

基于梯度方向直方图的人脸活体检测方法

孔月萍¹, 刘霞¹, 谢心谦¹, 李凤洁²

¹西安建筑科技大学信息与控制工程学院, 陕西 西安 710055;

²天津电子信息职业技术学院, 天津 300350

摘要 人脸识别的身份认证环节可能受到照片、视频等手段的恶意欺骗。在分析了照片人脸成像后的非线性变化特点后,从人脸边缘信息的变化特征着手设计了一种基于图像处理的人脸活体检测新方法。用改进的梯度方向直方图描述人脸主要轮廓,同时结合正、负样本的统计特征训练支持向量机分类器进行活体检测,最后在 NUAA 人脸数据库上开展了实验验证,结果表明,本文方法对真假人脸的检测正确率达到了 97%。

关键词 图像处理; 人脸活体检测; 梯度方向直方图; 直方图相交; 支持向量机

中图分类号 TP391

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP55.031009

Face Liveness Detection Method Based on Histogram of Oriented Gradient

Kong Yueping¹, Liu Xia², Xie Xinqian³, Li Fengjie⁴

¹College of Information and Control Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, Shaanxi 710055, China;

²Tianjin Electronic Information College, Tianjin 300350, China

Abstract Face recognition of identity authentication may be malicious fraud by photo, video, and other media. After analyzing the characteristics of non-linear changes in face image, we propose a new method of face liveness detection based on image processing according to the changes of edges in photo face and real face. The changes of face edges are described by the improved histogram of oriented gradient. Combining with the statistics characteristics of the positive and negative samples, the support vector machine classifier is trained to detect the liveness face. Finally, the new method is validated by the public NUAA human face database. The results show that the accuracy rate of the proposed method on true and false face detection reaches 97%.

Key words image processing; face liveness detection; histogram of oriented gradient; intersection of histogram; support vector machine

OCIS codes 100.2000; 100.4994; 100.5010

1 引言

随着人们安全防范需求和意识的不断提高,指纹识别、语音识别、虹膜识别、人脸识别等身份认证技术迅速发展、应用广泛。其中,基于人脸识别的身份认证系统以其智能化、自动化等特点得到了大多数用户的青睐。但在实际应用中,照片欺骗、视频欺骗和三维模型欺骗等多种恶意攻击手段不断出现,给认证系统带来安全隐患。而照片以代价小、实施

简单成为最常见的攻击方式。

针对以上问题,国内外学者提出了不同的活体检测方法。由于虚假人脸是在真实人脸图像的基础上再次成像或建模后形成的,因此人脸图像质量、纹理等细节将会丢失^[1-2]。Li 等^[3-4]以傅里叶频谱及矩阵奇异值展开活体人脸和照片人脸的差异性分析,通过图像高频分量的变化区分真实人脸和照片人脸。Maatta 等^[5]提出了基于融合局部二值模式(LBP)特征、Gabor W 小波和梯度方向直方图

收稿日期: 2017-08-25; 收到修改稿日期: 2017-09-25

作者简介: 孔月萍(1965—),女,博士,教授,主要从事图形图像处理、地理信息科学方面的研究。

E-mail: annie_kyp@sina.com

(HOG)的活体人脸检测方法。Chingovska 等^[6]在 REPLAY-ATTACK 数据库上再次验证了 LBP 特征的有效性后,众多研究者在 LBP 的基础上进行了优化,分别提出三个正交平面的局部二值模式(LBP-TOP)描述子和改进的 LBP 结合频率特征的方法^[7-8]。但这种基于人脸纹理信息的活体检测方法易受光照等外界条件的干扰,且涉及的判别特征维数多、算法复杂度高。其次,真实人脸存在眨眼、微表情变化等活体特征,其三维深度信息与人脸照片也存在很大差异,故而 Maatta 等^[9-10]通过眨眼检测来区分活体和照片人脸。Smiatacz 等^[11]通过计算人脸运动时发生的光流变化来判别人脸的真伪。Singh 等^[12]结合眼睛和嘴巴的运动信息来检测活体人脸,此种方法即使在低分辨率、一般光照的条件下性能仍较高。此外,Boutellaa 等^[13-14]以人机交互的方式要求被测者按指令做动作,然后提取相应特征来判别是否为活体,这种交互运动的分析方法能有效判别真假人脸,但需用户主动配合,用时较长,也会给用户带来不便。Hou 等^[15]通过外加多光谱或红外成像设备进行活体检测。Wang 等^[16]用滤光镜获取不同光谱下训练样本的反射率并提取人脸梯度特征进行支持向量机(SVM)的分类检测,此种方法效果良好,但附加的外部设备会使系统成本增加,普适性受限。

