

文章编号: 1672-8785(2018)09-0034-07

主动毫米波成像性别识别算法研究

周 健^{1,3*} 叶金晶^{1,2} 孙谦晨^{1,2,3} 黄 冰^{1,2,3} 杨明辉¹ 朱玉琨^{1,2} 孙晓玮^{1,3}

(1. 中国科学院上海微系统与信息技术研究所中科院太赫兹固态技术重点实验室, 上海 200050;
2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 杭州射频识别技术研发中心, 浙江 杭州 310011)

摘 要: 针对主动毫米波成像安检系统的个人隐私保护问题, 提出了一种主动毫米波人体图像性别识别流程, 包括图像预处理、人体躯干图像分割、性别特征提取、各特征值权重确定、性别识别图谱形成、基于图形数据库的图像分类识别和算法优化验证。提出了一种基于灰度值提取的局域直方图性别识别特征图谱, 给出了不同图像主体直观、量化的性别特征表达。基于该图谱, 提出了一种多特征、多权值性别识别方法, 性别识别准确率高于 80%, 可对海量人体图像快速分类与筛选, 从而采取针对性隐私保护措施。该算法已应用于毫米波安检产品, 其可移植性高, 运行速度快, 识别率高, 在同类安检设备中具有巨大的应用潜力。

关键词: 毫米波; 性别识别; 图像处理

中图分类号: TN911.73 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2018.09.006

Study of a Gender Identification Algorithm for Active Millimeter-wave Imaging

ZHOU Jian^{1,3*}, YE Jin-jing^{1,2}, SUN Qian-chen^{1,2,3}, HUANG Bing^{1,2,3}, YANG Ming-hui¹,
ZHU Yu-kun^{1,2}, SUN Xiao-wei^{1,3}

(1. Key Laboratory of Terahertz Solid-State Technology, Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. Hangzhou Radio Frequency Identification Technology Research and Development Center, Chinese Academy of Sciences, Hangzhou 310011, China)

Abstract: A human body image gender identification algorithm was proposed for active millimeter-wave imaging security systems. The procedure of the algorithm includes imaging preprocessing, human body image segmentation, gender feature extraction, selection of weight of different characteristics, formation of gender feature maps, image classification identification and algorithm optimization verification based on map database. A

收稿日期: 2018-07-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(61671439); 国家自然科学基金重点项目(代码 F0120, 科学部编号: 6173000272); 中国科学院院地合作项目(YDJDBNJ-2012-027); 上海市自然科学基金(13ZR1447400)

作者简介: 周健(1970-), 男, 江苏大丰人, 博士, 研究员, 硕导, 主要从事毫米波成像算法、隐私保护和性别识别算法研究。E-mail: zjian@mail.sim.ac.cn

kind of local histogram algorithm based on gray value extraction was proposed and an intuitive map for identifying gender of the figure was given. On the basis of the map, a multi-weight, multi-characteristic gender identification method was proposed. The identification rate of the method is above 80%, which would be helpful to the fast identification of huge number of pictures and the taking of corresponding measures to protect human privacy. The algorithm had been used in millimeter wave body security checkpoints. Because of high portability, fast running speed and high recognition rate, it would have great application potential in similar security equipment.

Key words: millimeter-wave; gender identification; image processing

0 引言

毫米波是波长为 1~10 mm、频率范围为 30~300 GHz 的电磁波。借助电磁波的相干原理, 可以进行毫米波全息成像; 通过采集空间信息, 可记录观测目标上每个散射点的衍射图样, 通过图像重建获得目标的毫米波图像。具体成像过程是, 成像前端依次接收带宽中每个频点的回波, 得到空间三维数据, 通过 Fourier 变换转化为空间频域信号, 换言之, 将回波表示成一定范围内的不同方位角和俯仰角以及不同波数的平面波的叠加, 然后把每一个平面波分量通过相位补偿, 反演到目标的实际三维距离分布, 经三维逆 Fourier 变换后取模, 得到三维像。

