

主动毫米波成像隐私保护算法

叶金晶^{1,2}, 周健^{1*}, 孙谦晨^{1,2}, 杨明辉¹, 朱玉琨^{1,2}, 孙晓玮¹

(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)

摘要:针对主动毫米波成像安检系统的个人隐私保护问题,提出了一种不受身高、站姿影响的毫米波人体图像隐私保护算法.通过预处理将毫米波图像背景噪声弱化,增加人体目标边缘细节.使用二值化和形态学处理进一步区分背景与人体目标,根据身高划分的人体部位比例与像素点遍历求最值法实现隐私部位的初步定位,可以满足标准站姿下不同身高受检人的隐私部位定位需求.算法所包含的定位复查校准模块通过对隐私位置条件的循环判断与调整,解决了非标准站姿下隐私部位的定位.最后,根据已定位的坐标进行模糊化处理,实现保护受检人隐私的功能.算法已应用于实际产品,与常规隐私保护算法相比,可移植性高,运行速度快,定位准确

关键词:毫米波;隐私保护;定位;图像处理

中图分类号:TN911.73 **文献标识码:**A

A privacy protection algorithm for active millimeter-wave imaging

YE Jin-Jing^{1,2}, ZHOU Jian^{1*}, SUN Qian-Chen^{1,2}, YANG Ming-Hui¹, ZHU Yu-Kun^{1,2}, SUN Xiao-Wei¹

(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)

Abstract: A kind of human body image privacy protection algorithm was proposed for active millimeter-wave imaging security systems with the images was not affected by the height and the standing posture of people. The background noise of the millimeter-wave image was decreased and the edge details were increased by pretreatment of the human body image. The morphological processing and binarization were used to distinguish human body image from background. The pixel traversal method and human body proportion determination method were initially used to locate the private parts of human body with standard posture. Subsequently, the calibration algorithm was used to locate the privacy parts of human body with different height and non-standard posture to improve the identity rate of location. Finally, the already positioned privacy parts were blurred to protect the privacy of people under inspection. The algorithm has been applied to the actual imaging products. Compared with the conventional ones, the proposed algorithm has high portability, fast running speed and high positioning accuracy.

Key words: millimeter-wave, privacy protection, positioning, image processing

PACS: 84.40.-x

引言

毫米波是波长为 10 mm ~ 1 mm, 相应频率范围为 30 ~ 300 GHz 的电磁波, 采用毫米波成像技术的

人体安检设备具有对人体安全无害的特点, 因此受到科研与工程界的广泛关注^[1-2].

目前毫米波成像技术已经用于机场、车站的安检系统中, 由于主动式毫米波成像相比被动式得到

收稿日期: 2016-09-06, 修回日期: 2016-12-13

Received date: 2016-09-06, revised date: 2016-12-13

基金项目: 国家自然科学基金(61671439), 中国科学院院地合作项目(YDJDBNJ-2012-027), 上海市自然科学基金(13ZR1447400)

Foundation items: Supported by National Natural Science Foundation of China(61671439), Cooperation Project of Chinese Academy of Sciences (YD-JDBNJ-2012-027), Natural Science Foundation of Shanghai China(13ZR1447400)

作者简介 (Biography): 叶金晶(1992-), 女, 浙江杭州人, 硕士研究生. 主要从事毫米波成像算法、目标自动识别方面的研究. E-mail: yejj@mail.sim.ac.cn

* 通讯作者 (Corresponding author): E-mail: zjian@mail.sim.ac.cn

的信息量更大,不仅能够实现二维成像还能实现三维成像,投入实际应用的多为主动式毫米波成像系统^[3-4]. 在安检过程中,一般直接对人体进行探测,无需脱去衣物,是因为毫米波对衣物具有穿透能力,可以快速检测出藏匿的金属、陶瓷、易制爆炸物品、毒品等危险物^[5]. 虽然其穿透力远不及 X 光检测仪,但仍会引发个人隐私保护方面的担忧^[6].

美国 L3 公司开发的 ProVision 三维人体安检仪是目前市面上较为成熟的毫米波安检系统,已在全球各大机场广泛使用,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]. 在国内,北京无线电计量测试研究所 2010 年开始从事主动毫米波人体成像系统的研制工作,所成三维人体扫描图像利用去隐私图像处理技术算法,通过对隐私部位的不透明遮挡以最大限度的保护受检人隐私^[8].

常规隐私保护方法虽然保护了公民的个人隐私,但对受检人站姿有较高要求,当受检人站姿不符合要求时可能会出现定位不准确、遮挡位置偏移的情况. 针对以上存在的问题,设计了新的隐私保护算法,实现对不同身高、站姿人体的隐私部位的准确定位及保护,在人体安检方面有巨大应用潜力.

