



JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2014

11

VOL.19

ISSN1006-8961

CN11-3758/TB



叶片色彩仿真 P1669



第19卷第11期（总第223期）

2014年11月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所
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

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@irsa.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司
(邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048)

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS
China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of
Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@irsa.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China))

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

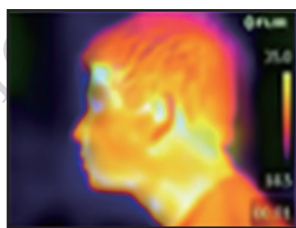
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

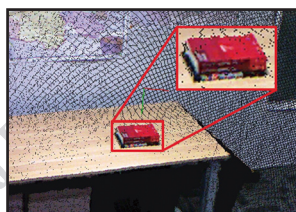
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

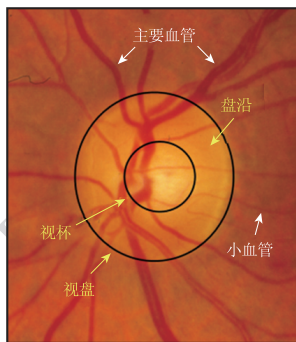
国内定价 50.00元



红外热像视频的细微变化放大(第1577页)



Kinect传感器的彩色和深度相机标定(第1584页)



多相主动轮廓模型的眼底图像杯盘分割(第1604页)

综述

多媒体技术研究: 2013——面向智能视频监控的视觉感知与处理

黄铁军, 郑锦, 李波, 傅慧源, 马华东, 薛向阳, 姜育刚, 于俊清 1539

图像处理和编码

基于高阶奇异值分解和均方差迭代的图像去噪

胡文锐, 谢源, 张文生 1563

小波域中双稀疏的单幅图像超分辨

杨波, 吴纪桃, 谢晓振 1570

红外热像视频的细微变化放大

付传卿, 谷小婧, 顾幸生 1577

图像理解和计算机视觉

Kinect传感器的彩色和深度相机标定

郭连朋, 陈向宁, 刘彬 1584

空间统一调制模型的轮廓检测

肖洁, 蔡超, 郭照立 1591

图像分析和识别

结合相似性拟合与空间约束的图像分割

张峥嵘, 詹天明, 韦志辉 1596

多相主动轮廓模型的眼底图像杯盘分割

郑嫻, 范慧杰, 唐延东, 王琰 1604

精确局部特征描述的表情识别

胡敏, 江河, 王晓华, 陈红波, 李堃, 任福继 1613

Gabor小波和改进LBP的零件表面粗糙度识别

胡海锋, 陈苏婷 1623

可扩展的花卉种类识别

苗金泉, 曹卫群 1630

医学图像处理

基于提升小波变换的医学图像融合

李俊峰, 姜晓丽, 戴文战 1639

遥感图像处理

基于压缩感知的SAR图像鲁棒编码传输

侯兴松, 田文文, 龚晨 1649

第11届全国智能CAD与数字娱乐学术会议专栏

大规模DVE场景对等传输机制研究新进展

王明飞, 贾金原, 张晨曦 1657

自然环境下的植物叶片智能色彩推理仿真

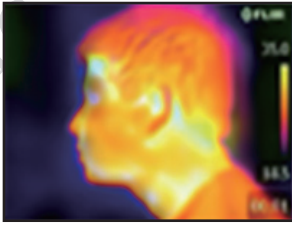
宋建文, 邱锦明 1669

3个控制顶点的类三次Bézier螺线

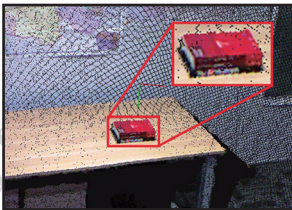
高晖, 寿华好, 缪永伟, 王丽萍 1677

CONTENTS

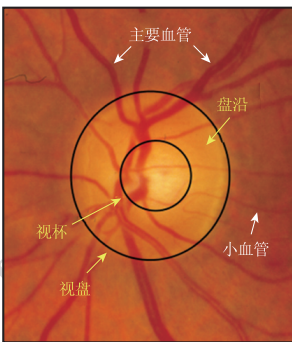
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Magnifying imperceptible variations in infrared thermal videos(P1577)



Calibration of Kinect sensor with depth and color camera (P1584)



Automatic segmentation of optic disc and cup using multiphase active contour model in fundus images(P1604)

Review

Visual perception and processing for intelligent video surveillance:a review

Huang Tiejun, Zheng Jin, Li Bo, Fu Huiyuan, Ma Huadong, Xue Xiangyang, Jiang Yugang, Yu Junqing

1539

Image Processing and Coding

Image denoising based on high order singular value decomposition and mean square error iteration

Hu Wenrui, Xie Yuan, Zhang Wensheng

1563

Single image super-resolution in wavelet domain with double sparse

Yang Bo, Wu Jitao, Xie Xiaozhen

1570

Magnifying imperceptible variations in infrared thermal videos

Fu Chuanqing, Gu Xiaojing, Gu Xingsheng

1577

Image Understanding and Computer Vision

Calibration of Kinect sensor with depth and color camera

Guo Lianpeng, Chen Xiangning, Liu Bin

1584

Contour detection based on spatially unified modulation model

Xiao Jie, Cai Chao, Guo Zhaoli

1591

Image Analysis and Recognition

Image segmentation by integrating similarity fitting and spatial constraint

Zhang Zhengrong, Zhan Tianming, Wei Zhihui

1596

Automatic segmentation of optic disc and cup using multiphase active contour model in fundus images

Zheng Shan, Fan Huijie, Tang Yandong, Wang Yan

1604

Precise local feature description for facial expression recognition

Hu Min, Jiang He, Wang Xiaohua, Chen Hongbo, Li Kun, Ren Fuji

1613

Recognition of work piece surface roughness based on Gabor wavelet and improved LBP