现有人脸活体检测技术的研究多在特定条件下进行,各有特点,但尚无具有明显优势的方法。为对局部特征进行描述,本文分析了人脸二次成像后的

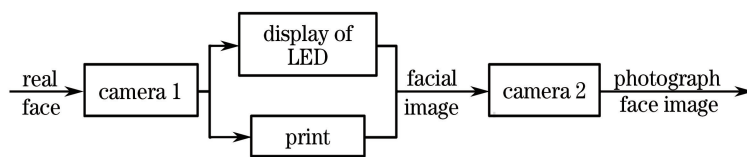


图1 真实人脸与照片人脸图像的成像过程

Fig. 1 Imaging process of real face and photo face

简单的梯度描述为

$$\begin{cases} g(x, y) = \sqrt{g_x^2(x, y) + g_y^2(x, y)} \\ \alpha(x, y) = \arctan \frac{g_x(x, y)}{g_y(x, y)} \end{cases}, \quad (1)$$

式中 $I(x, y)$ 为检测图像, $g(x, y)$ 为梯度幅值, $g(x, y)$ 为梯度方向角。

$g_x(x, y)$ 和 $g_y(x, y)$ 分别为

$$\begin{cases} g_x(x, y) = I(x+1, y) - I(x-1, y) \\ g_y(x, y) = I(x, y+1) - I(x, y-1) \end{cases}. \quad (2)$$

显然,边缘信息仅包含了水平方向和垂直方向,

边缘梯度变化,以改进的 HOG 描述人脸主要轮廓,同时结合直方图相交的方法对人脸的全局特征进行统计和分析。人脸活体检测新方法结合了人脸的局部和整体特征,在保证检测准确率的同时降低了特征维数,提高了活体检测速度,达到了经济适用、高效可靠、无需用户配合的目的。

2 人脸图像的梯度特征分析

纹理反映了目标图像灰度的性质及其空间拓扑关系^[17],可通过像素及其空间邻域的灰度分布来表现。对于去掉背景的人脸图像,肉眼很难区分出是真实人脸还是照片人脸,但其成像过程却存在很大差异。真实人脸是复杂的三维物体,而照片人脸则为平面物体,成像过程中会产生不同的光照反射和阴影^[18],造成表面属性的差异,利用纹理信息可较好地检测这种差异^[19]。在人脸活体检测中,采集照片成像的人脸图像,其成像过程如图1所示。成像前的物体是一个平面物体,照片中每点的法向量可近似为固定常数,即使照片存在一定的弯曲和旋转角度,图上各点所在平面的法向量仍不符合真实人脸的凹凸情况,即边缘梯度信息^[20]的变化程度与真实人脸不同。真实人脸与照片人脸的再成像对比图如图2所示,从图2(b)、(c)中可以看出,照片人脸的鼻子、嘴、眼睛等边缘部分的高频分量变低^[21],而梯度方向恰好可以反映图像边缘上的灰度变化,故选此特征描述人脸纹理。