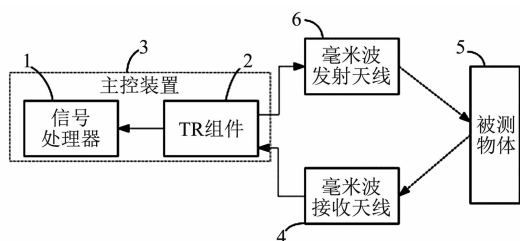


图 1 毫米波成像原理图

主动毫米波安检设备可快速对人体藏匿的金属、陶瓷、易制爆品、毒品等危险品^[1]进行可视化成像。有源毫米波成像系统通过主动发射毫米波至受检人员, 再探测从受检人员身体反射的信号强度来实现成像。其成像无电离辐射、非接触、分辨率适度, 不危害被检人员的健康, 成像分辨率高于无源毫米波成像方式, 适用于公共场所人体安检应用。因此, 利用有源毫米波探测成像技术来实现随身隐匿违禁物

的透视安检, 已成为近年来国内外的研究热点^[2-3]。

主动毫米波人体图像包含的信息丰富, 毫米波可以穿透受检人穿着的衣物, 呈现受检人的面部特征和生理特征。也正因为包含了涉及个人隐私的信息, 对包含人体目标的主动毫米波图像进行隐私保护处理显得尤为必要^[4-6]。然而, 现有的软件多对性别不加以识别或不具备标准参考图谱, 因此识别率不高, 可信度也受到质疑。美国 L3 公司开发的 ProVision 三维人体安检仪是目前市面上较成熟的毫米波安检系统, 已在全球各大机场使用。在隐私保护方面, 该系统主要采用通用图替代毫米波原图进行呈现^[7], 尚未形成性别标准图谱来识别图像主体的性别。在国内, 北京无线电计量测试研究所的主动毫米波人体成像系统所成的三维人体扫描图像利用去隐私图像处理技术算法, 通过对隐私部位不透明遮挡以最大限度地保护受检人的隐私^[8], 但未对人体图像的性别加以区分。中科院上海微系统所针对主动毫米波成像安检系统的个人隐私保护问题, 提出了一种不受身高、站姿影响的毫米波人体图像隐私保护算法, 对图像进行了预处理和建库, 为进一步开展图像主体的性别识别提供了数据源和技术基础^[9-11]。

对不同性别的图像主体隐私不加以区别保护, 一方面容易导致在不必要的部位进行过度隐私保护, 另一方面也导致了不必要的计算, 导致计算资源浪费, 降低了运算和识别效率。事实上, 男性受检人需要进行隐私保护处理的部位只有面部和裆部, 而女性受检人则需增加

胸部的隐私保护。对男性、女性受检人进行差别化的隐私保护处理,就需要提取主动毫米波人体图像中男女图像的性别特征,根据各项特征分类完成毫米波人体图像的性别识别。因此,对人体图像进行主体性别识别对于准确、高效的隐私保护显得尤为必要。

本论文针对现有安检设备软件的不足,基于自主研发的垂直扫描毫米波安检仪,对男女受检人员进行采样,建立性别识别标准图谱,设计了新的性别识别算法,实现对不同性别图像主体差别化隐私保护。该算法在人体安检方面有巨大的应用潜力。