Hu Haifeng, Chen Suting

1623

The scalable flowers category recognition

Miao Jinqun, Cao Weiqun

1630

Medical Image Processing

Medical image fusion based on lifting wavelet transform

Li Junfeng, Jiang Xiaoli, Dai Wenzhan

1639

Remote Sensing Image Processing

Robust coding transmission for SAR image based on compressive sensing

Hou Xingsong, Tian Wenwen, Gong Chen

1649

Column of CIDE' 2014

Survey on transmission mechanism of large scale DVE scene based on P2P overlay network

Wang Mingfei, Jia Jinyuan, Zhang Chenxi

1657

Intelligent color reasoning simulation of plant leaf based on the natural environment

Song Jianwen, Qiu Jinming

1669

The quasi-cubic Bézier spirals with three control points

Gao Hui, Shou Huahao, Miao Yongwei, Wang Liping

1677

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2014)11-1613-10

论文引用格式: Hu M, Jiang H, Wang X H, Chen H B, Li K, Ren F J. Precise local feature description for facial expression recognition[J]. Journal of Image and Graphics, 2014, 19(11): 1613-1622. [胡敏, 江河, 王晓华, 陈红波, 李堃, 任福继. 精确局部特征描述的表情识别[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(11): 1613-1622.] [DOI:10.11834/jig.20141109]

精确局部特征描述的表情识别

胡敏^{1,2}, 江河^{1,2}, 王晓华^{1,2}, 陈红波^{1,2}, 李堃^{1,2}, 任福继^{1,2}

1. 合肥工业大学计算机与信息学院, 合肥 230009; 2. 情感计算与先进智能机器安徽省重点实验室, 合肥 230009

摘要: **目的** 针对传统局部特征提取方法在表情识别上的局限性, 提出一种精确局部特征描述的表情识别方法。 **方法** 首先将人的眉毛、眼睛和嘴巴 3 个对表情识别起关键作用的器官分割出来, 使得特征描述更具有针对性。然后, 构造充分矢量三角形以统计图像的轮廓特征与细节特征。最后, 对于不同的表情器官采用不同尺度的充分矢量三角形描述, 对于同种表情器官采用多种尺度的充分矢量三角形联合描述, 从而充分描述关键器官的图像信息。 **结果** 该算法在日本女性表情人脸库(JAFFE)、cohn-kanade 库(CK)以及 Pain expressions 库上进行实验, 分别取得了 95.67%、97.83%、84.0% 的平均识别率以及 11.70 ms、30.23 ms、11.73 ms 的平均特征提取时间, 实验结果表明, 精确局部特征描述的表情识别方法可以较快、较准确的进行人脸表情识别。 **结论** 精确局部特征描述的表情识别方法通过器官的分割以及充分矢量三角形模式的构造与灵活运用, 良好地表达了图像的局部特征且具有较低的时间复杂度, 本文算法与目前典型的表情识别算法的实验对比结果也表明了本文算法的有效性。

关键词: 表情识别; 精确局部特征; 充分矢量三角形模式; 多种尺度

Precise local feature description for facial expression recognition

Hu Min^{1,2}, Jiang He^{1,2}, Wang Xiaohua^{1,2}, Chen Hongbo^{1,2}, Li Kun^{1,2}, Ren Fuji^{1,2}

1. School of Computer and Information of Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

2. Anhui Province Key Laboratory of Affective Computing and Advanced Intelligent Machine, Hefei 230009, China

Abstract: **Objective** To identify facial expressions accurately, we propose a precise local feature description method for facial expression recognition. **Method** First, the eyebrows, eyes, and mouth in a facial expression image are identified and extracted. The local features from the organ images are then obtained and processed by the expanded vector triangle pattern. The outline and detail features of the images can be statistic. Finally, different scales of sufficient vector triangle patterns are used to describe the features of the different organs. Various scales of sufficient vector triangle patterns are then combined to describe the features of the same organ. In this way, key organ information can be expressed fully. **Result** Experiments on the proposed method were performed using the JAFEE, Cohn-Kanade (CK), and Pain Expressions database. The average recognition rates were 95.67%, 97.83%, and 84.0%, and the average durations of feature extraction were 11.70 ms, 30.23 ms, and 11.73 ms. The cross validation results showed that the precise local feature description method for facial expression recognition is fast and accurate. **Conclusion** Through organ segmentation and the construction of flexible full vector triangle patterns, the precise local feature description method performs well in image feature description while consuming little time. The recognition results of the proposed method are better than those of the typical facial expression recognition method.

收稿日期: 2014-01-07; 修回日期: 2014-07-16

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)基金项目(2012AA011103); 国家自然科学基金—广东联合基金重点项目(U1135003); 安徽省科技计划项目(1206c0805039)

第一作者简介: 胡敏(1967—), 女, 教授, 硕士生导师, 2004 年于合肥工业大学获计算机应用技术专业博士学位, 主要研究方向为图形图像处理、计算机视觉等, 主持和参与省部级以上项目 10 多项, 发表论文 40 多篇。E-mail: uhnim@163.com

Key words: facial expression recognition; precise local features; sufficient vector triangle; a variety of scales

0 引言

随着情感计算等学科领域的不断发展,表情识别作为其中的一个重要组成部分,已经成为了当前研究的热点^[1-2]。

表情识别通常可分为图像预处理、特征提取和表情分类识别 3 个步骤。其中,特征提取是表情识别过程中的关键所在,近年来用于特征提取的优秀算法层出不穷。比如基于纹理特征的提取方法^[3-4]、基于形状特征的提取方法以及多特征融合的方法^[5-6]。基于纹理特征的提取方法主要有:Gabor 小波、局部二值模式(LBP)及其改进方法;基于形状特征提取方法主要有:主动形状模型(ASM)、主动外观模型(AAM)。LBP 特征提取方法运算速度较快^[7],并且能有效的描述图像纹理特征,因此受到广泛的关注,随之涌现出的改进算法也有很多。如:为增强 LBP 的鲁棒性,减少算法对于光照和噪声的敏感性,Jabid 等人^[8]提出的局部方向模式(LDP),通过对每个像素点求 8 个方向的边缘响应掩码,来获得图像的 LDP 特征,但该算法增加了计算复杂度;为了使 LBP 特征提取更加充分,Singh 等人^[9]提出了完全局部二值模式(CLB),将图像的差值符号特征、差值幅度特征与中心像素灰度特征融合,使得信息描述更为充分的同时也增加了时间复杂度。无论是 LBP,还是其改进后的算法都是针对中心像素点对称区域进行的特征提取,丢失了不对称区域的信息描述。利用 ASM 训练得到的平均形状模型能很好地覆盖各种人脸几何外形子空间^[10],具有较高的定位精度,但是忽略了图像的纹理信息。Asthana 等人^[11]提出的 AAM 表情识别算法不仅利用了图像的形状信息,对纹理信息也进行了统计分析,但是其初始参数难以确定,并且计算量较大。Liu 等人^[12]提出的基于 Gabor 小波的特征提取方法能够从不同尺度和不同方向上描述图像的信息,具有较高的准确性,但其时间与空间复杂度都较高,不利于实时交互。上海交通大学赵明等人^[13]提出了矢量三角形的局部特征表述方法,一定程度上解决了一些经典特征提取算法对图像信息描述不充分的问题。但是该方法将表情改变时变化较大的重要器官与几乎没有发生变化的人脸区域统一进行特

