

基于视觉显著性的毫米波隐匿物品检测算法*

张珂绅, 郭文风, 王鹤澎, 叶学义

(杭州电子科技大学 通信工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 针对毫米波图像中隐匿物品与人体灰度差异小、形状多变的问题, 提出了一种基于视觉显著性的隐匿物品检测算法。该算法在双边滤波后, 结合 OTSU 和形态学运算完成预处理以获得人体区域, 再根据频域显著性计算定位前景, 经背景抑制后生成显著图完成检测。实验数据表明, 所提算法与典型的主动式毫米波成像检测算法相比, 检出率分别提高 5.87% 和 9.08%, 有更好的检测性能。

关键词: 隐匿物品; 视觉显著性; 图像签名; 阈值分割

中图分类号: TN928; TP391.41

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.212492

中文引用格式: 张珂绅, 郭文风, 王鹤澎, 等. 基于视觉显著性的毫米波隐匿物品检测算法[J]. 电子技术应用, 2022, 48(11): 99-103, 109.

英文引用格式: Zhang Keshen, Guo Wenfeng, Wang Hepeng, et al. Millimeter wave hidden object detection algorithm based on visual saliency[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(11): 99-103, 109.

Millimeter wave hidden object detection algorithm based on visual saliency

Zhang Keshen, Guo Wenfeng, Wang Hepeng, Ye Xueyi

(School of Communication Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to solve the problem that the gray level difference between hidden objects and human body in millimeter wave image is small and the shape is changeable, a hidden object detection algorithm based on visual saliency is proposed. After bilateral filtering, combined with OTSU and morphological operation, the algorithm completes the pretreatment to obtain the human body region. And then the foreground is located based on the significance calculation in the frequency domain. After background suppression, the significance map is generated, so the detection is completed. Experimental results show that compared with the typical active millimeter wave imaging detection algorithm, the detection rate of the proposed algorithm increases by 5.87% and 9.08%, respectively, and the proposed algorithm has better detection performance.

Key words: hidden object; visual saliency; image signature; threshold segmentation

0 引言

近年来, 机场、车站等公共场所的安全问题日益得到重视, 对人体携带物品的安全检查必不可少。目前主流的安检手段如 X 射线探测虽然可以清晰成像, 但 X 射线易电离且具有放射性, 不适合于人体安检^[1]。毫米波辐射在电磁频谱中介于微波和红外线之间, 属于非电离辐射, 可以穿透人体衣物探测到隐匿物品, 且对人体无害, 有逐步取代传统安检手段的趋势^[2]。

随着前端成像技术的不断成熟, 后端毫米波图像的隐匿物品检测成了目前亟待解决的问题。目前毫米波成像系统输出的图像分辨率较差, 信噪比低, 对目标检测性能有负面影响, 容易造成误检和漏检^[3]。这些都给隐匿物品检测带来了巨大的挑战。

毫米波图像中隐匿物品的种类包含手枪、管制刀具等^[4], 基于对毫米波辐射的反射强度不同, 不同物品成像存在一定的灰度差异, 现有的研究通常基于这种差异采用图像分割的方式检测。DU 等人^[5]提出了一种灰度分离模型, 可以检测出隐匿物品灰度值高于或低于人体灰度值的情况, 但是检测效果受噪声等因素影响较大; Isiker 等人^[6]提出了一种基于多阈值 OTSU 的分割算法, 通过设置多级阈值区分目标和人体区域, 但如果隐匿物品与人体区域灰度差异较小则会导致阈值分割不准确; Wang 等人^[7]提出了一种基于分块的高斯混合模型方法(patch based MoG-LRMF), 通过对信息建模, 结合像素点的灰度和结构信息来检测隐匿物品, 在相对复杂的数据下表现良好, 但计算复杂度较高。

上述研究中均存在隐匿物品与人体区域灰度差异小、分割标记不准确的问题, 因此有必要针对毫米波图

* 基金项目: 国家自然科学基金(U19B2016, 60802047)