1 常规隐私保护算法

常规的毫米波隐私保护算法可以分为两类,一类是横向分割隐私保护算法^[6],另一类是中位线直方图隐私保护算法^[9].

横向分割隐私保护算法中,分为隐私部位定位和隐私保护两部分. 隐私部位定位首先通过平滑滤波、阈值选取、形态学处理等操作得到人体目标骨干图,然后根据骨干图进行人体目标的横向划分,根据划分位置确定隐私部位. 因此该算法对于人体的面部、胸部、裆部位置定位较为准确,一般不会出现上下偏移. 但是由于没有左右方向的限定,当受检人举起的手部与头部高度相近时,可能无法正确区分人体面部和高举的手部,造成面部识别位置左右偏移,如图 1 所示. 隐私保护则采用人体图像与棒状模型结合的方式进行,这种隐私保护模式虽然完全保护了受检人的个人隐私,但当出现自动目标识别系统故障或遗漏的情况,完全遮盖住毫米波图像的做法并不妥当,可能会遗漏危险品的检测,对公共安全造成重大影响. 而且横向分割隐私保护算法操作复杂、运算量大,在实际运用中无法满足毫米波安检系统快速检测的需求.



图 1 横向分割隐私保护算法面部定位横向偏移的情况

Fig. 1 The lateral offset in facial location in the case of horizontal segmentation privacy protection algorithm

中位线直方图隐私保护算法可分为隐私部位检测与遮挡两部分. 隐私部位检测在算法初期需先确定图像中人体目标的中位线位置,构建水平、垂直方向空间分布直方图,然后根据中位线逐个定位隐私部位. 在隐私部位遮挡部分,采用高斯核函数对隐私部位区域进行平滑处理,使隐私部位模糊化. 该算法在受检人为标准站姿的情况下定位较为准确,但在实际应用时,受检人的站姿不统一,可能出现中位线定位不准确,导致后期隐私部位定位不准确,遮挡位置不正确.

在隐私部位保护部分,除了人体模型匹配和高斯核函数平滑方式外,还有将具体隐私部位不透明完全遮盖处理的方法,该方法在受检人将危险物品藏匿于隐私部位的情况下同样可能会造成危险品的漏检. 模糊化常用的方法是卷积滤波,即选择一个低频滤波器,对图像中每个像素点进行卷积操作^[10].

但由于卷积计算量巨大,会使得算法程序效率降低.

实际人体安检应用对于受检人员身高、站姿冗余和安检效率提出严格要求,迫切需要开发一种算法,既可以解决由于受检人身高、站姿各异造成的定位不准等问题,又可以实现快速隐私模糊化.本算法正是针对上述需求提出,借助快速均值滤波^[11],实现了隐私部位的高效、程度可控模糊化.

2 算法描述

本算法主要由三部分组成,即毫米波图像预处理、人体隐私部位识别定位、指定区域模糊化处理,完成对主动毫米波所成人体图像的隐私部位的遮挡,达到保护受检人个人隐私的目的.

2.1 毫米波图像预处理

毫米波图像降噪预处理是从软件角度提高毫米波辐射图像质量,该技术与调整更新硬件技术相比,更为经济实用.毫米波成像系统在进行成像工作时,会受到接收信号部件、数据采集、周围环境温度和天气状况等因素影响,获得的图像一般都具有较差分辨率,图像的周围会出现目标边缘模糊、图像附带大量毛刺噪声、图像边界的过渡地带发生混叠等现象^[12].需要进行一些预处理对图像质量进行提高.

毫米波图像带有噪声,人体成像与背景可能存在边界不清的情况,因此需对原始毫米波图像进行基本降噪处理,旨在进一步区分人体目标与背景,同时避免后期锐化造成噪声放大.

为增加人体目标的边缘细节,采用图像锐化处理,其核心是在增加高频分量及细节的同时保持原图像的低频部分^[13].

$$g(x, y) = f(x, y) + A \times h(x, y) \quad (1)$$

式(1)中 $g(x, y)$ 为经过锐化处理后的图像, $f(x, y)$ 为原始毫米波图像, $h(x, y)$ 为 $f(x, y)$ 经过高通滤波后的图像,变量 A 是控制锐化程度的常数,可以根据需要进行更改^[14].

由于需对图像每一点都进行锐化处理,所以,求 $h(x, y)$ 的滤波算子为:

$$W = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix},$$

$$h(x, y) = f(x, y) \otimes W \quad (2)$$

算法在实际实现过程中,为达到更快的处理速度,不是直接对图像进行图像运算,而是将图像存储为一维数组,通过遍历对每个像素点进行预处理运算操作,输出同样以一维数组存储.