征描述,针对性较弱,并且该方法不能很好的将图像中的轮廓特征与细节特征区分开,特征描述不充分。故由矢量三角形模式提取出的特征不够精确且时间开销较大。

针对以上方法对于图像信息描述的不精确性以及较高的时间复杂度的问题,本文提出精确局部特征描述的表情识别方法。首先,根据积分投影法将对于表情识别起关键作用的眉毛、眼睛、嘴巴 3 个器官分割出来^[14];然后,在文献[13]的 13 种矢量三角形模式基础上,根据矢量三角形中任意两个顶点灰度值之差与 3 点灰度值均值之间的大小关系进行模式扩充,利用扩充后的 55 个充分矢量三角形对 3 个器官进行特征提取;最后,利用支持向量机(SVM)对提取出的特征进行表情分类。该方法利用不同的充分矢量三角形模式将图像轮廓信息与细节信息分别统计,并使用不同尺度的充分矢量三角形联合提取同种器官的特征,从而使得特征描述更加精确。由于本算法仅对关键器官进行特征提取,没有因模式扩充而增加特征提取时间,能够满足实时交互的要求。

1 图像的充分矢量三角形模式

1.1 矢量三角形模式

对于 1 幅灰度图像,任取 1 个像素点 $A(x_0, y_0)$,当保持 y 轴坐标不变, x 轴坐标变化时,取得点 $B(x_1, y_0)$;当保持 x 轴坐标不变, y 轴坐标变化时,取得点 $C(x_0, y_1)$ 。由此 3 点可确定 1 个直角三角形。如图 1 所示。

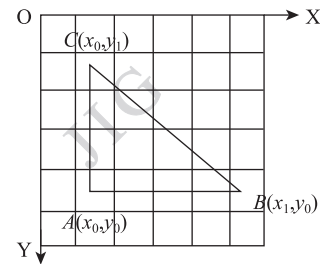


图 1 矢量三角形模式像素点选取

Fig. 1 Pixel selection of the vector triangle

根据三角形 3 个顶点相对位置的不同,将边长相同的直角三角形分为 4 类,如图 2 所示。4 个类别编号依次记为 0、1、2、3。

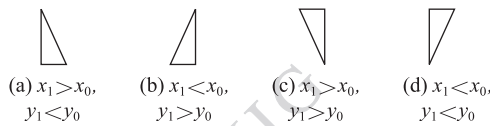


图2 4类直角三角形

Fig. 2 Four types of right angle triangles

定义 $s_1(x)$ 为二值描述函数

$$s_1(x) = \begin{cases} 0 & x > 0 \\ 1 & x < 0 \end{cases} \quad (1)$$

基于式(1)和上述三角形3个顶点的坐标值,可计算出上述三角形所属类别的编号

$$c((x_0, y_0), (x_0, y_1), (x_1, y_0)) = s_1(y_1 - y_0) + 2s_1(x_1 - x_0) \quad (2)$$

用 $I_0(x_0, y_0)$ 、 $I_1(x_1, y_0)$ 、 $I_2(x_0, y_1)$ 分别表示三角形3个顶点的灰度值,根据其大小不同可以得到13种不同的三角形。如表1所示,三角形箭头指向灰度值较大的顶点,灰度值相等时用直线连接两点。将符合上述定义的三角形称为矢量三角形。

表1 13种矢量三角形

Table 1 Thirteen kinds of vector triangles

几何表示	数值关系	编码结果	几何表示	数值关系	编码结果
	$I_0 < I_1 < I_2$	-6		$I_1 < I_0 = I_2$	1
	$I_0 < I_2 < I_1$	-5		$I_1 > I_0 > I_2$	2
	$I_0 < I_1 = I_2$	-4		$I_1 = I_0 > I_2$	3
	$I_1 = I_0 < I_2$	-3		$I_1 = I_2 < I_0$	4
	$I_1 < I_0 < I_2$	-2		$I_1 < I_2 < I_0$	5
	$I_1 > I_0 = I_2$	-1		$I_2 < I_1 < I_0$	6
	$I_1 = I_0 = I_2$	0			

由于边长相同的直角三角形被分成了4类三角形模式,每类三角形模式又可分为13种矢量三角形,故每1个像素点对应的矢量三角形模式可能有52种情况。这52种情况描述了图像中满足直角关系的任意3个像素点之间的灰度与位置关系,通过改变三角形2个直角边的长度,可以得到不同位置的像素点之间的灰度关系描述。遍历整幅图像中的像素点,即可描述整幅图像中各种位置关系的像素点之间的信息。

1.2 充分矢量三角形模式

虽然通过矢量三角形模式可以较好的描述图像中各种位置关系的像素点之间的信息,但是它在定

义矢量三角形模型时,仅仅简单的将两点间灰度值大小关系划分成了3类,所提取出的信息并不充分,没有反应出灰度值的跳变大小,也即没有区分出图像的纹理细节信息。

图3(a)中,图像上半部分灰度值大小为10,下半部分灰度值大小为20;图3(b)中,图像上半部分灰度值大小为10,下半部分灰度值大小为180。很显然,以上两幅图所包含的信息差别很大,不宜用简单的灰度值大小关系描述图像的轮廓和细节特征。因此,本文不仅考虑三角形3个顶点灰度值两两间的大小关系,而且考虑了3个顶点灰度值两两间的差值幅度,利用顶点灰度值与3个顶点灰度值平均值的大小关系,对表1的13种矢量三角形模式进行扩展定义,提出了充分矢量三角形模式,用来精确地描述图像的纹理细节特征。