而人脸面部器官有着丰富的方向性,因此考虑以 360° 分解的方法构成 HOG 来描述真实人脸和照片人脸的边缘变化^[22]。将 $0^\circ \sim 360^\circ$ 的梯度方向角划分为 k 个 θ° 的等间隔方向区间,在方向区间 θ° 内以 $g(x, y)$ 为权重系数对该梯度方向角 $\alpha(x, y)$ 加权,通过梯度方向的加权和得到该区间的梯度方向直方分量为

$$b_j = \sum_{\theta} g(x, y) \times \alpha(x, y). \quad (3)$$

构建整幅图像的梯度方向直方图 H ,再将此直方图归一化后构成如图2(c)、(f)所示的图像 HOG 特征。

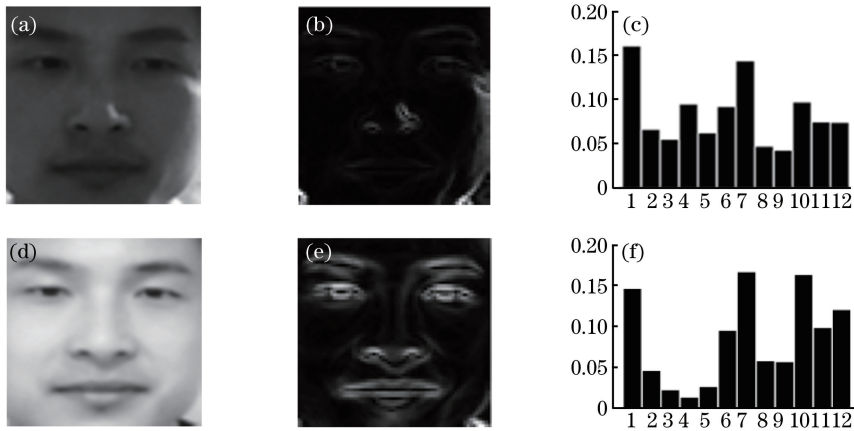


图2 真实人脸和照片人脸的梯度信息对比。(a)真实人脸;(b)真实人脸的梯度图像;(c)真实人脸的 HOG;(d)照片人脸;(e)照片人脸的梯度图像;(f)照片人脸的 HOG

Fig. 2 Comparison of real face, photo face, and their HOG. (a) real face, (b) gradient image of (a), (c) HOG of (b), (d) photo face, (e) gradient image of (d), and (f) HOG of (e)

$$H = \{b_1, b_2, \dots, b_j, \dots\}, j = 1, 2, \dots, k. \quad (4)$$

到整幅人脸的 HOG 特征 H 。特征提取流程如图 3 所示,处理流程如图 4 所示。

3 基于 HOG 特征的人脸活体检测方法

HOG 可反映真实人脸和照片人脸成像后的差异,为此采用中心对称卷积算子 $[-1, 0, 1]$ 和 $[-1, 0, 1]^T$ 进行梯度计算。由于眼睛、鼻翼、嘴唇等区域的边缘梯度较突出,因此采用多区域分类的思想将人脸图像划分为 $n = 2 \times 2$ 个子图进行分块 HOG 差异性检测。首先在每个子图中计算各像素梯度及其方向角,为突出子图中的细节,增强区域的梯度方向特征,将每个子图以 $\theta = 30^\circ$ 划分为 $k = 12$ 个等间隔的梯度方向区间,分别计算区间内以梯度为权重的梯度方向角加权,构成每个子图的 k 维 HOG 特征,最后将 4 个子图的 HOG 特征串联,得

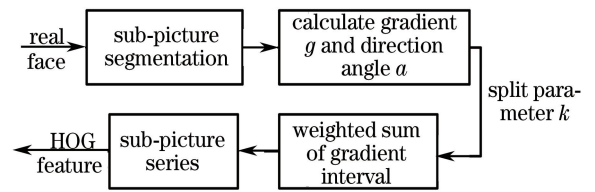


图4 梯度方向特征提取处理框图

Fig. 4 Block diagram of HOG feature extraction

HOG 以分块方式对人脸特征进行局部描述,在一定程度上弱化了全局特征。考虑到真假人脸样本的参考价值,拟结合多幅真实人脸的平均 HOG 特征 $H_{T\text{-mean}}$ 及照片人脸的平均 HOG 特征 $H_{F\text{-mean}}$,将其作为参考检测指标。为验证其合理性,测算并绘制了 1000 幅正样本及相应负样本的平均 HOG 特征分布图,如图 5 所示。由图 5 可知,成像过程的不同造成局部区域的梯度方向特征出现显著差异,为此拟采用直方图匹配法比较待测人脸 HOG 特征 H 、 $H_{T\text{-mean}}$ 、 $H_{F\text{-mean}}$ 的相似程度,将其作为全局特征与 HOG 结合用于检测真假人脸。