2.2 人体隐私部位快速识别定位

毫米波图像经过基本预处理后,人体目标与环境背景已清晰可辨,可以进行隐私部位的识别定位.

本隐私部位定位算法可以细分为人体图像二值化模块,形态学处理模块,人体图像身高判断模块,面部初步定位模块,胸部、裆部定位模块,定位复查校准模块,如图 2 所示.算法同时限制横向、纵向坐标,根据毫米波图像中人体身高对面部识别区域进行划定,优先定位人体面部,再根据基于车站实地采集的 600 幅毫米波人体图像样本求得的人体比例,结合面部位置得到其余隐私部位坐标,然后利用定位复查校准模块对胸部、裆部位置坐标进行调整,进一步准确定位隐私部位.



图 2 人体隐私部位识别定位算法流程

Fig. 2 Flowchart of human body privacy parts recognition and location algorithm

2.2.1 人体图像二值化与形态学处理

由于受限于毫米波图像的质量,无法使用传统光学图像可用的面部识别技术,本算法采用人体结构位置进行判断.经过预处理后的人体目标已基本与背景分离,此时需将图像进行二值化处理,使各像素点值非黑即白,以利于后续的定位判断.人体图像二值化模块的核心是确定合适的阈值 T ,进而确定 255 与 0 的分配:

$$g(x, y) = \begin{cases} 255, & f(x, y) \geq T \\ 0, & f(x, y) < T \end{cases}, \quad (3)$$

其中 $f(x, y)$ 为表示毫米波图像原图, $g(x, y)$ 为二值化处理后的图像, T 为二值化的阈值.

本文采用最大类间方差法 (Otsu),通过选择合适的阈值 T ,使得类间方差最大^[15],此时人体目标和背景的差别最大,二值化效果最好.

在形态学处理模块,将二值化处理后的图像做形态学的腐蚀运算及闭运算^[10].先进行腐蚀运算可以消除预处理时残留的背景噪声,即去除人体目标外的背景中灰度值为 255 的像素点.然后进行闭运算处理,目的在于填补人体目标上的微小空洞,抚平边缘过渡毛刺,平滑人体目标边缘.

形态学处理完成后得到清晰明显的人形图像,图像中人体目标已与背景完全分离,人体目标像素点的灰度值皆为 255,背景像素点灰度值全为 0.

2.2.2 人体图像身高判断

在进行面部定位前,为避免定位待选区域偏离,需计算图像中人体目标的高度,防止出现由于身高不同导致的纵向定位偏差.由于受检人在接受安检时会被要求按照图 3 所示姿势站立,本算法先从图像顶部横向蛇形遍历各像素点,分两种情况讨论:当受检人双手举起高于头顶时,最先遇到灰度值为 255 的点就会是手部,此时暂存该点坐标,继续遍历,遇到同一行中出现灰度值为 255 的点同样暂存该点坐标,求两个坐标中点,记求得中点横坐标为 x , $x \pm 10$ 作为人体身高最高点的待选横坐标,继续蛇形遍历,当遇到在待选横坐标范围内灰度值为 255 的像素点时,该点就作为人体的最高点 A. 当受检人双手未高于头顶时,蛇形遍历最先遇到灰度值为 255 的点就是头部,则可以直接作为人体的最高点 A. 如果头部与手部高度接近,可以近似认为手的高度作为人体目标的头部最高点 A. 然后从图像底部开始横向蛇形遍历像素点,当遇到第一个灰度值为 255 的像素点时停止遍历,以此点作为人体目标的最低点 B. 将 A、B 两点的纵坐标求差得到图像中人体目标的高度 L ,并根据 L 的大小判断使用对应的人体部位比例模型.

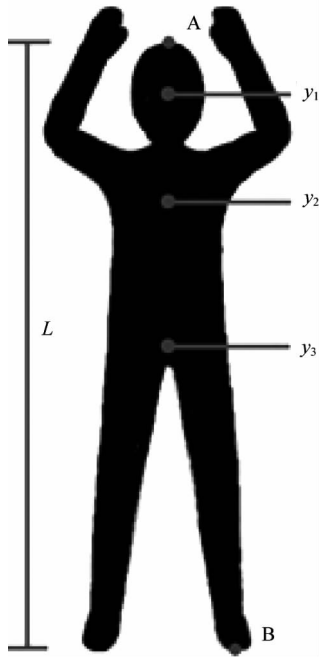


图 3 受检人标准站姿通用示意图
Fig. 3 General schematic diagram of the standard standing posture

车站实地采集的毫米波图像包含男女、高矮胖瘦各种体型,样本丰富,为构建人体部位比例模型,

从毫米波图像图库中随机选取 600 幅有清晰人体目标的图像作为模型构建图库,根据算法遍历定位 A、B 两点求得各个图像人体目标高度 L .