图3 不同灰度值对比图

Fig. 3 Comparison image of different gray value

三角形3个顶点的灰度均值 $\bar{I}$ 定义为

$$\bar{I} = \frac{I_0 + I_1 + I_2}{3} \quad (3)$$

将 I_0 、 I_1 大小关系划分为5种情况: I_0 大于 I_1 且 I_0 、 I_1 之差大于 $\bar{I}$, I_0 大于 I_1 且 I_0 、 I_1 之差小于或等于 $\bar{I}$, I_0 等于 I_1 , I_0 小于 I_1 且 I_0 、 I_1 之差大于或等于 $-\bar{I}$, I_0 大于 I_1 且 I_0 、 I_1 之差小于 $-\bar{I}$ 。同理, I_1 、 I_2 以及 I_0 、 I_2 之间的大小关系也具有5种情况。定义 $s_2(x)$ 为描述这5种情况的分段函数为

$$s_2(x) = \begin{cases} 2 & x > \bar{I} \\ 1 & \bar{I} \geq x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & -\bar{I} \leq x < 0 \\ -2 & x < -\bar{I} \end{cases} \quad (4)$$

将任意两点灰度值之差大于 $\bar{I}$ 记作 $\gg$, 表示远大于;任意两点之差小于 $-\bar{I}$ 记作 $\ll$, 表示远小于。当三角形3个顶点值的大小关系按照式(4)定义时,任何一种三角形任意两个顶点灰度值不相等的情况都又可划分为7种情况。以表1中的 $I_0 < I_1 < I_2$ 为例,则有: $I_0 \ll I_2$ 、 $I_0 \ll I_1$ 、 $I_1 \ll I_2$ 、 $I_0 \ll I_2$ 且 $I_0 \ll I_1$ 、

$I_0 \ll I_1$ 且 $I_1 \ll I_2$ 、 $I_0 \ll I_2$ 且 $I_1 \ll I_2$ 以及任意两点灰度值之差的绝对值均不大于 $\bar{I}$ 。

扩展定义后的三角形任意两顶点灰度值之差的绝对值不存在均大于 $\bar{I}$ 的情况,证明如下:假设任意两顶点灰度值之差的绝对值存在均大于 $\bar{I}$ 的情况,即当 $0 \leq I_2 < I_1 < I_0 \leq 255$ 时,存在

$$\begin{cases} \frac{I_0 + I_1 + I_2}{3} < |I_0 - I_1| \\ \frac{I_0 + I_1 + I_2}{3} < |I_1 - I_2| \\ \frac{I_0 + I_1 + I_2}{3} < |I_0 - I_2| \end{cases} \quad (5)$$

从而推出

$$\begin{cases} I_0 + I_1 + I_2 < 3I_0 - 3I_1 \\ I_0 + I_1 + I_2 < 3I_1 - 3I_2 \\ I_0 + I_1 + I_2 < 3I_0 - 3I_2 \end{cases} \quad (6)$$

$$v(I_0, I_1, I_2) =$$

$$\begin{cases} s_2(I_0 - I_2) + 2s_2(I_0 - I_1) + 4s_2(I_1 - I_2) \\ s_2(I_0 - I_2) + 2s_2(I_0 - I_1) + 4s_2(I_1 - I_2) + 13s_3(I_1 - I_2) \\ s_2(I_0 - I_2) + 2s_2(I_0 - I_1) + 4s_2(I_1 - I_2) + 24s_3(I_1 - I_2) \\ 3s_2(I_0 - I_2) + \alpha s_2(I_1 - I_2) \\ 5 \end{cases}$$

式中, α 当 I_1, I_2 之差的绝对值大于 $\bar{I}$ 时取 10, 小于或等于 $\bar{I}$ 时取 16。

于是有

$$\begin{cases} 4I_1 + I_2 < 2I_0 \\ I_0 < 2I_1 - 4I_2 \\ 4I_2 + I_1 < 2I_0 \end{cases} \quad (7)$$

由式(7)中前两式可推出 $-9I_2 > 0$, 显然与事实矛盾, 故得证。

当三角形有且仅有两顶点值相等时分别存在两种情况, 即另一顶点与相等顶点之差的绝对值大于 $\bar{I}$ 和小于 $\bar{I}$ 。当三角形 3 个顶点值均相等时仅存在 1 种情况。故扩展定义后的三角形 3 个顶点灰度值间的大小关系存在 $6 \times 7 + 3 \times 4 + 1$ 共 55 种情况。定义分段函数

$$s_3(x) = \begin{cases} 1 & x > 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases} \quad (8)$$

得出 55 种矢量三角形编码表达式

$$\begin{cases} I_0 = I_2 \neq I_1 \text{ 或 } I_1 = I_2 \neq I_0 \text{ 或 } \\ I_2 < I_1 < I_0 \text{ 或 } I_0 < I_1 < I_2 \\ I_1 < I_0 < I_2 \text{ 或 } I_2 < I_0 < I_1 \\ I_0 < I_2 < I_1 \text{ 或 } I_1 < I_2 < I_0 \\ I_1 = I_0 \neq I_2 \\ I_0 = I_1 = I_2 \end{cases} \quad (9)$$

55 种矢量三角形的几何形式与代数编码如表 2 所示。

表 2 55 种矢量三角形

Table 2 Fifty-five kinds of vector triangles

几何表示	编码结果	几何表示	编码结果	几何表示	编码结果	几何表示	编码结果	几何表示	编码结果
	-29		-28		-27		-26		-25
	-24		-23		-22		-21		-20
	-19		-18		-17		-16		-15
	-14		-13		-12		-11		-10
	-9		-8		-7		-6		-4
	-3		-2		2		3		4
	5		6		7		8		9
	10		11		12		13		14
	15		16		17		18		19
	20		21		22		23		24
	25		26		27		28		29