1 常规性别识别算法

性别分类是一个复杂的大规模二次模式分类问题,分类器将数据录入并划分男性和女性。目前最主要的性别识别方法主要有基于特征脸(EigenFace)性别识别算法^[12]、基于 Fisher 准则性别识别算法^[13-14]和基于 Adaboost + SVM 的人脸性别分类算法^[15-17]三大类。基于特征脸的性别识别算法在计算过程中通过消除数据中的相关性,将测试图片映射到低维空间中,然后计算离测试图片最近的样本点,将该点的性别赋值给测试图片。基于 Fisher 准则的性别识别方法主要利用线性投影分析(Linear Projection Analysis, LDA)的思想,将样本空间中的男女样本投影到过原点的直线上,并确保样本在该线上的投影类内距离最小,类间距离最大,从而分离出性别识别界线。基于 Adaboost+SVM 的人脸性别分类算法,首先通过对样本图像进行预处理,提取图像的 Gabor 小波特征,通过 Adaboost 分类器进行特征降维,最后对 SVM 分类器进行训练,然后通过样本图像预处理,提取图像 Gabor 小波特征,通过 Adaboost 分类器进行特征降维,最后基于经过训练的 SVM 分类器进行识别,输出识别结果。常规的图像性别识别算法主要应用于人脸图像主体性别识别,但对毫米波图像主体的性别识别率较低。

实际人体安检采用主动毫米波安检设备对

人体进行安检成像。毫米波图像与常规可见光图像特征不同,可见光图像主要包含灰度特征,毫米波图像中包含纹理和灰度特征。性别识别分类直接影响到安检的准确性和效率,由于可见光图像能反映表层特征,而毫米波图像不仅能反映表层而且反映皮肤以下浅层人体特征,物理本质而言,不仅反映信号的强度信息,而且反映信号的相位信息。常规的基于人脸可见光图像识别方法对毫米波图像的识别率低,迫切需要开发一种算法,可准确识别受检人员的性别并采取相应的隐私保护措施,提高安检效率。本算法正是针对上述需求提出,建立标准性别识别图谱和识别流程,实现高效的图像性别识别。

2 算法描述

本算法主要包括 6 部分,即毫米波图像预处理、人体躯干分割、特征值提取、确定各特征值权重、图像分类识别、确定性别。

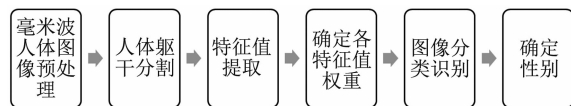


图 2 毫米波人体图像性别识别的算法流程

图 2 是性别识别算法的流程示意图。性别识别所用的图像均为基于 Simimage 毫米波安检仪在车站对特定人群进行安检成像的图像,共收集图像 1000 张,构成图像库。图 3(a)、3(b)分别表示男、女受检人的主动毫米波图像原图。采集图像时间跨度为 2015 年 12 月~2016 年 6 月,受检人的性别随机,衣着随机、携带物品随机,用于分析、识别的图像清晰完整。