按 L 大小划分为 s 、 m 、 l 三类身高范围,分别计算面部、胸部、裆部中心点的纵坐标 y_1 、 y_2 、 y_3 ,如图 3 所示,按公式(4-6)分别求得 s 、 m 、 l 三类对应面部、胸部、裆部中心点纵坐标占人体目标总高度的比例 $P1$ 、 $P2$ 、 $P3$,作为后续定位的参考标准.

$$P1 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N \frac{y_{1i}}{L_i} \quad , \quad (4)$$

$$P2 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N \frac{y_{2i}}{L_i} \quad , \quad (5)$$

$$P3 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N \frac{y_{3i}}{L_i} \quad , \quad (6)$$

式中 N 为模型构建图库中 s 、 m 、 l 三类身高对应的图像数量.表示不同身高人体部位比例的 $P1$ 、 $P2$ 、 $P3$ 有三组,分别对应身高高度范围 s 、 m 、 l .

2.2.3 隐私部位初步定位

本文中所用毫米波图像大小为 360×190 像素点.根据人体图像身高判断模块求得的高度 L ,在二值化及形态学处理后图像的上半部分划定 100×100 像素点的面部待定区域框,图 4 中的大框 P, 40×40 像素点的面部锁定框,图 4 中的小框 S.以左上顶点作为面部锁定框的坐标基准点,在待定区域框内移动遍历,同时在遍历面部锁定框内每个像素点的值.

在毫米波人体图像中,人的面部成像较为清晰,一般显示亮度较高,因此在二值化与形态学处理后面部为集中的灰度值为 255 的像素点团.根据遍历累计每个面部锁定框中白色像素点个数,求出白色像素点个数最多的面部锁定框,该锁定框的坐标基准点即为所求面部的坐标基准点,图 4 为遍历待定区域后选定的面部锁定框位置.面部坐标将被记录用于其他位置的定位.

获得面部坐标后,根据人体高度 L 大小选择对应身高范围 s 、 m 、 l 的人体部位比例 P 相乘即可得到胸部的纵向坐标.将待定区域框 P 中心点相应下移至胸部纵坐标附近,并更改锁定框 S 尺寸,即可得到胸部初步定位的横坐标,此时获得的胸部横纵坐标均为初步定位.

对于下半身的隐私部位,结合面部定位与胸部定位的方法,同样先根据人体高度 L 大小选择对应高度范围的人体部位比例模型和像素点遍历确定初步定位点坐标.

需要说明的是,隐私部位初步定位部分已经基

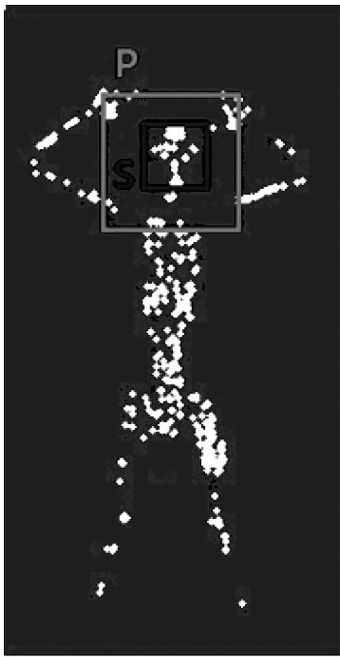


图4 面部定位示意图
Fig. 4 Facial location sketch map

本满足标准站姿下的定位,经过后续的定位复查校准则可以进一步确认,但对于非标准站姿则需要定位复查校准的多次调整才能保证定位的准确性。

2.2.4 定位复查校准

为保证各个部位定位的准确性,本算法提供一个定位复查校准模块作为定位准确性的验证.对于暂时确定的胸部位置,遍历图4中锁定框S左右两侧像素点,排查是否存在白色像素点,若存在,则扩大锁定框宽度,通过遍历像素点灰度值求S内白色像素点个数最多的锁定框坐标,调整胸部定位横坐标。

对于暂时框定的裆部位置,先遍历待定框P下方同一行内是否存在个数超过锁定框S边长的白色像素点,若存在,则将P框下移,并反复判断执行直到不存在.然后遍历锁定框S下方像素点,确认是否存在白色像素点,若存在,则将S框下移,并进行反复判断,直到不存在时停止下移.最终使S框所在位置的下方,同一行中黑色像素点个数与S框边长比值最大,若不是,则需左右调整S框,最终确定调整后的裆部坐标.各个隐私部位待定框和锁定框可以根据隐私部位实际情况调整大小。