注:单箭头表示两点之差绝对值小于或等于 $\bar{I}$;双箭头表示两点之差绝对值大于 $\bar{I}$;直线连接灰度值大小相等两点。

由于边长相同的直角三角形被分成了4类三角形模式,每类三角形模式又扩展定义为55种矢量三角形,故每一个像素点对应的矢量三角形模式可能有220种情况,将上述220种矢量三角形定义为充分矢量三角形模式。为了便于特征值统计,将充分矢量三角形4种模式下的编码结果统一定义为

$$T_{\Delta x, \Delta y}(x_0, y_0) = 56c((x_0, y_0), (x_0, y_1), (x_1, y_0)) + s_4(v(I_0, I_1, I_2)) - 1 \quad (10)$$

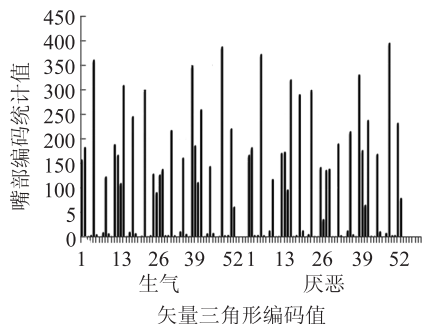
分段函数为

$$s_4(x) = \begin{cases} x + 30 & x < 0 \\ x + 27 & x > 0 \end{cases} \quad (11)$$

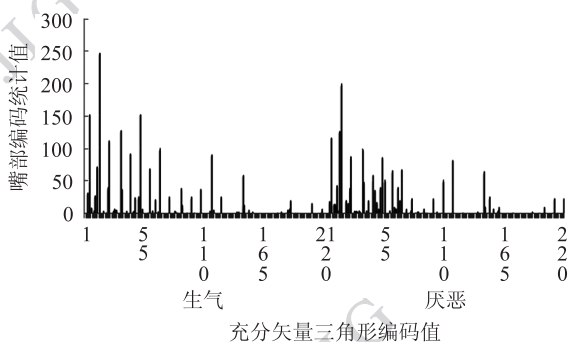
矢量三角形模式对图像轮廓和细节特征不具有分辨性,不能充分表征图像信息。图4中列举出了分别用矢量三角形模式和充分矢量三角形模式描述的两幅嘴部图片及其特征统计直方图。图4(b)为利用矢量三角形模式进行特征提取时的统计直方图,此时生气与厌恶两幅差别很大的嘴部表情的统计直方图几乎一致,而图4(c)中,在使用充分矢量



(a) 生气表情图像与厌恶表情图像



(b) 矢量三角形模式特征统计直方图



(c) 充分矢量三角形模式特征统计直方图

图4 人脸图像及特征统计直方图

Fig. 4 Face images and statistic histograms

三角形模式进行特征统计时,两种不同表情的差别得到了很好的体现。

充分矢量三角形模式可以更加全面地描述图像信息,两点灰度值之差绝对值小于或等于 $\bar{I}$ 的特征三角形反映了图像的细节特征,两点灰度值之差绝对值大于 $\bar{I}$ 的特征三角形反映了图像的轮廓特征,这样轮廓信息与细节特征区分描述,使得信息表达更加充分。

2 精确局部特征描述

虽然本文提出的充分矢量三角形模式继承了矢量三角形模式的优点,并考虑到了像素点间差值的幅度大小,对图像纹理信息的度量和提取更加充分,但却增加了时间上的开销,另外,所提取的特征中对表情识别影响不大的冗余信息也增多。因此,本文为了充分发挥充分矢量三角形模式的优势,进一步提出了精确局部特征描述方法。其思想是将对面部表情影响较大的眉、眼和嘴3个器官进行局部分割,采用不同尺度的充分矢量三角形描述局部特征,对联合的局部特征进行直方图统计,这样不仅可以降低由于特征维数增加所带来的时间上的开销,而且能够更加精确地描述表情信息。

根据积分投影法对脸部器官进行划分,依次取得眉毛、眼睛和嘴巴3个部分。表情变化时,此3部分的特征最具有代表性,而鼻子与脸颊等部分在不同表情下几乎没有太大区别。图5为7种表情下的眉毛、眼睛和嘴巴变化的示例。

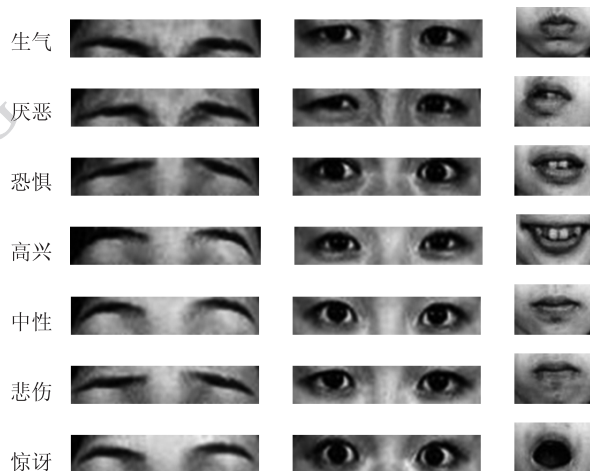


图5 7种表情下的眉毛、眼睛、嘴巴

Fig. 5 Eyebrow, eyes and mouth in different expressions

从图 5 中可以看出,眉毛、眼睛和嘴巴 3 个部分子图像的长宽比例不相同,因此不宜用相同尺度的充分矢量三角形统一描述各器官的特征,而是采用不同尺度的充分矢量三角形来描述这些局部区域中像素之间的灰度关系特征。图 6 以 JAFFE 库中实验结果为例,说明使用不同尺度的充分矢量三角形提取嘴部特征对于识别率的影响。3 维坐标系中, x 、 y 轴表示所选充分矢量三角形两直角边的长度, z 轴表示该尺度下的识别率。从图中可以看出,当 x 、 y 轴的数值相差较小时,曲面颜色较浅,即用两直角边长度相差较小的充分矢量三角形进行特征提取时,识别率较高。同理可获得适用于提取眼睛子图像和嘴巴子图像特征的充分矢量三角形的尺度。