2.1 毫米波图像预处理

图像预处理旨在处理模糊图像附带的大量毛刺噪声、图像边界的过渡地带发送混叠等现象。进行二值化处理,使各像素点值非黑即白,确定

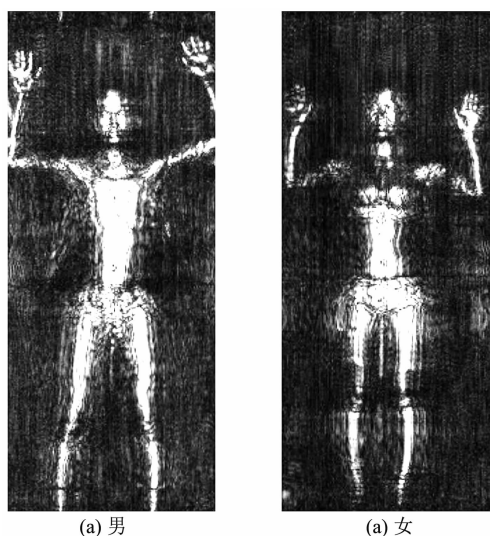


图 3 受检人的主动毫米波图像原图

合适的阈值,从而确定 255 与 0 的分配。

2.2 人体躯干图像分割

分割出受检人的躯干主体,进行统一计算分析。躯干定义为颈部以下、胯部以上的部位。

对所有待分析图像,分割出受检人的躯干主体,进行统一的计算分析。男性受检人图像分割出的部分结果如图 4 所示。

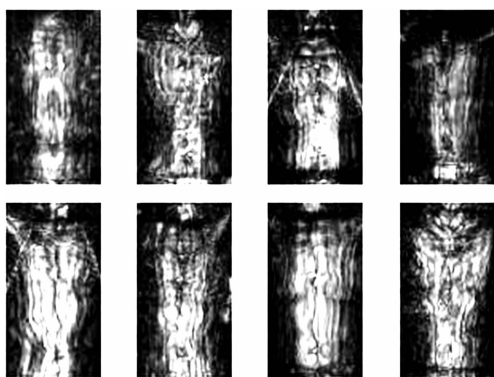


图 4 男性受检人躯干部分的毫米波图像

图 4 是从图库中随机选取的 8 名男性受检人的躯干分割图,大小为 60×110 像素点。

2.3 人体性别特征提取

2.3.1 灰度值直方图方法

所有分割图均为灰度图像,灰度值在 0~255 范围内。将分割图按式(1)计算,得到归一化直方图。

$$p(r_i) = \frac{n_i}{n} \quad (1)$$

式中, r_i 表示灰度值为 $[0, 255]$ 区间内的第 i 级亮度, n_i 表示灰度级为 r_i 的像素点数量, n 代表灰度图像的所有像素点个数, $p(r_i)$ 表示灰度级为 r_i 的像素点出现频数。选取男性受检人的分割图进行直方图计算,可以看到,相同性别的直方图分布相似,重合率较高。

2.3.2 方向梯度直方图(Histogram of Oriented Gradient, HOG)向量

HOG 是在图像识别所需的特征中与颜色特征相关的一个重要特征值,常与支持向量机结合应用。HOG 在选取图像区域较小时,表征特征效果更好,此时的结果除包含梯度直方图外,还包含了图块所在位置的几何信息。

首先将躯干毫米波图像以区块交叠的方式分割成多个方形区块,然后根据式(1)和式(2)分别计算每个区块的梯度幅值与梯度方向:

$$Q(x, y) = \sqrt{I_x^2 + I_y^2} \quad (2)$$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \frac{I_y}{I_x} \in [0, 360^\circ) \text{ or } [0, 180^\circ) \quad (3)$$

式中, I_x 代表区块中像素单元水平方向上的梯度, I_y 表示垂直方向上的梯度, $Q(x, y)$ 表示梯度的幅值, $\theta(x, y)$ 为对应梯度的方向,所得特征向量可用于图像识别分类。

2.3.3 纹理特征提取

纹理特征既可以作为局部特征,也可以是全局特征,它表征了图像中目标主体的表面特性,并不能完全反映出物体的本质属性。但对于毫米波图像来说,由于男女生理特征的不同,对毫米波的反射回波信息会有明显的差别,在回波信息中所包含的纹理特征也会有所不同。

局部二值模式(Local Binary Patterns, LBP)是在众多纹理特征参数中应用最广泛的一种。LBP 特征的定义是,在 3×3 的像素单元内,以中心像素点即第 2 行第 2 列的像素点为初始比较对象,将该点四周像素点的灰度值

与它比较大小。四周像素点的灰度值较大时,将该位置记为 1,较小时记为 0,此时该中心像素点周围的 8 个点标记可以产生一串 8 位二进制数,这串数字按一定规则编码后就代表了 LBP 特征的纹理信息。

在对毫米波人体图像进行纹理特征提取时,主要针对躯干部位进行像素单元划分,划分单元大小为 10×10 个像素点,将得到每个像素单元内的 LBP 特征值绘制直方图,并将同一个区域内的直方图做归一化处理,最后可以得到躯干区域的特征向量。

主动毫米波人体图像中,男女受检人的纹理特征存在部分差异,如图 3 所示。图像经纹理凸显处理后可见,性别不同的人体正面纹理的曲度、阴影部位不同,躯干部位尤为明显,如图 5 所示。