定位复查校准的具体流程如图5所示。

2.3 模糊化处理

对隐私部位进行模糊处理可以在保护受检人隐

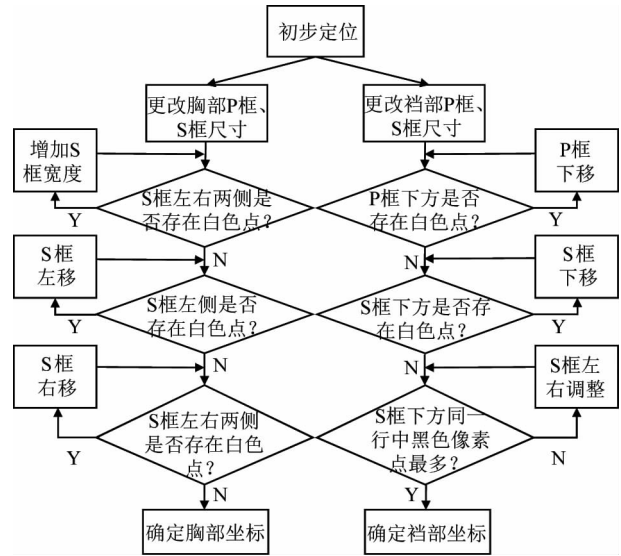


图5 定位复查校准模块流程图
Fig. 5 Flowchart of calibration module for positioning and checking

私的同时防止受检人藏匿于隐私部位的危险品漏检.从数字信号处理的角度,图像的局部模糊是指利用快速识别定位算法得到的隐私部位坐标对指定区域进行高频信号压制,并保留低频信号^[16].本算法采用快速均值滤波进行模糊化处理。

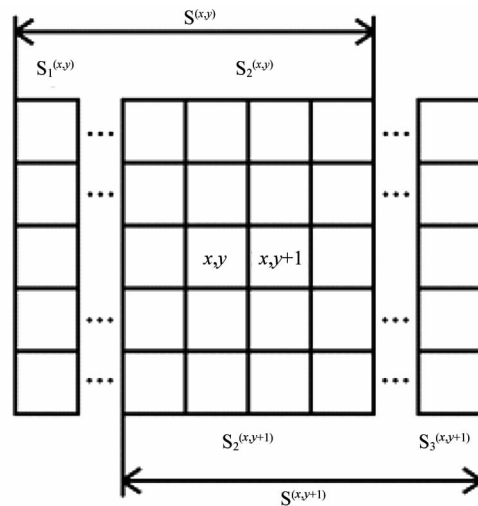


图6 点(x, y)与(x, y + 1)的滤波区域示意图
Fig. 6 Schematic diagram of point (x, y) and (x, y + 1)'s filter region

隐私部位区域原图为 $f(x, y)$, $x = 1, 2, 3 \dots M, y = 1, 2, 3 \dots N$, 区域包含像素点个数为 $M \times N$, $S^{(x, y)}$ 是以点 (x, y) 为中心的滤波区域,同理 $S^{(x, y+1)}$ 是以点 $(x, y+1)$ 为中心的待滤波区域, $g(x, y)$ 为滤波处理后的图像. $S^{(x, y)}$ 可以划分为 $S_1^{(x, y)}$ 和 $S_2^{(x, y)}$,

$S^{(x,y+1)}$ 可以划分为 $S_2^{(x,y+1)}$ 和 $S_3^{(x,y+1)}$, 如图 6 所示. $f(x,y)$ 滤波处理后的表达式为:

$$g(x,y) = \frac{1}{M \times N} \left[\sum_{(m,n) \in S_1^{(x,y)}} f(m,n) + \sum_{(m,n) \in S_2^{(x,y)}} f(m,n) \right] \quad (7)$$

$f(x,y+1)$ 滤波处理后的表达式为:

$$g(x,y+1) = \frac{1}{M \times N} \left[\sum_{(m,n) \in S_2^{(x,y+1)}} f(m,n) + \sum_{(m,n) \in S_3^{(x,y+1)}} f(m,n) \right] \quad (8)$$

由图 6 可知, $S_2^{(x,y)}$ 和 $S_2^{(x,y+1)}$ 为相同的区域, 故式(8)又可表示为:

$$g(x,y+1) = g(x,y) - \frac{1}{M \times N} \left[\sum_{(m,n) \in S_1^{(x,y)}} f(m,n) + \frac{1}{M \times N} \sum_{(m,n) \in S_3^{(x,y+1)}} f(m,n) \right] \quad (9)$$

式(9)即为快速均值滤波的数学表达式^[17].

在模糊化处理隐私部位时, 模糊区域大小可根据部位的不同进行调整, 模糊程度也可以由快速均值滤波的迭代次数控制, 迭代次数越多, 图像模糊程度越高, 可以根据不同需求进行选择.