直方图匹配是对 2 个直方图之间相似程度的全局定量描述,常用的方法有巴氏距离^[23]、相关系数^[25]、直方图相交^[23]和卡方系数^[25]等。其中巴氏距离、卡方系数的计算最为复杂,不适合实时性要求较高的人脸活体检测。而直方图相交法计算简单更能满足快速检测的需求。待测人脸 HOG 特征 H 、 $H_{T\text{-mean}}$ 和 $H_{F\text{-mean}}$ 之间的相交值为

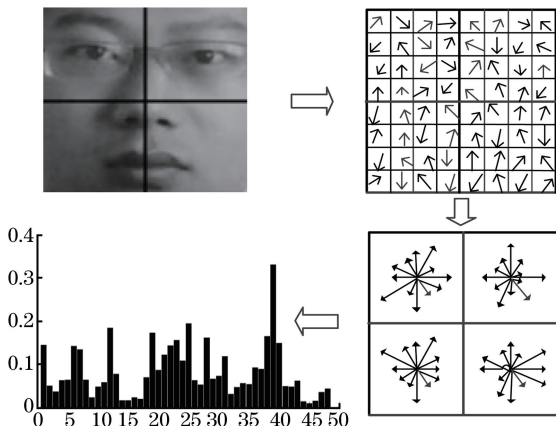


图3 梯度方向特征提取流程示意图

Fig. 3 Schematic of HOG feature extraction

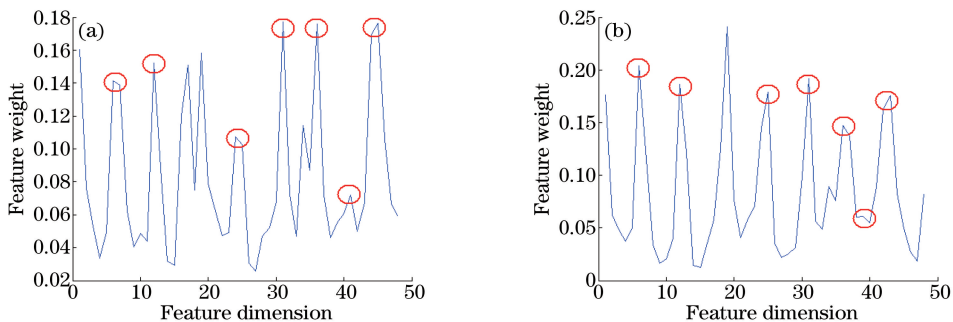


图 5 参考特征分布图。(a)真实人脸平均特征;(b)照片人脸平均特征

Fig. 5 Reference feature distributions of average features of (a) real face and (b) photo face

数, k 为梯度方向分区数。

1000 个样本与参考特征 H_{T-mean} 和 H_{F-mean} 的相交值分布图如图 6 所示。由图 6 可知,直方图相交特征对活体人脸与照片人脸有明显的区分能力,可以作为分类的特征向量。

综上所述,将 P_T 、 P_F 、 H 及样本类别标记作为特征向量送入 SVM 分类器进行训练,可达到活体与照片分类判别的目的。完整的人脸活体检测方法处理框架如图 7 所示。

$$\left\{ \begin{aligned} P(H, H_{T-mean}) &= \frac{\sum_{i=1}^{n \times k} \min[H(i), H_{T-mean}(i)]}{\sum_{i=1}^{n \times k} H_{T-mean}(i)} \\ P(H, H_{F-mean}) &= \frac{\sum_{i=1}^{n \times k} \min[H(i), H_{F-mean}(i)]}{\sum_{i=1}^{n \times k} H_{F-mean}(i)} \end{aligned} \right. , (5)$$