像的特性进行分析,研究出与之适应的目标检测算法。现有的目标检测算法中,显著性检测为提升毫米波图像的检测性能带来了契机。显著性检测可以模拟人类视觉优先关注前景特殊区域的特点,提取图像中的显著区域,生成与人类注视点有大量重合区域的显著图^[8]。目前已经在图像分割、目标检测等多个领域投入了使用^[9]。从毫米波图像的特点来看,毫米波图像检测与显著性检测有较高的契合点。

本文针对毫米波图像成像质量差、隐匿物品与人体灰度差异小、形状多变的问题,结合频域显著性及背景抑制的思路,提出了一种基于频域显著性的毫米波图像隐匿物品检测算法。首先对图像预处理,获取人体区域掩膜,使后续的处理范围仅限于人体区域;再根据频域变换定位前景,经背景抑制处理后生成能反映各区域重要程度的显著图;最后,通过连通域标记完成检测。

1 检测预处理

毫米波成像系统由于其工作频带高,受环境噪声影响较大,图像周围存在边缘模糊、伪影等现象,尤其两腿之间的伪影,影响了检测的准确性^[10],因此对图像作预处理,消除噪声和伪影。

预处理包含两个模块,第一个模块对图像降噪,消除背景噪声;第二个模块提取人体区域,缩小图像的处理范围,使得后续的前景-背景分离仅限于人体区域,避免其他区域的干扰。

1.1 降噪

图像灰度化处理后用双边滤波算法去噪。与传统滤波算法相比,双边滤波考虑了像素之间的相对空间位置,利用了图像的结构信息,这样有助于在消除噪声的同时保持图像的边缘效果。

1.2 人体区域提取

本文结合 OTSU 与形态学处理的方式提取人体区域。OTSU^[11]是一种用于图像分割的自动阈值选取算法,选取阈值并分割可以得到二值图像。经过 OTSU 阈值分割后再用形态学运算方法填充毛刺可以获取人体区域掩膜,将掩膜与原始图像相乘得到人体区域。

头部和手掌是暴露在衣物外的区域,是否有物品可以被肉眼清楚地观察到,不属于隐匿物品的范畴,因此对它们分割处理。分割的关键在于关键点坐标的计算,将图像水平投影,投影峰值即为手部坐标,谷值为脚步坐标,头部的坐标可以通过像素点在人体对称中心垂直方向下降得到。得到坐标后可以计算得到人体高度,再根据各部位占人体高度的比例确定头部和手部区域并设置掩膜完成预处理。

图1是预处理效果图,箭头指向隐匿物品,椭圆区域内是噪声和伪影;提取人体区域后图像中椭圆区域内的伪影被消除。

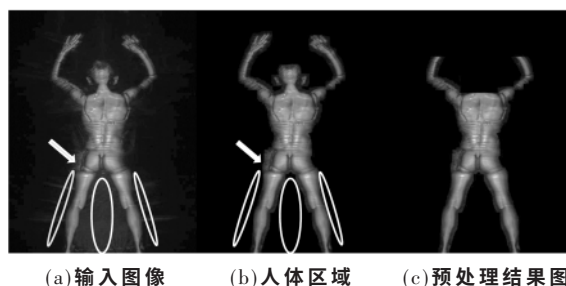


图1 预处理效果图

2 前景-背景分离

2.1 基于 DCT 的显著性前景分离

经过预处理后的毫米波图像中隐匿物品可视为前景,其余人体区域可视为背景。因此在空域中可以使用线性模型描述图像,即假设图像可以分解为前景信号和背景信号。

$$x=f+b \quad (1)$$

其中, x 代表输入图像; f 代表前景,认为是隐匿物品信息; b 代表背景,认为是人体区域信息。如何借助显著性思想准确分离出前景 f 的图像信息是目前面临的挑战。在空域直接分离前景是十分困难的,且无法最大限度地利用已知数据,会带来一定的信息损耗。信号的稀疏编码解决了这一问题,稀疏编码的目的在于用尽可能少的原子来表示信号,从而更容易地获取信号中的主要信息。一般而言,图像在空域是不稀疏的,但经过稀疏变换后变换系数大多接近于零或等于零,即在频域下是稀疏的。离散余弦变换具有能量集中的能力,有利于集中前景能量并区分于背景。于是将离散余弦变换作为稀疏分析模型,将图像变换到频域处理。