一般情况下, 危险品大多为刀枪, 尺寸较大, 本文中隐私保护处理的区域范围不大, 当受检人身上携带刀枪时仍可在隐私保护处理后的图像上看到危险品未被遮挡的部分, 在携带金属等对毫米波具有高反射的物体时, 隐私保护处理后的图像依旧能看到物体的轮廓, 可以及时发现潜在危险.

对于危险品尺寸较小, 完全隐藏于隐私部位的情况, 可以有两种处理方法, 一种是在未经隐私保护算法处理的原图像上进行危险品自动识别, 先判断是否受检人携带可疑危险物品, 若无则照常进行隐私保护处理, 若有则记录危险品位置坐标, 在进行隐私保护处理的图像上标出可疑危险品的位置, 由安检检查人员做二次确认. 另一种是在进行隐私保护处理前先判断受检人的性别, 将各自性别的图像分别分配给男女安检督察人员, 督查人员看到的是未经隐私保护处理的图像, 而展现在屏幕上的则是经过隐私保护处理的图像. 上述方法可以在保护受检人隐私的同时防止受检人藏匿于隐私部位的危险品漏检.

3 实验结果与分析

毫米波图像经过预处理后, 已去除部分背景噪

声, 增强了灰度变换处的对比度, 即可进行二值化和形态学处理. 图 7(a)、(b) 分别为毫米波图像原图及预处理之后的图像. 图 7 中受检人大腿上的方形物体为口袋中的金属材质手机, 在毫米波图像中具有强反射性, 易于辨识.

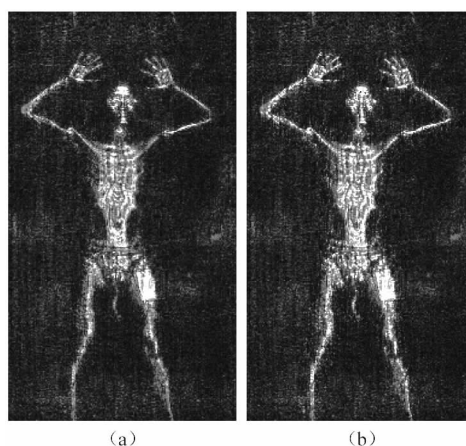


图 7 (a) 毫米波图像原图, (b) 经过预处理后的毫米波图像

Fig. 7 (a) The original millimeter wave image, (b) the millimeter wave image after preprocessing

图 8(a) 为经过二值化处理后的人体目标, 已经与背景完全区分, 但背景中仍存在个别噪声点. 在形态学处理的腐蚀运算之后, 背景中的噪声点就被去除, 然后利用闭运算填充人体目标, 效果如图 8(b) 所示.

按照身高图库构建的人体部位比例, 将身高 L

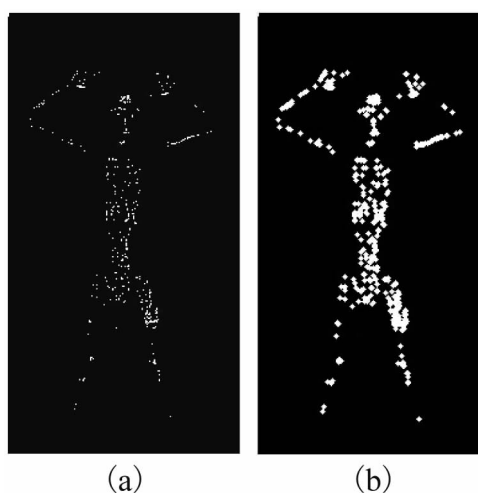


图 8 经过处理的毫米波图像 (a) 预处理及二值化后的人体图像, (b) 形态学处理后的图像

Fig. 8 Millimeter wave image after image processing (a) the body image after preprocessing and binarization, (b) image after morphological processing

乘以式(4-6)中对应比例 P_1 、 P_2 、 P_3 , 划定隐私部位相应的待选区域, 通过遍历累计像素点的方法确定面部基准点坐标, 以及胸部、裆部的初步定位坐标. 利用算法的定位复查校准模块, 对各个定位坐标进行确认或微调. 最后根据定位坐标将隐私部位模糊化.

为验证新方法对不同身高受检人隐私部位保护的有效性, 采集不同身高的人体毫米波数据, 受检人员以标准站姿接受安检, 得到相应的毫米波图像数据. 标准站姿即人体直立、不倾斜或弯折. 图 9(a) 身高较高的受检人毫米波原图像, 9(b) 为身高较矮的受检人毫米波原图像.