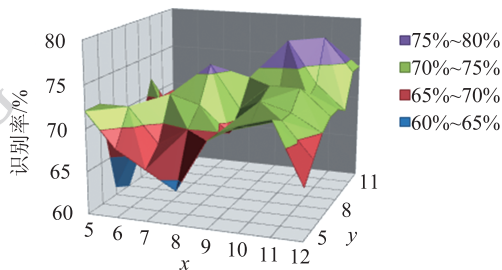


图 6 嘴部图像充分矢量三角形尺度设置 3 维效果图
Fig. 6 3D graph of the set of sufficient vector triangle scale of the mouth image

表 3 所示为单个器官子图像在 3 个表情图像库中 3 次实验的结果,单独使用尺度分别为 7×4 、 5×7 、 7×7 的充分矢量三角形提取眉毛、眼睛、嘴

巴子图像的特征作为图像特征进行测试时,嘴巴子图像的识别率远高于眼睛子图像和眉毛子图像,即嘴部变化对表情识别的影响更大,故采用 3 种尺度的充分矢量三角形来描述嘴部特征,使用两种尺度的充分矢量三角形来描述眉毛和眼睛子图像的特征。

表 3 单个器官识别率统计

Table 3 Recognition rate statistics of a single organ

器官	/%								
	JAFFE 库			CK 库			Pain expressions 库		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
嘴巴	74	78	76	92	90	92	77.1	79.2	79.2
眼睛	57	56	58	84	89	85.5	71.4	72.8	70
眉毛	65	61	52	83	84.5	82	67.8	70	68.5

本文算法针对眉毛、眼睛和嘴巴 3 个对表情识别影响最大的器官,分别采用不同尺度的充分矢量三角形联合提取特征,最后用直方图统计特征。该方法减少了对于冗余信息的关注度,充分描述了表情关键区域特征,使得所得到的局部特征更加精确,更有利于表情识别。

3 实验参数选取与结果分析

本文使用 JAFFE 库、CK 库以及 Pain expression 库共同对精确局部特征描述算法进行测试分析,3 个库中的样本图像如图 7 所示。

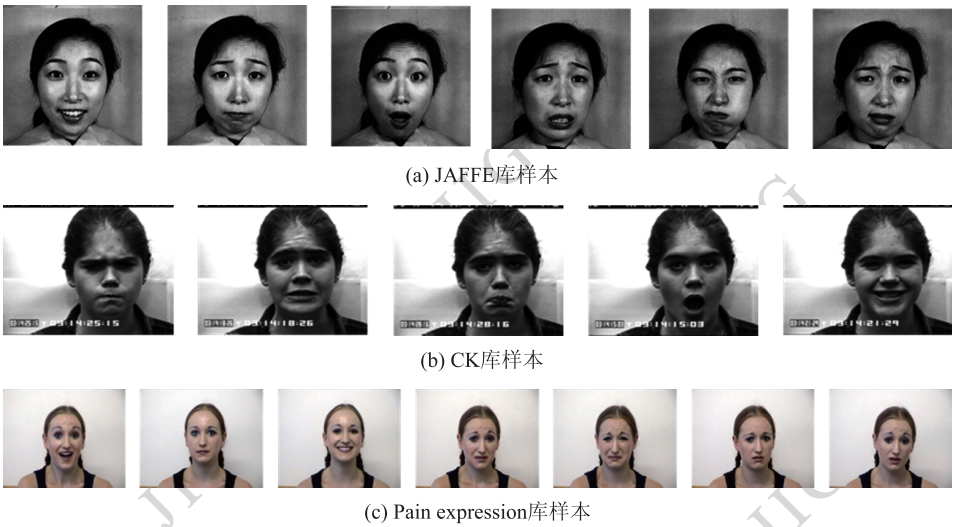
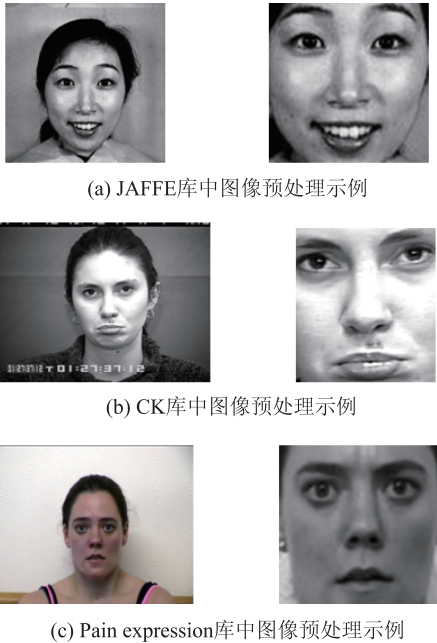


图 7 实验库样本图

Fig. 7 Sample images of experimental library

实验步骤如下:

- 1) 对 JAFFE 库和 CK 库中的人脸图像进行预处理, 将 JAFFE 库与 Pain expressions 库中图像大小归一化为 96×96 , CK 库中图像大小归一化为 170×190 。预处理后的效果如图 8 所示。
- 2) 对预处理后的图像进行精确局部特征提取。
- 3) 用 SVM 分类算法对表情进行分类。



(a) JAFFE库中图像预处理示例

(b) CK库中图像预处理示例

(c) Pain expression库中图像预处理示例

图 8 预处理效果图

Fig. 8 Result images of preprocessing

3.1 充分矢量三角形尺度选取

JAFFE 库、CK 库以及 Pain expressions 库上的实验结果表明:对于眉毛和眼睛这两种外接矩形长宽之比较大的器官,采用两边长度不同的三角形联合描述特征效果较好;对于嘴巴这种外接矩形长宽之比较小的器官,采用两边长度相同的三角形联合描述特征效果更佳。通过大量实验验证,本文采用表 4 所列的三角形尺度联合描述表情器官特征。