$$\hat{x}=\text{DCT}(x)=\hat{f}+\hat{b} \quad (2)$$

式中, $\hat{x}$ 、 $\hat{f}$ 和 $\hat{b}$ 分别为 x 、 f 和 b 在离散余弦变换后的图像。如何在频域中对 $\hat{x}$ 处理并分离出前景图像信息 f 是显著性检测的关键。

通常在频域中 $\hat{x}$ 低频部分的数值明显高于高频部分,这是由于低频部分表征灰度变换缓慢的大部分图像内容,而高频部分表征灰度变换较快的细节部分,这些部分通常为前景目标。

因此借助频域显著性理论,对 $\hat{x}$ 计算符号矩阵得到图像描述符。将这种整体的图像描述符称之为图像签名。

$$\text{ImageSignature}(x)=\text{sign}(\hat{x}) \quad (3)$$

其中,符号函数表达式为:

$$\text{sign}(\hat{x})=\begin{cases} 1 & \hat{x} \geq 0 \\ -1 & \hat{x} < 0 \end{cases} \quad (4)$$

计算图像签名相当于丢弃了频谱中的幅度信息,将矩阵值置为1,即压缩了数值高的低频部分,放大了数值低的高频部分,前景信息得到增强。

在信号稀疏表示的基础上,稀疏重构可以快速恢复图像信息得到前景检测图。频域中的信号反变换回空间域得到的图像称作重构图像。记图像签名的重构图像为 $\bar{x}$,前景重构图像为 $\bar{f}$,背景重构图像为 $\bar{b}$ 。

$$\bar{x} = \text{IDCT}(\text{ImageSignature}(x)) \quad (5)$$

接下来判断 $\bar{x}$ 是否包含了更多的前景信息 f 。

Candes 等人^[12]提出的均匀不确定性原理(Uniform Uncertainty Principle, UUP)指出当背景足够稀疏时有:

$$E\left(\frac{\langle \bar{f}, \bar{x} \rangle}{\|\bar{f}\| \cdot \|\bar{x}\|}\right) \geq 0.5 \quad (6)$$

其中, $E(\cdot)$ 代表期望, $\langle \cdot \rangle$ 代表内积, $\|\cdot\|$ 表示范数。上式揭示了 $\bar{f}$ 和 $\bar{x}$ 关系,它们之间的相关性超过了 0.5,这表明 $\bar{x}$ 可以近似表示 $\bar{f}$ 。

Hou^[13]指出前景图像信息 f 与 $\bar{f}$ 又存在如下关系:

$$E\left(\frac{\langle f, \bar{f} \rangle}{\|f\| \cdot \|\bar{f}\|}\right) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \approx 0.79 \quad (7)$$

前景图像 f 和 $\bar{f}$ 建立了对应关系,两者之间的信息重合度约为 79%,这表明可以由 $\bar{f}$ 近似表示 f 。

通过式(6)和式(7)可以得出结论,在满足稀疏背景条件时,可以用图像签名重构图像 $\bar{x}$ 近似表示前景图像 f 。

$\bar{x}$ 包含了更多的前景信息,因此可以用 $\bar{x}$ 来构建显著图。对 $\bar{x}$ 计算 Hadamard 乘积得到平方重构图像 I 。