式中 p 为直方图的分量数(值为 $n \times k$), n 为子图块

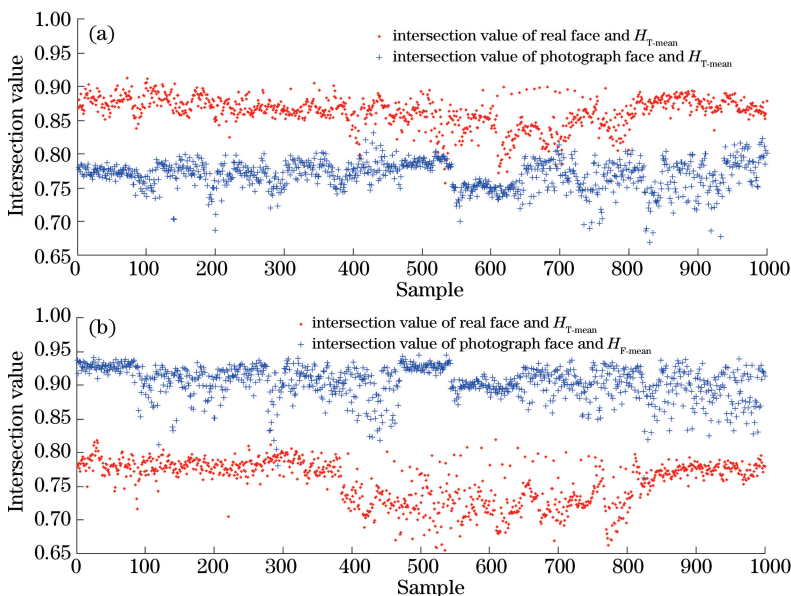


图 6 样本与参考特征的相似度分布图。(a) 1000 个样本与 H_{T-mean} 的相似度分布;(b) 1000 个样本与 H_{F-mean} 的相似度分布

Fig. 6 Similarity distributions between samples and reference features. Similarity distributions of 1000 samples to (a) H_{T-mean} and (b) H_{F-mean}

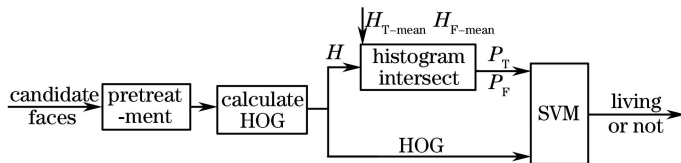


图 7 人脸活体检测框架

Fig. 7 Block diagram of human face liveness detection

4 实验与分析

本文方法在南京航空航天大学(NUAA)图像库^[13]上进行了实验验证,该图像库包含了15人在不同时期、不同光照条件下采集的真实人脸图像和由照片翻拍的人脸图像。随机选取15人在不同时期、不同光照条件下采集的2500张真实人脸图像和由照片翻拍而来的2500张人脸图像作为训练及测试样本。其中选取12组真实人脸图像2000张和照片人脸图像2000张分别作为训练正、负样本,剩余的作为测试样本。按HOG+相交进行了特征提取、SVM分类器训练及样本检测,检测结果如表1所示。其中正样例(TP)和负样例(TN)分别为正、负样本的检测准确率,作为对比也检验了仅用HOG特征进行人脸活体检测的效果。可以看出,本文方法比仅用HOG特征方法的检测准确率提高了3.60%,特征维数仅增加了2维。

表1 特征选择测试结果

Table 1 Test results of feature selection

Extraction method	Feature dimension	TP / %	TN / %	Detection accuracy / %
Proposed	50	95.80	98.20	97.00
HOG	48	92.60	94.20	93.40

为进一步验证本文方法的有效性,还与基于几何特征检测方法^[24]、基于纹理特征的检测方法^[1,5,19]在NUAA数据库上进行了对比实验,结果如表2所示。由于几何特征检测法是根据人脸器官的关键点位置关系进行判别,人脸图像二次翻拍时其特征点位变化不大,因此该方法的检测正确率明显低于基于纹理信息的方法。本文方法关注人脸边缘的纹理变化,与同样基于纹理特征的LBP、傅里叶频谱融合LBP,及灰度共生矩阵(GLCM)结合小波分析的方法相比,检测准确率分别提高了3.13%,0.84%,0.03%;虽然与后两种方法的检测率接近,但傅里叶频谱融合LBP的方法需进行频谱变换,而GLCM结合小波分析的方法需要进行小波变换,并计算图像能量、熵、相关性和惯性矩,因此计算复杂度最高。从图6可以看出,在一定区域内有少量样本与参考特征的相似度存在一定偏差,究其原因是在人脸数据库中存在少量光照剧烈变化或遮挡的样本,如图8所示,这些样本梯度信息的异常表达会导致检测错误。但大部分真实人脸和照片人脸样本能被区分,可见HOG结合相交特征的新方法具有较好的活体检测能力,还能满足实