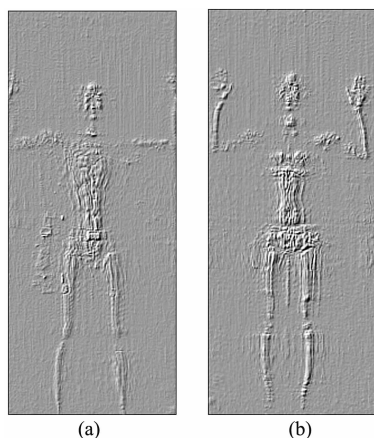


图 5 纹理特征凸显效果图

图 5(a)为男性受检人的纹理特征图,图 5(b)是为女性受检人的纹理特征图,两者的纹理特征差别较大,可以提取纹理特征向量作为性别识别的依据。

2.4 各特征值权重的确定

综合上述特征提取方法,将已有灰度值直方图、HOG 特征向量、LBP 纹理特征向量作为性别识别的特征参照,这些特征值按照男女差异大小分配合适的权重,用于后期分类识别。除以上特征外,受检人的身高、躯干肢体比例也可以作为辨别性别的依据。在图像识别时,可作为辅助判断的识别条件,其所占权重

较少。

以获得最大性别识别率为目的,开展特征的多权值分配。经过多轮优化,灰度直方图占 25%~35%,HOG 特征向量占 25%~35%,LBP 纹理特征向量占 25%~35%,受检人的身高、骨骼长度、躯干肢体的比例等其余特征占 5%~15%时,获得的识别率大于 80%。

2.5 性别识别图谱形成

基于灰度值直方图方法,开展了性别识别图谱绘制。

2.5.1 男性灰度直方图的绘制

从图库中随机选取若干名受检人的躯干分割图(图 3),大小为 60×110 像素点,进行直方图计算。可以看到,相同性别的直方图分布相似,重合率较高。将图库中所有符合清晰度条件的男性受检人的躯干做直方图计算,将结果全部叠加后求平均值,可以得到男性躯干直方图分布的图谱。

2.5.2 女性躯干直方图绘制

按照相同的方法,分割出女性受检人的躯干主体,如图 6 所示,进行统一的计算分析。图 6 显示的是从图库中随机选取的 8 名女性受检人的躯干分割图,大小为 60×110 像素点。由于女性个体较小,相同大小选定框截取的躯干比例较大,但是灰度分布类型相似,特点明显。不同受检人的躯干直方图的分布规律相近,同样可以将图库中所有女性受检人的躯干直方图叠加求均值,得到女性的特征图谱。