$$I = \bar{x} \circ \bar{x} \quad (8)$$

其中, $\circ$ 代表的是 Hadamard 乘积。

前景-背景分离模型如图 2 所示。

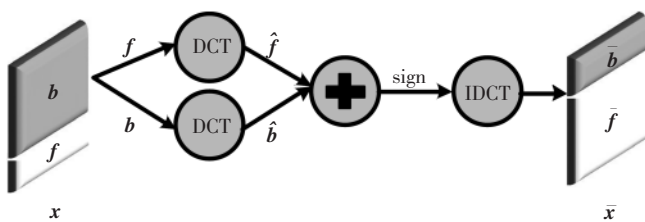


图 2 前景-背景分离模型

2.2 基于欧式距离的背景抑制

对于平方重构图像 I ,前景像素虽已突出,但鉴于毫米波图像中隐匿物品与人体灰度差异小,平方重构图像同时具有前景背景之间区分度较弱,后续检测不准确的问题。为了增大图像对比度,对图像做背景抑制处理。首先计算反映图像均值特性的全局平均像素值 I_{mean} 。

$$I_{\text{mean}} = \text{mean}(I(i, j)) \quad (9)$$

其中, $I(i, j)$ 是原显著图中每个像素点的灰度值。欧式距离是图像在二维空间中两个像素点间的真实距离,也可以看作是两信号间的相似度,距离越近则越相似。如

果将前景、背景看作是两组相似性像素分组,可以将欧式距离作为度量参数,计算实际像素值与全局平均像素值之间的欧式距离,相似性像素组之间的差异增大,灰度差异更明显,可以作为显著值。

$$S(i, j) = (I_{\text{mean}} - I(i, j))^2 \quad (10)$$

最终得到显著图:

$$S = g \cdot S(i, j) \quad (11)$$

其中, g 是高斯核,用来高斯平滑,可以消除一些纹理细节和噪声,使隐匿物品提取更完整。

3 目标检测

显著图已明确突出隐匿物品,因此对显著图阈值分割得到二值图像,再利用连通域检测算法标记隐匿物品。

3.1 阈值分割

对显著图 S 设置阈值 $\lambda=0.5$ 划分为二值图像,然后用形态学方法解决前景像素不连续的问题,最后设置面积阈值去噪,将面积小于阈值的连通区域去除,得到最终的二值图像。

3.2 检测标记

位置相邻且像素值相同的前景像素点组成的图像区域称作连通域。标记二值图像中的连通域即可实现隐匿物品标记。

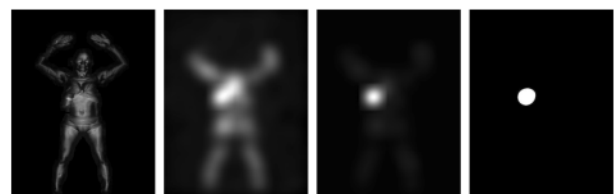
4 实验结果与分析

4.1 数据来源

实验中的毫米波图像由新一代高清晰成像系统(High Definition-Advance Imaging Technology, HD-AIT)^[14]生成,本实验搜集了人体正面以及人体背面两个视图且携带有人眼可辨隐匿物品的 200 张图像,图像大小为 660×512×3,对图像进行检测实验。