表 4 充分矢量三角形尺度选取

Table 4 Selection of the scales of sufficient vector triangles

器官	充分矢量三角形尺度/像素		
眉毛	7×4	7×6	
眼睛	5×7	3×4	
嘴巴	7×7	11×11	8×8

3.2 SVM 参数选取

利用 SVM 对样本分类时,常用的核函数有高斯核函数和多项式核函数。高斯核函数具有很强的局部性,学习能力强,但泛化能力较弱;多项式核函数具有良好的全局特性以及很强的泛化能力^[15-16]。故本文选取多项式核作为 SVM 的核函数。多项式核函数下的 SVM 分类器的决策函数为

$$f(x) = \text{sgn}\left(\sum_{i=1}^l a_i y_i (x_i \cdot x + 1)^d + b\right) \quad (12)$$

式中, d 表示多项式次数,多项式次数越低,外推能力越强但学习能力越弱。本文选取 4 作为多项式次数,因为在该次数下既可以达到良好的识别率又可以使得算法拥有较好的外推能力。

3.3 算法识别率及运行时间分析

JAFFE 库中共有人脸图片 212 幅,包含 10 人 7 种表情。选取每人每种表情图像 1~2 幅作为训练样本,剩下的 100 幅图像作为测试样本。循环 3 次实验,计算出平均识别率来测试本文所提算法性能。3 次实验结果如表 5 所示。

表 5 JAFFE 库中 3 组实验结果

Table 5 Three groups of experiment results in JAFFE database

表情	训练样本数			测试样本数/正确识别数		
	1	2	3	1	2	3
生气	14	19	18	16/15	11/10	12/10
厌恶	13	18	18	16/15	11/10	11/11
恐惧	18	15	14	13/13	16/15	17/16
高兴	17	16	19	16/15	17/16	14/14
中性	20	14	14	10/10	16/16	16/16
悲伤	14	15	14	16/15	15/14	16/16
惊讶	16	15	15	13/12	14/14	14/14
总计	112	112	112	100/95	100/95	100/97

由 3 次交叉实验结果得出,本文算法在 JAFFE 库上的平均识别率为 95.67%。其中,识别错误的表情大多都存在相似性,如图 9 中两幅生气的表情常被误识别为厌恶,因为它与厌恶时都具有眉毛压

低、眼睛微闭和唇角下拉的特征。

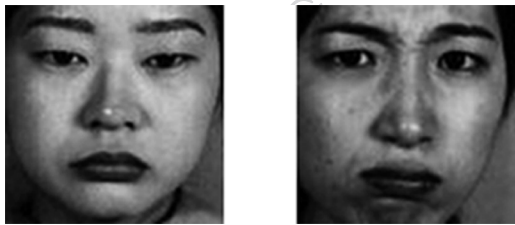


图9 误识别表情示例
Fig. 9 Mistaken image samples

CK 库由美国 CMU 机器人研究所和心理学系共同建立。从中选取了 21 个对象的 6 种表情序列：悲伤、高兴、惊讶、恐惧、生气、厌恶，共 401 幅图像。每种表情选取 201 幅作为训练样本，剩下的 200 幅作为测试样本。如此循环 3 次，计算 CK 库上的平均识别率。实验结果如表 6 所示。

表 6 CK 库中 3 组实验结果
Table 6 Three groups of experiment results in CK database

表情	训练样本数			测试样本数/正确识别数		
	1	2	3	1	2	3
悲伤	37	37	37	36/36	36/36	36/34
高兴	38	38	38	38/38	38/38	38/38
惊讶	38	38	38	38/38	38/38	38/38
恐惧	30	30	30	30/30	30/28	30/30
生气	30	30	30	30/26	30/27	30/29
厌恶	28	28	28	28/28	28/28	28/27
总计	201	201	201	200/196	200/195	200/196

本文算法在 CK 库上的平均识别率为 97.83%，高于 JAFFE 库中的识别率。主要是因为 CK 库中的图像更清晰，且 CK 库为一系列视频序列，各种表情特征表达充分。

Pain expression 库由斯特灵大学建立。本文从中选取了 20 个对象的 7 种表情进行交叉实验，共 280 幅图像。每次选取每人每种表情图像一幅作为训练样本，另一幅作为测试样本。3 次实验结果如表 7 所示。

从表 7 可计算出 Pain expressions 库上的平均识别率为 84.0%，相对于 JAFFE 和 CK 表情库的识别

表 7 Pain expressions 库中 3 组实验结果
Table 7 Three groups of experiment results in Pain expressions database

表情	训练样本数			测试样本数/正确识别数		
	1	2	3	1	2	3
生气	20	20	20	20/13	20/14	20/15
厌恶	20	20	20	20/14	20/15	20/16
恐惧	20	20	20	20/18	20/18	20/16
高兴	20	20	20	20/19	20/20	20/20
中性	20	20	20	20/17	20/17	20/16
悲伤	20	20	20	20/16	20/16	20/17
惊讶	20	20	20	20/19	20/19	20/18
总计	140	140	140	140/116	140/119	140/118

率较低。其主要原因有：1) 该库中部分样本图像眉毛较浅，干扰了眉毛部分的局部特征提取，如图 10(a)所示，眉、眼分界不清晰，造成了眉和眼的分割不精确；2) 部分样本面部姿态变化较大，对器官分割造成了一定的影响，如图 10(b)所示，姿态变化较大的图像将会影响器官的精确定位。



(a) 眉部不清晰样本图像



(b) 姿态变化样本图像

图 10 Pain expressions 库中表情样本
Fig. 10 Sample images of Pain expressions database

实验运行环境为 Windows XP 系统、单核 2.10 GHz CPU、2.0 GB 内存，实验代码在 VS2008 平台下采用 C++ 语言编写。本文算法与各主流表情识别算法在 JAFFE 库、CK 库以及 Pain expressions 库上的平均识别率及特征提取时间的比较如表 8 和表 9 所示。可以看出：1) 本文算法与 AAM 识别率相当，但大幅度缩短了特征提取时间；2) 与原矢量

三角形模型相比,不仅大幅度的提高了识别率,而且也降低了特征提取时间。这说明改进后的模型既获得了更加完备的特征,又控制了特征提取时间。

表8 各算法平均识别率比较
Table 8 Average recognition rate comparison of different algorithms