将男性躯干直方图的均值与女性躯干直方

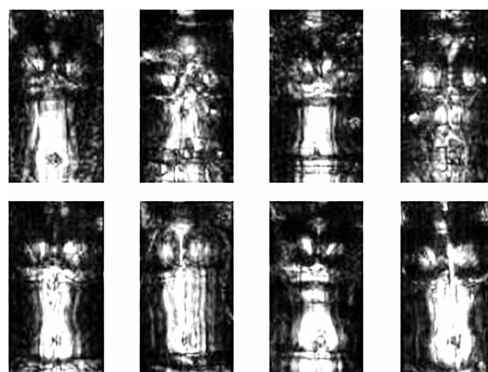


图 6 女性受检人躯干部分的毫米波图像

图放入同一坐标系内, 如图 7 所示, 可以得到男、女受检人躯干的直方图分布对比。

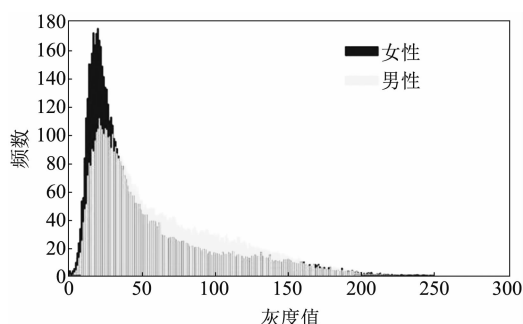


图 7 男性女性受检人躯干的平均直方图对比

从以上对比结果可以得出, 受检人躯干分割图的直方图分布可以作为个性别识别的特征依据。

2.6 图像分类识别和算法优化验证

将隐私保护算法和性别识别算法运用于中科院上海微系统所研制的毫米波安检成像 SimImage 实际产品中, 图 10 为性别识别软件的显示界面。左侧图像为三维全息的人体背面, 不包含个人隐私信息, 无需隐私保护处理; 右侧图像为人体正面在隐私模式下的图像。识别受检人的性别为男性, 仅需采取两处隐私保护处理。

3 实验结果与分析

毫米波图像特征中, 将灰度值直方图、HOG 特征向量、纹理特征、LBP 特征向量作为性别识别的主要特征参照。其中灰度直方图、HOG 特征向量、LBP 特征向量由于对男女图像都具有较好的区分度, 在性别识别时各占 30% 权重, 剩余 10% 的比例由受检人的身高、骨长、躯干肢体比例等特征组成。由于男女身材不统一, 所以这些特征只作为辨别性别的辅助依据。

通过识别毫米波图像的性别, 可自动将成像结果分为男性和女性两类。实际应用时, 可将女性受检人的毫米波图像传送给女性安检工作人员检查, 将男性受检人的毫米波图像传送给男性安检工作人员。为了更智能、高效地保护受检人的隐私, 运用隐私保护算法对毫米波

图像进行有针对性地局部处理, 例如男性受检人仅需模糊化处理面部与裆部, 女性受检人需增加胸部模糊处理, 以避免男性受检人在胸前衣服口袋内藏匿的危险品被隐私保护处理遮挡。

本算法借助 C 语言实现, 运行时间小于 0.15 s, 只有 MATLAB 常规算法运行时间的 1/10。

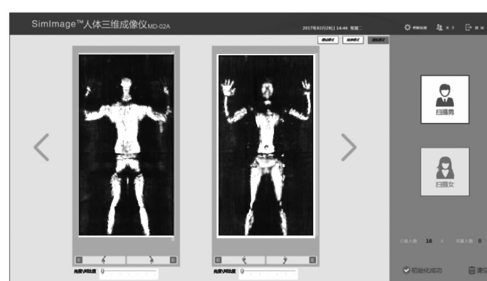


图 8 使用性别识别算法的人体三维成像安检系统的界面图

4 结论

提出了一种能快速、准确地进行性别识别和隐私保护的主动毫米波人体图像性别识别算法。性别识别流程包括图像预处理、人体躯干图像分割、性别特征提取、各特征值权重确定、性别识别图谱形成、基于图形数据库的图像分类识别和算法优化验证。提出了基于灰度值提取的局域直方图性别识别特征图谱。基于该图谱, 提出了一种多特征、多权值性别识别方法, 性别识别的准确率高于 80%, 可对海量人体图像快速分类与筛选, 采取针对性隐私保护措施。软件的可移植性高, 识别率高。采用 C 语言实现, 运行速度快, 小于 0.15 s, 已应用于人体安检系统产品。本算法的识别准确度、速度、有效性得到了验证。

参考文献

- [1] 桑伟, 岳胜利. 毫米波成像技术在人体安全检查领域的应用 [J]. 中国安防, 2013(4): 83-87.
- [2] 王辉, 赵凤军, 邓云凯. 毫米波合成孔径雷达的发展及其应用 [J]. 红外与毫米波学报, 2015, 34(4): 452-459.