时性的要求。

表2 不同特征提取方法的识别率

Table 2 Recognition rate of different feature extraction methods

Extraction method	Feature dimension	TP / %	TN / %	Detection accuracy / %
Geometrical characteristic ^[24]	131	92.12	85.58	88.85
LBP ^[5]	59	93.55	94.06	93.87
Fourier spectrum+LBP ^[1]	91	100.00	92.33	96.16
GLCM+wavelet character ^[19]	12	97.03	96.88	96.97
Proposed	50	95.80	98.20	97.00

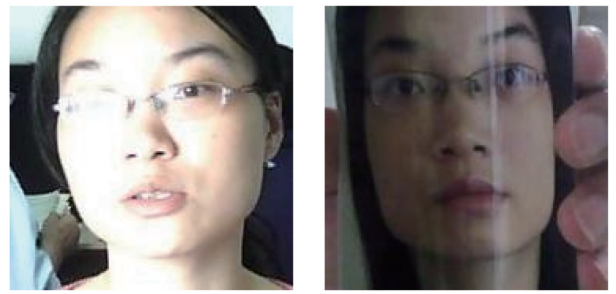


图8 误差样本示例图

Fig. 8 Example of error samples

5 结论

照片人脸二次成像过程中产生的非线性响应会影响人脸的边缘纹理,通过梯度方向直方图及参考样本集的直方图相交特征设计了真实人脸和照片人脸的分类检测方法。新方法以较低的特征维数取得了较高的检测准确率,为基于人脸识别的身份认证应用增加了安全性。但在实际场景中应考虑更多的影响因素,如光照剧烈变化、遮挡等,因此,新方法在实用中应尽量避免以上影响因素,考虑更多抗干扰特征,提高该方法的稳健性是下一步要改进之处。

参考文献

- [1] Kim G, Eum S, Suhr J K, *et al.* Face liveness detection based on texture and frequency analyses [C]. IAPR International Conference on Biometrics, 2012: 67-72.
- [2] Lu Y F, Feng L, Li X H, *et al.* Recaptured image detection based on surface gradient [J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2012, 36(5): 57-61.