算法	JAFFE 库	CK 库	Pain expressions 库
LDP ^[8]	90	96.33	78.6
CLBP ^[9]	87.14	92.33	82.9
Gabor 小波 ^[12]	91.43	94.33	74.3
AAM ^[11]	95.67	96.33	84.0
矢量三角形 ^[13]	90	95.67	78.6
精确局部特征描述	95.67	97.83	84.0

表9 各算法特征提取时间比较
Table 9 Feature extraction time comparison of different algorithms

算法	JAFFE	CK	Pain expressions 库
LDP ^[8]	30.91	98.32	30.73
CLBP ^[9]	45.6	160.1	45.0
Gabor 小波 ^[12]	2 400	7 400	2 402.1
AAM ^[11]	950	3 400	957.1
矢量三角形 ^[13]	14.64	48.5	15.02
精确局部特征描述	11.7	30.23	11.73

4 结 论

本文提出了精确局部特征描述的表情识别方法,该方法构造并灵活地使用了充分矢量三角形模型,通过联合不同尺度的充分矢量三角形,对在表情识别中起决定作用的3个关键器官分别进行特征提取。这不仅保证了信息描述的充分性、完整性,而且更具有针对性、精确性。与表情识别主流算法相比,本文算法无论在时间复杂度上还是在识别效果上都表现出了一定的优越性:

1)充分矢量三角形模式的使用可以防止图像非对称区域信息丢失,提高了表情识别性能。同时,充分矢量三角形模式将图像轮廓特征与细节特征区分统计,对图像特征的描述更加完全。

2)针对眉毛、眼睛、嘴巴3个部位进行特征提取,既减少了冗余信息对表情识别的干扰,又弥补了编码扩充所带来的时间上的损失。对提高识别效率,更好地满足实时交互起到了很大的作用。

3)对于不同的表情器官选取不同尺度的充分矢量三角形进行特征描述,对于同一个表情器官使用多个充分矢量三角形相结合共同描述特征,从而发挥了充分矢量三角形模式的灵活性,使得提取出的特征更加精确。

参考文献 (References)

- [1] Liao C T, Chuang H J, Duan C H, et al. Learning spatial weighting for facial expression analysis via constrained quadratic programming[J]. Pattern Recognition, 2013, 46(11): 3103-3116.
- [2] Baltrusaitis T, McDuff D, Banda N, et al. Real-time inference of mental states from facial expressions and upper body gestures[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition and Workshops. Santa Barbara, CA:IEEE,2011:866-871.
- [3] Gao F, Wen G J. A new method for affine invariants extraction based on affine geometry[J]. Journal of Image and Graphics, 2011, 16(3): 389-397. [高峰,文贵坚. 利用仿射几何的仿射不变特征提取方法[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(3): 389-397.] [DOI:10.11834/jig.20110315]
- [4] Song K C, Yan Y H, Chen W H, et al. Research and perspective on local binary pattern[J]. Acta Automatic Sinica, 2013, 39(6):730-744. [宋克臣,颜云辉,陈文辉,等. 局部二值模式方法研究与展望[J]. 自动化学报, 2013, 39(6):730-744.]
- [5] Xue Y L, Mao X, Guo Y, et al. The research advance of facial expression recognition in human computer interaction[J]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(5): 764-772. [薛雨丽,毛峡,郭叶,等. 人机交互中的人脸表情识别研究进展[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(5): 764-772.] [DOI:10.11834/jig.20090503]
- [6] Wei R, Jiang L, Tao L M. Facial expression recognition system based on multiple feature integration[J]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(5): 792-800. [魏冉,姜莉,陶霖密. 融合人脸多特征信息的面表情识别系统[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(5): 792-800.] [DOI:10.11834/jig.20090506]
- [7] Happy S L, George A, Routray A. A real time facial expression classification system using local binary patterns[C]//Proceedings

- of IEEE International Conference on Intelligent Human Computer Interaction. Kharagpur:IEEE, 2012:1-5.
- [8] Jabid T, Kabir M H, Oksam C. Facial expression recognition using local directional pattern[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. Hongkong, China; IEEE, 2010:1605-1608.
- [9] Singh S, Maurya R, Mittal A. Application of complete local binary pattern method for facial expression recognition[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Human Computer Interaction. Kharagpur:IEEE, 2012:1-4.
- [10] Setyati E, Suprpto Y K, Pumono M H. Facial emotional expressions recognition based on active shape model and radial basis function network[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Computational Intelligence for Measurement Systems and Application. Tianjin:IEEE, 2012:41-46.
- [11] Astana A, Saragih J, Wagner M, et al. Evaluating AAM fitting methods for facial expression recognition[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Affective Computing and Intelligent and Workshops. Amsterdam:IEEE, 2009:1-8.
- [12] Liu H B, Zhang G B, Huang Y M, et al. Multiple features extraction and coordination using gabor wavelet transformation and fisherfaces with application to facial expression recognition[C]//Proceedings of Chinese Conference on Pattern Recognition. Chongqing:IEEE, 2010:1-5.
- [13] Zhao Y, Su J B. Local characteristic pattern make use of vector triangle for face recognition[J]. Electronic Journal, 2012, 40(11):2309-2314. [赵玥, 苏剑波. 一种用于人脸识别的矢量三角形局部特征模式[J]. 电子学报, 2012, 40(11):2309-2314.]
- [14] Dai D W, Liu D, Su J B. Rapid eye localization based on projection Peak[J]. PR&AI, 2009, 22(4):605-609. [戴景文, 刘丹, 苏剑波. 基于投影峰的眼睛快速定位方法[J]. 模式识别与人工智能, 2009, 22(4):605-609.]
- [15] Liu D H, Qian H, Dai G, et al. An iterative SVM approach to feature selection and classification in high-dimensional datasets[J]. Pattern Recognition, 2013, 46(9):2531-2537.
- [16] Patle A, Chou H, Deepak S. SVM kernel functions for classification[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Advances in Technology and Engineering. Mumbai:IEEE, 2013:1-9.