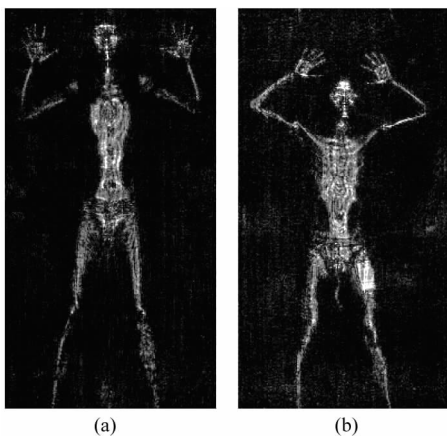


图 9 不同身高受检人的毫米波图像原图
Fig.9 Original millimeter-wave image for people of different heights

比较两图可发现, 身高不同, 面部定位区域在纵向上会有较大差别, 如果只采用统一化的定位待选区域, 可能使较高人体的面部定位偏离到人体胸部, 错误定位甚至无法定位较矮人体的面部. 因此算法中的人体图像身高判断是十分必要的, 可以防止算法在定位过程中出现纵向位置出现较大偏移.

一般情况下以标准站姿站立的不同身高的人体隐私保护效果如图 10 所示.

实际应用中, 受检人站姿不受约束的可能性很大, 当出现非标准站姿时, 常规方法中的中位线定位法将无法适用, 会出现未遮挡或错误遮挡的情况. 本算法由于包含定位复查校准模块, 可以对定位出现偏差的区域进行再调整, 图 11 为本算法对非标准站姿人体图像的最终处理效果.

本算法采用快速均值滤波算法对隐私部位进行模糊化处理, 借助 C 语言实现, 运行时间小于 0.1 s, 运行时间相当于利用 MATLAB 运行计算的常规算

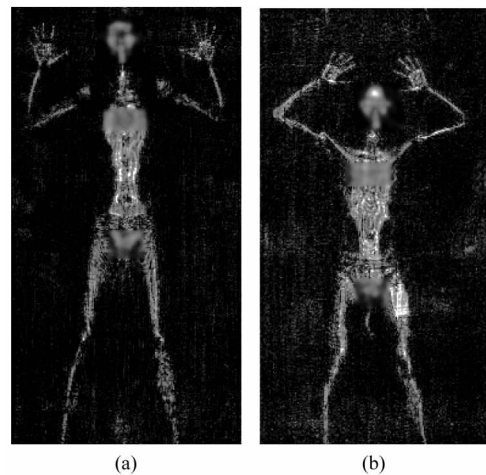


图 10 不同身高的人体隐私保护效果图
Fig. 10 Effect diagram of privacy protection for human body of different heights

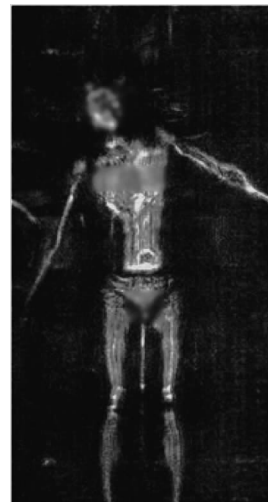


图 11 非标准站姿下人体隐私保护效果图
Fig. 11 Effect diagram of privacy protection for people under non-standard standing posture

法的十分之一.

4 结论

提出了一种能快速准确定位主动毫米波人体图像中隐私部位的算法. 通过图像预处理, 弱化了毫米波图像中的部分噪声, 增加了人体目标边缘细节; 采用人体图像二值化、形态学处理、人体图像身高判断, 面部初步定位、胸部和裆部定位、定位复查校准方法对隐私部位加以辨识, 可以对不同站姿, 不同高度的人员进行准确的隐私部位定位; 提出定位复查校准策略, 可对初步定位进行确认或调整, 进一步提升定位的准确性. 新方法与常规隐私部位定位方法

相比,不受受检人身高、站姿的影响,定位后的隐私部位模糊化区域大小可选,模糊程度可根据需求自定义,采用 C 语言实现,可移植性高,运行时间短,小于 0.1 s,已应用于人体安检系统产品,本算法的准确、快速、有效性得到验证。