- 卢燕飞, 冯莉, 李兴华, 等. 基于图像表面梯度的翻拍检测[J]. 北京交通大学学报, 2012, 36(5): 57-61.
- [3] Li J W, Wang Y H, Tan T N, *et al.* Live face detection based on the analysis of Fourier spectra[J]. *Biometric Technology for Human Identification*, 2004, 5404: 296-303.
- [4] Liu H, Wang R, Yan D, *et al.* Non-intrusion face liveness detection based on SVD and HSV color space histogram[J]. *Journal of Computational Information Systems*, 2014, 10(9): 3767-3775.
- [5] Maatta J, Hadid A, Pietikainen M. Face spoofing detection from single images using texture and local shape analysis[J]. *IET Biometrics*, 2012, 1(1): 3-10.
- [6] Chingovska I, Anjos A, Marcel S. On the effectiveness of local binary patterns in face anti-spoofing [C]//*Proceedings of the International Conference of Biometrics Special Interest Group*, 2012: 13029854.
- [7] Pereira T D F, Komulainen J, Anjos A, *et al.* Face liveness detection using dynamic texture[J]. *Eurasip Journal on Image and Video Processing*, 2014, 2014(1): 2.
- [8] Das D, Chakraborty S. Face liveness detection based on frequency and micro-texture analysis [C]//*International Conference on Advances in Engineering and Technology Research*, 2014: 14855246.
- [9] Maatta J, Hadid A, Pietikainen M. Face spoofing detection from single images using micro-texture analysis [C]//*International Joint Conference on Biometrics*, IEEE Computer Society, 2011: 12494356.
- [10] Deng G, Cao B, Miao J, *et al.* A liveness check algorithm based on eye movement model using SVM [J]. *Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics*, 2003, 15(7): 853-857.
- 邓刚, 曹波, 苗军, 等. 基于支持向量机眼动模型的活性判别算法[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2003, 15(7): 853-857.
- [11] Smiatacz M. Liveness measurements using optical flow for biometric person authentication [J]. *Metrology & Measurement Systems*, 2012, 19(2): 257-268.
- [12] Singh A K, Joshi P, Nandi G C. Face recognition with liveness detection using eye and mouth movement [C]//*International Conference on Signal Propagation and Computer Technology*, 2014: 14544865.
- [13] Boutellaa E, Boulkenafet Z, Komulainen J, *et al.* Audiovisual synchrony assessment for replay attack detection in talking face biometrics [J]. *Multimedia Tools and Applications*, 2016, 75(9): 5329-5343.
- [14] 黄叶珏. 基于交互式随机动作的人脸活体检测[J]. *软件导刊*, 2015, 14(12): 26-27.
- [15] Hou Y L, Hao X L, Wang Y Y, *et al.* Multispectral face liveness detection method based on gradient features [J]. *Optical engineering*, 2013, 52(11): 113102.
- [16] Wang Y Y, Hao X L, Hou Y L, *et al.* A new multispectral method for face liveness detection [C]//*2nd IAPR Asian Conference on Pattern Recognition*, 2013: 922-926.
- [17] Deng X Q, Zhu Q B, Huang M. Variety discrimination for single rice seed by integrating spectral, texture and morphological features based on hyperspectral image [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2015, 52(2): 021001.
- 邓小琴, 朱启兵, 黄敏. 融合光谱、纹理及形态特征的水稻种子品种高光谱图像单粒鉴别[J]. *激光与光电子学进展*, 2015, 52(2): 021001.
- [18] Sun Y J, Dong J Y, Wang Z F. Estimation of lighting parameters for uniform texture image [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2017, 54(6): 061002.
- 孙玉娟, 董军宇, 王增锋. 灰度一致纹理图像的光参数估算方法[J]. *激光与光电子学进展*, 2017, 54(6): 061002.
- [19] Cao Y, Tu L, Wu L F. Face liveness detection using gray level co-occurrence matrix and wavelets analysis in identity authentication [J]. *Journal of Signal Processing*, 2014, 30(7): 830-835.
- 曹瑜, 涂玲, 毋立芳. 身份认证中灰度共生矩阵和小波分析的活体人脸检测算法[J]. *信号处理*, 2014, 30(7): 830-835.
- [20] Wang Y, Piao Y, Sun R C. Depth image super-resolution construction combined with high-resolution color image of the same scene [J]. *Acta Optica Sinica*, 2017, 37(8): 0810002.
- 王宇, 朴燕, 孙荣春. 结合同场景彩色图像的深度图超分辨率重建 [J]. *光学学报*, 2017, 37(8): 0810002.
- [21] Tan X Y, Li Y, Liu J, *et al.* Face liveness detection from a single image with sparse low rank bilinear discriminative model [C]//*European Conference on Computer Vision*, 2010, 6316: 504-517.

- [22] Dalal N, Triggs B. Histograms of oriented gradients for human detection [C]//IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005, 1(12): 886-893.
- [23] Yao Z J. A new spatiogram similarity measure method and its application to object tracking [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2013, 35(7): 1644-1649.
姚志均. 一种新的空间直方图相似性度量方法及其在目标跟踪中的应用[J]. 电子与信息学报, 2013, 35(7): 1644-1649.
- [24] Gao X T, Ng T T, Qiu B, *et al.* Single-view recaptured image detection based on physics-based features [J]. IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2010: 1469-1474.
- [25] Hu Z D. Mining of positive and negative association rules and development tendency in multi-database[J]. Microcomputer & Its Application, 2013, 32(16): 64-67.
胡志冬. 相关系数和卡方检验的正负关联规则挖掘算法[J]. 微型机与应用, 2013, 32(16): 64-67.