4.2 实验结果

在比较最终的检测结果之前,对图像进行前景-背景分离实验,图 3 是毫米波图像隐匿物品定位流程。



(a)输入图像 (b)前景-背景分离模型图 (c)显著图 (d)二值图像

图 3 前景-背景分离流程

前景-背景分离模型图虽标识了隐匿物品所在位置,但人体背景冗余像素过多,干扰了后续物品的定位,经背景抑制处理后背景冗余部分受到抑制。

图 4 展示了图 3 对应的灰度分布图。随着前景-背景分离流程的进行,图像灰度分布的杂乱程度逐渐降低,前景背景之间区分度加强,最后均匀突出前景目标。

图 5 是人体正面及背面部分毫米波图像的最终检

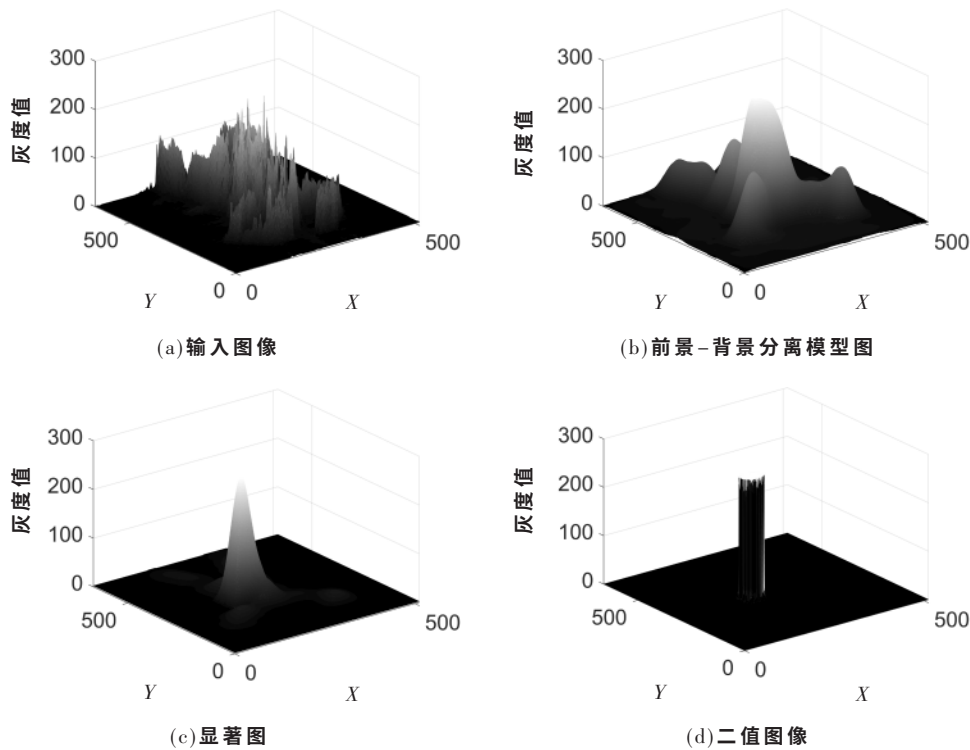


图 4 灰度分布图

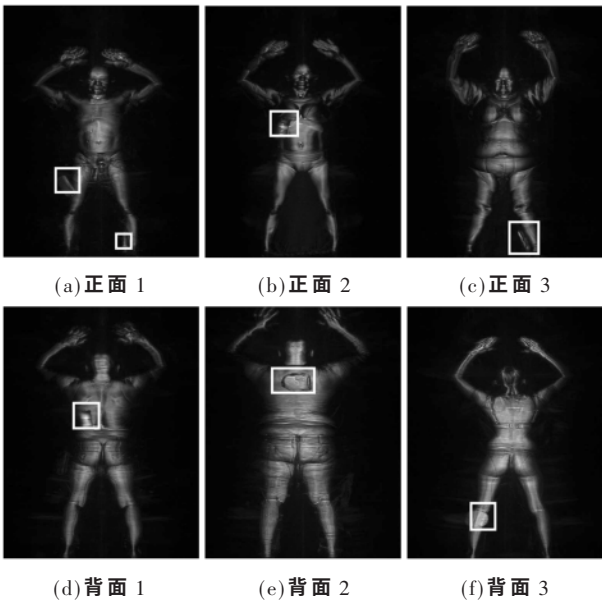


图 5 检测结果

测结果，图中物品的种类和放置位置有所不同，但均能准确定位。

为了进一步评估算法的性能，考察目标检测评价指标——检出率 R_T (正确检测结果占目标总数的比重)、误报率 R_F (错误检测结果占所有检测结果的比重)。假设放置隐匿物品的总数是 M ，检测到的目标总数为 N ，包括正确检测到的目标数目 N_1 以及错误检测到的目标数目 N_2 。计算公式为：

$$\left\{ \begin{aligned} R_T &= \frac{N_1}{M} \times 100\% \\ R_F &= \frac{N_2}{N} \times 100\% \end{aligned} \right. \quad (12)$$

