至还会对识别产生干扰。所以,本文的 LBP 模式选择方法,可以选择更适合识别的模式,减低非鉴别模式对识别产生的影响。

不同环境下的时延数据,采用同一环境下 50 个人的前 10 幅图像作为训练样本,165 幅不同温度下的图像作为测试样本,识别结果如图 4 所示。

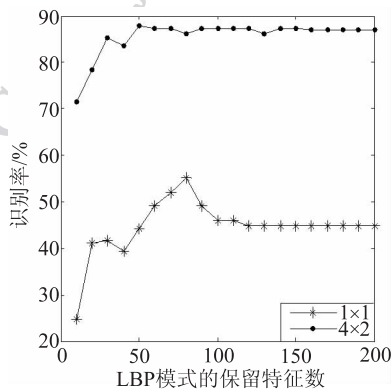


图 4 时延数据识别结果

Fig. 4 Recognition rate of elapse-time data

从图 4 可以看出,对于时延数据,识别率与模式数也没有呈现单调变化,部分模式对识别基本没有贡献。

为了验证本文方法的有效性,用本文数据库与其他特征提取方法进行了对比测试,结果如表 1 所示。

从表 1 可以看出,LBP + 鉴别模式和 LBP + 均匀模式 (Uniform) 的识别性能远高于基于 PCA + LDA 的识别方法,特别是对于时延数据,识别率有了较大的改善,这充分验证了 LBP 模式的亮度不变性,可以大大减小环境温度等外界因素对识别的影响。从表 1 还可以看出,不管是同时态数据还是时延数据,本文算法的识别率都高于均匀模式的识别率,选择了适合识别任务的特征模式。同时我们还发现,对于时延数据模式选择对提高识别率的贡献要好于同时态数据,主要原因是:对于时延数据,人脸之间的干扰比较大,通过模式选择可以提取适合识别的模式,摒弃对识别无用或产生干扰的模式。一般而言,时延数据的红外人脸识别更符合实际的应用环境,所以本文的模式选择方法可以应用于鲁棒的红外人脸识别系统中。

表 1 不同方法的最高识别结果

Table1 The best recognition rate of different methods

数据类型	方法(分块方式)	识别率/%
同时态	LBP + 鉴别模式(4 × 2)	98.8
	LBP + 鉴别模式(不分)	96
	LBP + Uniform(4 × 2)	97.6
	LBP + Uniform(不分)	93.4
	PCA + LDA	92.4
时延	LBP + 鉴别模式(4 × 2)	89.48
	LBP + 鉴别模式(不分)	57.2
	LBP + Uniform(4 × 2)	87.4
	LBP + Uniform(不分)	49.1
	PCA + LDA	33.6

5 结 论

本文在分析 LBP 的均匀模式提取红外人脸局部特征的基础上,为了充分利用不同模式具有的鉴别信息,提出了模式选择算法,以提取更具鉴别能力的特征。为了利用人脸中的空间位置信息,在 LBP 模式编码的基础上,结合分块和统计直方图技术,得到了一个新的红外人脸识别方法。自建人脸数据库的测试结果表明,本文提出的红外人脸识别方法优于传统的基于 LBP、PCA + LDA 的人脸识别方法,可应用于实际红外人脸识别系统。

参考文献(References)

- [1] Wu S Q, Li W S, Xie S L. Skin heat transfer model of facial thermograms and its application in face recognition [J]. Pattern Recognition, 2008, 41(8): 2718-2729.
- [2] Wu S Q, Wei L Z, Fang Z J. Infrared face recognition technology: a survey [J]. Journal of Image and Graphics, 2008, 13(12): 2260-2269. [伍世虔, 韦礼珍, 方志军, 红外人脸识别技术[J]. 中国图象图形学报, 2008, 13(12): 2260-2269.]
- [3] Wu S Q, Fang Z J, Xie Z H, et al. Recent Advances in Face Recognition [M]. Rijeka, Croatia: IN-TECH Press, 2008: 184-206.
- [4] Hua S G, Zhou Y, Liu T. PCA + LDA based thermal infrared imaging face recognition [J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2008, 21(2): 160-164. [华顺刚, 周羽, 刘婷. 基于 PCA + LDA 的热红外成像人脸识别[J]. 模式识别与人工智能, 2008, 21(2): 160-164.]
- [5] Li S Z, Chu R F, Liao S C. Illumination invariant face recognition using near-infrared images [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 29(4), 2007: 627-639.
- [6] Ahonen T, Hadid A, Pietikäinen M. Face description with local binary patterns; application to face recognition [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2006, 28(12): 2037-2041.
- [7] Ojala T, Pietikäinen M. Multi-resolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(7): 971-987.
- [8] Zhang B C, Shan S G, Gao W. Histogram of gabor phase patterns (HGPP): a novel object representation approach for face recognition [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16(1): 57-68.
- [9] Liao S, Chung A. Face recognition with salient local gradient orientation binary pattern [C]//Proceedings of the 16th International Conference on Image Processing. Cairo, Egypt, USA: IEEE, 2009: 3317-3320.
- [10] Liao S, Law M, Chung, C S. Dominant local binary patterns for texture [J], IEEE Transactions on Image Processing, 2009, 18(5): 1107-1118.
- [11] Fang B, Cheng M, Tang Y Y et al. Improving the discriminant ability of local margin based learning method by incorporating the global between-class separability criterion [J]. Neurocomputing, 2009, 73(1-3): 536-541.
- [12] Fu X F, Wei W. Facial expression recognition based on advanced local binary pattern histogram projection [J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2009, 22(1): 123-128. [付晓峰, 韦巍. 基于高级局部二元模式直方图映射的表情识别[J]. 模式识别与人工智能, 2009, 22(1): 123-128.]
- [13] Taskeed J, Kabir M H, Chae O. Facial expression recognition using local directional pattern (LDP) [C]//Proceedings of the 17th International Conference on Image Processing. Hong Kong, China, USA: IEEE, 2010: 1605-1608.