- [3] 王楠楠, 邱景辉, 张鹏宇, 等. 被动毫米波焦面阵成像技术 [J]. *红外与毫米波学报*, 2011, **30**(5):419–424.
- [4] Martinez-Lorenzo J, Alvarez Lopez Y, Rodriguez-Vaqueiro Y, et al. Three-Dimensional Compressed Sensing-Based Millimeter-Wave Imaging [J]. *IEEE Transactions on Antennas & Propagation*, 2015, **63**:1–1.
- [5] Appleby R, Anderton R N, Price S, et al. Whole-body 35-GHz security scanner [J]. *SPIE Proceedings*, 2004, **54**(10):244–251.
- [6] 王威, 王凯让, 年丰, 等. 一种基于毫米波成像的隐私保护方法: 中国, CN102708560B [P]. 2012–04–25.
- [7] Tirosh Y, Birnhack M. Naked in Front of the Machine: Does Airport Scanning Violate Privacy [J]. *Social Science Electronic Publishing*, 2013, **74**(6):1263–1306.
- [8] 赵英海, 陈晔. 一种人体隐私部位自动检测与遮挡的微波安检系统: 中国, CN102540264B [P]. 2012.
- [9] 叶金晶, 周健, 孙谦晨, 等. 主动毫米波成像隐私保护算法 [J]. *红外与毫米波学报*, 2017, **36**(4): 505–512.
- [10] 周健, 叶金晶, 孙谦晨, 等. 一种基于有源毫米波成像的隐私部位定位与保护方法: 中国, CN201610858411.3 [P]. 2016.
- [11] 周健, 叶金晶, 孙谦晨, 等. 一种主动毫米波人体图像性别识别方法及其实施: 中国, CN201711369674.9 [P]. 2017.
- [12] 陈晓倩, 许孜奕, 陆丽, 等. 基于脸部特征的性别识别 [J]. *数据采集与处理* **2010**, **25**(5): 595–599.
- [13] 何国辉, 甘俊英. 基于核函数 Fisher 识别算法在性别识别中的应用 [J]. *计算机工程与应用*, 2004, **40**(15):209–210.
- [14] CB Ng, YH Tay, BM Goi. A Review of Facial Gender Recognition [J]. *Pattern Analysis & Applications*, 2015, **18**(4): 739–755.
- [15] 惠晓威, 周金彪. 基于改进的 Adaboost_SVM 的人脸表情识别 [J]. *激光杂志*, 2014(9):54–57.
- [16] 许书环, 孔斌, 郑飞. 基于肤色特征的 AdaBoost 人脸检测方法 [J]. *计算机系统应用*, 2010, **19**(6):44–48.
- [17] 郭玉珂, 张松敏, 高翔. AdaBoost 人脸检测算法研究 [J]. *科技信息*, 2009 (10):211–211.

(上接第 33 页)

- [5] 李亚春, 孙涵. 用 GMS-5 气象卫星资料遥感监测白天雾的研究 [J]. *南京气象学院学报*, 2001, **24**(3): 343–349.
- [6] 梁益同, 张家国, 刘可群, 等. 应用 FY-1D 气象卫星监测雾 [J]. *气象*, 2007, **33**(10): 68–72.
- [7] 周红妹, 葛伟强, 柏桦, 等. 气象卫星大雾遥感自动识别技术研究 [J]. *热带气象学报*, 2011, **27**(2): 152–160.
- [8] 樊建勇, 黄玲, 祝必琴, 等. NOAA/AVHRR 遥感数据在夜间雾监测中的应用 [J]. *江西农业大学学报*, 2011, **33**(1): 189–193.
- [9] Turner J, Allam R J, Maine D R. A Case Study of the Detection of Fog at Night Using Channels 3 and 4 on the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) [J]. *Meteorological Magazine*, 1986, **115**: 285–290.
- [10] D'Entremont R P. Low-and Midlevel Cloud Analysis Using Nighttime Multispectral Imagery [J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1986, **25**(12): 1853–1869.
- [11] D'Entremont J, Bachmann M. A Method for Detection of Fog Using AVHRR Imagery of NOAA Satellites Suitable for Operational Purposes (in German) [J]. *Meteorologische Rundschau*, 1991, **43**(2): 169–178.