表 1 中的数据表明，隐匿物品在人体正面和背面的检出率基本相同，但人体正面的误报率要高于人体背面，原因在于人体正面膝盖或隐私部位等处结构复杂，会被误判为隐匿物品，干扰了正常的检测，在后续的识别过程中将解决这一问题。

表 1 分区域检测结果		
区域	$R_T/\%$	$R_F/\%$
人体正面	89.1	12
人体背面	90.4	4.1

文献[4]和文献[5]中使用的图像与本文图像类型相同，相似度较高，于是与本文算法进行对比分析。如表 2 所示，本文方法的综合检出率为 90%，误报率为 6.5%，检测效果显著。

表 2 检测对比结果		
区域	$R_T/\%$	$R_F/\%$
文献[4]	84.13	6.61
文献[5]	80.92	11.78
本文	90	6.5

由此可以得出结论，本文提出的基于视觉显著性的毫米波隐匿物品检测算法是可行的。

5 结论

现有的毫米波检测算法受图像中隐匿物品与人体之间的灰度差异影响较大,检测效果不够明显。因此,本文根据毫米波图像的特点,结合频域显著性及背景抑制的思路检测,相比于传统的检测算法有着更好的检测性能。然而在处理结构复杂的人体区域时会将人体结构误检为隐匿物品,后续的工作将会从这一角度出发,结合人体各部位结构特点排除误检,提高检测性能。

参考文献

- [1] HARAZ O M, ASHRAF M A, SEBAK A R, et al. Detection of metallic and nonmetallic concealed targets based on millimeter-wave inverse scattering approach[J]. International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, 2020, 30(9): e22290.
- [2] 师君, 阙钰佳, 周泽南, 等. 近场毫米波三维成像与异物检测方法[J]. 雷达学报, 2019, 8(5): 578-588.
- [3] 王崇剑, 孙晓玮, 杨克虎. 一种用于主动式毫米波图像的

(上接第 98 页)

达下一个节点之间的链路是唯一的,由通信流起始和终止节点决定,因此从端系统出发的线段都标记为浅灰色,不做区分。虚线框区域是由交换机组成的主干网络,所有通信流都必须经过这里到达其他节点,这里是负载均衡的核心区域。图中灰色线段的深浅表示了这条链路的负载情况。

可以看出,头脑风暴算法在经过迭代后,此区域的负载已经趋近于均衡,链路上所经过的负载大部分都分布在 590~690 之间。而遗传算法,负载分布在 540~780 之间,较头脑风暴优化算法的结果稍差。

4 结论

虽然 TTE 网络目前在国外的研究已经处于非常成熟的阶段,但是目前国内还处于研究起步阶段,特别是针对 TTE 网络的链路规划还鲜少有研究成果的发表。本文提出将头脑风暴优化算法应用于 TTE 网络的链路调度规划,克服了手工配置的缺点,利用算法本身的自适应性,自动地对于拓扑环境下的 TTE 消息进行了路径规划,提升了 TTE 网络传输的效率,也增强了 TTE 网络的实时性和可靠性。

参考文献

- [1] LONG H, SHEN Y, GUO M, et al. LABERIO: dynamic load-balanced routing in OpenFlow-enabled networks[C]//2013 IEEE 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications(AINA). Piscataway: IEEE, 2018: 290-297.
- [2] LIU B, CHEN M, XU B, et al. An OpenFlow-based performance-oriented multipath forwarding scheme in datacenters[J]. Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering,

低复杂度隐匿物品检测方法(英文)[J]. 红外与毫米波学报, 2019, 38(1): 32-38.