References

- [1] WANG Hui, ZHAO Feng-Jun, DENG Yun-Kai. Development and application of the millimeter wave SAR[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (王辉, 赵凤军, 邓云凯. 毫米波合成孔径雷达的发展及其应用. *红外与毫米波学报*), 2015, **34**(4):452-459.
- [2] WANG Nan-Nan, QIU Jing-Hui, ZHANG Peng-Yu, et al. Passive millimeter wave focal plane array imaging technology [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (王楠楠, 邱景辉, 张鹏宇, 等. 被动毫米波焦面阵成像技术. *红外与毫米波学报*), 2011, **30**(5):419-424.
- [3] 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.
- [4] Appleby R, Anderton R N, Price S, et al. Whole-body 35-GHz security scanner[J]. *SPIE Proceedings*, 2004, **5410**:244-251.
- [5] SANG Wei, YUE Sheng-li. Application of millimeter wave imaging technology in the field of human safety inspection [J]. *China security & protection* (桑伟, 岳胜利. 毫米波成像技术在人体安全检查领域的应用. *中国安防*), 2013, **4**:83-87.
- [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[P]. 中国: CN102708560B, 2012.
- [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] FEI Peng, FANG Wei-Hai, WEN Xin, et al. State of art and future prospect of the millimeter wave imaging technique for personnel screening [J]. *Journal of Microwaves* (费鹏, 方维海, 温鑫, 等. 用于人员安检的主动毫米波成像技术现状与展望. *微波学报*), 2015, **31**(02):91-96.
- [9] 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[P]. 中国: CN102540264B. 2012.
- [10] Gonzalez R C, Woods R E. *Digital Image Processing* [M]. New York: Pearson Education, 2002. 374-378, 649-686.
- [11] Rakshit S, Ghosh A, Shankar B U. Fast mean filtering technique (FMFT). [J]. *Pattern Recognition*, 2007, **40**(3):890-897.
- [12] 韦峰. 毫米波辐射成像及图像处理技术研究[D]. 南京理工大学, 2014.
- [13] GUAN Zhi-Qiang, CHEN Qian, WANG Zhong-Lin, et al. An adaptive filter for infrared image edge enhancement based on fuzzy set[J]. *Acta Photonica Sinica* (管志强, 陈钱, 王忠林, 等. 基于模糊集的自适应红外图像边缘锐化算法. *光子学报*), 2008, **37**(06):1281-1284.
- [14] QIAN Wei-Xian, CHEN Qian, GU Guo-Hua, et al. Infrared image sharpening algorithm with noise inhibition[J]. *Acta Optica Sinica* (钱惟贤, 陈钱, 顾国华, 等. 一种具有噪声抑制功能的红外图像锐化算法. *光学学报*), 2009, **29**(07):1807-1811.
- [15] Ohtsu N. A threshold selection method from gray-level histograms[J]. *IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics*, 1979, **9**(1):62-66.
- [16] LI Xue-Wei, ZHANG Xin-Rong. On edge-preserved Gaussian smoothing filtering algorithm[J]. *Computer Applications and Software* (李雪威, 张新荣. 保持边缘的高斯平滑滤波算法研究. *计算机应用与软件*), 2010, **27**(01):83-84.
- [17] Pan J J, Tang Y Y, Pan B C. The algorithm of fast mean filtering[C]// International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition. 2007, **1**:244-248.

(上接第 504 页)

- [3] Takhar D, Laska J N, Wakin M B, et al. A New Compressive Imaging Camera Architecture Using Optical-Domain Compression [J]. *Computational Imaging IV at IS&T/SPIE Electronic Imaging*. 2006: 43-52.
- [4] Harwit M, Sloane-Neil J A. *Hadamard transform optics* [M]. New York: Academic Press, 1979: 1-104.
- [5] WANG Ya-Nan, QI Hong-Xing, Ma Yan-Peng, et al. Study of multi-channel imaging technology of shortwave infrared based on single element detector [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (王亚南, 齐洪兴, 马彦鹏, 等. 基于单元探测器的短波红外多通道成像技术研究. *红外与毫米波学报*), 2015, **27**(3):210-213.
- [6] Candès E, Romberg J, Tao T. Robust Uncertainty Principles: Exact Signal Reconstruction from Highly Incomplete Frequency Information [J]. *IEEE Trans. Inf. Theory*. 2006, **52**: 489-509.
- [7] Donoho D. Compressed sensing [J]. *IEEE Trans. Inf. Theory*, 2006, **52**:1289-1306.
- [8] Tropp J, Gilbert A. Signal recovery from random measure-

ments via orthogonal matching pursuit [J]. *IEEE Transactions on Information Theory*, 2007, **53**(12):4655.

- [9] Candès E. Compressive sampling [C]. *International Congress of Mathematics*, 2006:1433-1452.
- [10] Candès E, Wakin M. An introduction to compressive sampling [J]. *IEEE Signal Process Magazine*, 2008, **25**(2):21-30.
- [11] DMD 0.7XGA 12°DDR DMD discovery TM [R]. *America. Texas Instrument corporation*. 2005.
- [12] HU Guang-Shu. *Digital Signal Processing* [M]. *Tsinghua University Press*, (胡广书. *数字信号处理*. 北京:清华大学出版社), 2010.
- [13] ZHANG Xian-Da. *Matrix analysis and applications* [M]. *Tsinghua University Press*, (张贤达. *矩阵分析与应用*. 北京:清华大学出版社), 2014.
- [14] Wax M, Kailath T. Detection of signals by information theoretic criteria [J]. *IEEE Trans. On ASSP*, 1985, **33**(2):387-392.