- [4] 杜琨, 王威, 年丰, 等. 主动毫米波图像的人体携带危险物检测研究[J]. 系统工程与电子技术, 2016, 38(6): 1462-1469.
- [5] DU K, ZHANG L, CHEN W, et al. Concealed objects detection based on FWT in active millimeter-wave images[C]//Seventh International Conference on Electronics and Information Engineering. SPIE, 2017, 10322: 386-391.
- [6] İŞİKER H, ÖZDEMİR C. A multi-thresholding method based on Otsu's algorithm for the detection of concealed threats in passive millimeter-wave images[J]. Frequenz, 2019, 73(5-6): 179-187.
- [7] WANG X, GOU S, WANG X, et al. Patch-based Gaussian mixture model for concealed object detection in millimeter-wave images[C]//TENCON 2018-2018 IEEE Region 10 Con-

(下转第 109 页)

2019, 17(7): 647-660.

- [3] 吴宇文. 基于 OpenFlow 的网络负载均衡算法的研究与设计[D]. 上海: 华东师范大学, 2017.
- [4] LI Y, PAN D. OpenFlow based load balancing for FatTree networks with multipath support[C]//12th IEEE International Conference on Communications (ICC'3). Piscataway: IEEE, 2013: 1-5.
- [5] HERTIANASN, KURNIAWAN. A joint approach to multipath routing and rate adaptation for congestion control in OpenFlow software defined network[C]//2015 1st International Conference on Wireless and Telematics(ICWT). Piscataway: IEEE, 2015: 1-6.
- [6] 刘美辰. 多跳时间触发以太网调度优化机制与算法的研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2019.
- [7] 刘红, 白栋, 丁炜. 应用于 MPLS 网络负载均衡的启发式自适应遗传算法研究[J]. 通信学报, 2017(10): 39-45.
- [8] 叶帆, 陈银超, 王涛, 等. 基于负载均衡的大规模 TTE 消息调度表生成方法[J]. 四川大学学报(自然科学版), 2022, 59(4): 6-14.
- [9] 王红春. 面向 DIMA 应用的时间触发以太网性能优化与评估技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2019.

(收稿日期: 2022-03-12)

作者简介:

郑小鹏(1984-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 飞行器总体设计。

张涛(1976-), 通信作者, 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 综合电子软件架构技术, E-mail: tao_zhang@nwpu.edu.cn。

王小辉(1981-), 男, 硕士, 研究员, 主要研究方向: 飞行器总体设计、综合电子总体集成设计。



扫码下载电子文档

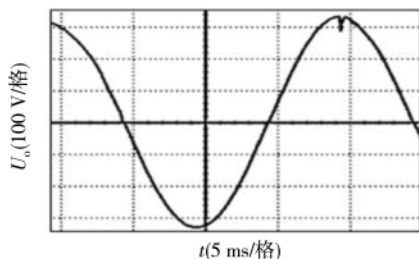


图 11 突加阻性满负载时的输出电压波形图

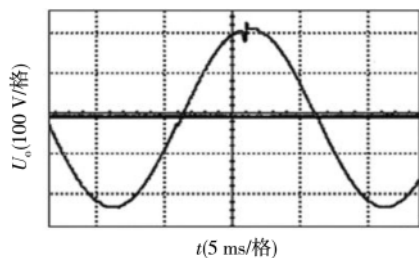


图 12 突卸阻性满负载时的输出电压波形图

系统的数学模型,修正数字 PID 控制器参数,使系统具有更好的稳态特性以及动态响应性能。通过仿真分析和实验验证,得出以下结论:在考虑数字控制延时情况下,采用基于数字 PID 的单相 UPS 逆变控制系统的输出电压谐波失真更小,稳态精度更高,对负载的适应性更强;当负载端发生变化时,同时具有快速恢复波形畸变的能力,动态响应时间更短,具有较好的抗干扰性能。

参考文献

- [1] 曾伟.电力自动化系统中 UPS 电源技术的应用分析[J].中国设备工程,2019(16):169-170.
- [2] 李金博.UPS 电源的选配与应用研究[J].科学与信息化,2021(21):77-78.
- [3] SENTHIL KUMAR R, NITHYA BHAMA S, JEROME J. Modeling and simulation of Z-source inverter for UPS app-

(上接第 103 页)

- ference, Jeju, Korea(South), 2018: 2522-2527.
- [8] 袁野,和晓歌,朱定坤.视觉图像显著性检测综述[J].计算机科学,2020,47(7):84-91.
- [9] 张文康,朱倩,陈潇君.拟人视觉系统的显著性检测方法[J].电子技术应用,2016,42(11):122-125.
- [10] XIN L, LI Y, SHANG S, et al. A template matching background filtering method for millimeter wave human security image[C]//2019 6th Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (APSAR), 2019: 1-6.
- [11] OTSU N. A threshold selection method from gray-level histogram[J]. IEEE Transactions on System Man Cybernetics, 1979, 9(1): 62-66.
- [12] CANDLES E J, TAO T. Near-optimal signal recovery from random projections: universal encoding strategies? [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2006, 52(12): 5406-

lication[J]. Mediterranean Journal of Electrical Power Management and Distribution, 2011, 7(1): 22-26.

- [4] 傅敏,嵇保健,黄胜明.低输入纹波光伏微型逆变器的研究[J].电子技术应用,2017,43(5):143-146.
- [5] 杨继超.UPS 逆变器控制技术的发展[J].自动化应用,2016(6):37-38.
- [6] 赵亮.单相 UPS 逆变系统控制技术研究[D].绵阳:西南科技大学,2016.
- [7] 吴志强,于莲芝,孔梦君.基于数字 PID 切换控制的 Buck 变换器研究[J].电子技术应用,2019,45(1):109-113.
- [8] BUKHARI S S H, RO J S. A single-phase line-interactive UPS system for transformer-coupled loading conditions[J]. IEEE Access, 2020, 8: 23143-23153.
- [9] 朱振远,曹以龙,江友华,等.不平衡工况下三相四桥臂逆变器的控制策略[J].电子技术应用,2019,45(2):117-119,123.
- [10] 蔡昆,李耀华,胜晓松,等.高性能单相电压源逆变器的输出控制[J].电工技术学报,2015,20(1):104-107.
- [11] PARVEZ M, ELIAS M F M, ABD R N, et al. Comparative study of discrete PI and PR controls for single-phase UPS inverter[J]. IEEE Access, 2020, 8: 45584-45595.
- [12] 唐诗颖,彭力,康勇.脉宽调制逆变电源数字双环控制技术[J].中国电机工程学报,2009,29(15):55-60.
- [13] 刘春喜,孙驰,高姬.SPWM 方法对系统延时的影响[J].电力系统自动化设备,2013,33(6):75-80.

(收稿日期:2021-12-20)

作者简介:

饶刚(1974-),男,硕士生导师,副教授,主要研究方向:机电产品研发。

王国锐(1996-),通信作者,男,硕士研究生,主要研究方向:逆变电源控制,E-mail:1043966540@qq.com。



扫码下载电子文档

5425.

- [13] HOU X, HAREL J, KOCH C. Image signature: highlighting sparse salient regions [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2012, 34(1): 194-201.
- [14] Kaggle. Passenger screening algorithm challenge [EB/OL]. (2017-12-15) [2021-12-03]. https://www.kaggle.com/c/passenger-screening-algorithm-challenge.

(收稿日期:2021-12-23)

作者简介:

张珂绅(1996-),男,硕士研究生,主要研究方向:毫米波检测。

郭文凤(1997-),女,硕士研究生,主要研究方向:信息隐藏。

叶学义(1973-),男,博士,副教授,主要研究方向:图像处理、模式识别、信息隐藏。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所