

# 基于机载 SAR 图像的海面船只实时检测分类应用架构

缪炜星<sup>1</sup>, 王小龙<sup>2</sup>, 李志勇<sup>2</sup>, 杨松<sup>2</sup>, 张欣<sup>2</sup>, 季昕宁<sup>2</sup>

(1.中航(成都)无人机系统股份有限公司,四川 成都 611730;2.中国科学院 空天信息创新研究院,北京 100190)

**摘要:**合成孔径雷达(SAR)被广泛应用于军事侦察、海洋监测、灾害应急评估等各类应用中。其中,SAR海面船只检测分类是SAR海洋应用的重要一环。限于SAR特殊的成像机理,SAR图像中的目标特征多变,导致基于SAR图像的目标分类应用进展缓慢。机载SAR因其实时、便捷的部署和使用方式得到了快速发展,基于机载SAR图像的海面船只检测分类,特别是实时检测分类应用近年来需求强烈。为此,针对SAR海面船只实时检测分类应用问题,探讨和构建了一种基于机载SAR图像的海面船只实时检测分类系统构架,论述了系统构架在工程应用中的关键流程、方法并进行了初步试验验证,结合当前人工智能技术的发展趋势,对其日后的发展趋势进行了展望。

**关键词:**机载;合成孔径雷达;实时;船只检测;船只分类

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.211921

中文引用格式: 缪炜星,王小龙,李志勇,等.基于机载SAR图像的海面船只实时检测分类应用架构[J].电子技术应用,2022,48(3):113-117.

英文引用格式: Miao Weixing, Wang Xiaolong, Li Zhiyong, et al. Real-time ship detection and classification application framework based on airborne SAR image[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(3): 113-117.

## Real-time ship detection and classification application framework based on airborne SAR image

Miao Weixing<sup>1</sup>, Wang Xiaolong<sup>2</sup>, Li Zhiyong<sup>2</sup>, Yang Song<sup>2</sup>, Zhang Xin<sup>2</sup>, Ji Xinning<sup>2</sup>

(1. Gascoigne Company Limited, Aviation Industry Corporation of China, Chengdu 611730, China;

2. Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

**Abstract:** Synthetic aperture radar(SAR) is widely used in military-reconnaissance, ocean monitoring, disaster emergency assessment and other applications. Among them, ship detection and classification is an important ocean application. Due to the special imaging mechanism, the target features in SAR images are always changeable, which leads to the slow progress of target classification based on SAR images. In recent years, airborne SAR system has developed rapidly due to its real-time and convenience in deployment, and there is a strong demand for ship detection and classification based on airborne SAR images, especially for real-time detection and classification application. Focusing on this issue, a real-time application framework for ship detection and classification based on airborne SAR images is discussed and constructed, and the key processes and methods in engineering application are illustrated. In addition, its development trend combined with the artificial intelligence technology is also prospected.

**Key words:** airborne; synthetic aperture radar(SAR); real-time; ship detection; ship classification

### 0 引言

合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)作为一种主动式微波遥感载荷系统,具有很强的工作环境适应能力,可以在烟尘、云雾、阴雨以及夜间等复杂气象条件下执行观察任务。其中,机载SAR系统因其使用机动灵活、分辨率高、实时性强等特点,被广泛应用于军事侦察、海洋监测、灾害应急评估等各类应用<sup>[1-3]</sup>,表现出极大的应用价值和潜力。

海面船只监视是世界沿海各国的传统任务,主要涉及船只搜救、非法捕捞和倾倒的监视、军船活动监测等。

传统的监测手段投入大、覆盖范围小,很难满足日益加剧的海洋生产、运输和军事活动的监测需求。因此,基于遥感的海面船只监测手段成为各国研究和发展的重点。其中,SAR遥感技术因其抗云雨和昼夜工作的能力受到广泛关注,特别是基于SAR图像的船只目标检测、分类在SAR海洋应用中备受关注,而针对实时应用的海面船只检测、分类最具应用价值<sup>[4-5]</sup>。针对该应用需求,近二三十年来,国内外不同研究机构开展了大量研究、推进工作,特别是随着深度学习人工智能技术的兴起,基于深度学习方法的SAR舰只目标分类问题日益受到国

内外广泛关注<sup>[6-10]</sup>。为了支撑方法研究,近年来人们先后构建和公布了多个 SAR 船只样本数据集,包括:SSDD、Air-SAR-Ship、OpenSARShip 等,极大地推动了应用研究工作的开展。但是,截至目前,实用性的 SAR 船只实时检测识别系统仍停留在目标检测阶段。究其原因,大致如下:(1)现有数据集均为星载 SAR 数据集,缺乏高质量、高分辨率的 SAR 目标数据集,很难支撑分类应用需求;(2)SAR 目标特征随系统入射角、方位角、分辨率、信噪比及参数差异等变化较大,小样本量的目标图像很难支撑实际的分类应用;(3)对于实时应用的机载 SAR 系统,星载 SAR 目标样本缺乏系统普适性。

为此,本文针对 SAR 海面船只目标实时分类应用中面临的上述问题,从实际的工程应用出发,从系统方案设计入手,探讨了基于 SAR 图像的海面船只实时分类的构建方案与实现方法。

### 1 研究对象

实际的 SAR 海面船只实时监测应用中,人们往往关注于尺度较大的高价值船只目标,特别是军事船只目标。但是,限于军事船只 SAR 目标图像的稀缺性和敏感性,本文从同尺度级别的船只目标中选取了 SAR 海域图像中常见的集装箱船、散货船和油槽船这三类民用船只进行类比研究。图 1 给出了这 3 类船只的光学照片及其对应 SAR 影像。

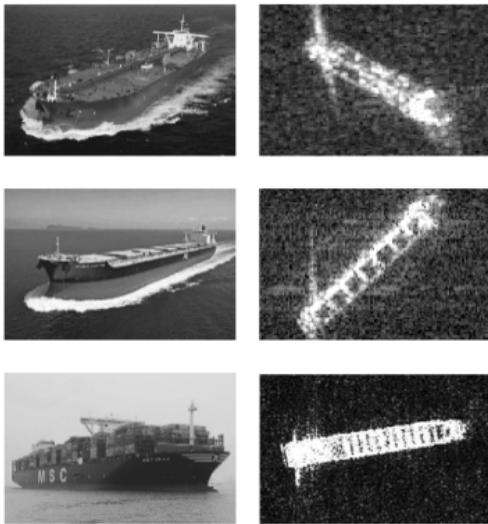


图 1 3 类民用船只及其对应 SAR 图像

由图 1 可以看出,上述 3 类典型的民用船只在高分辨率的 SAR 图像上,其电磁散射特征存在较大差异,具体表现为:油槽船在其甲板中轴线上存在着一条纵向亮线;集装箱船和散货船则呈现横向的间隔亮线,其中,集装箱船的横向亮线较散货船更多、更密集。因此,如果设计和选取合适的目标特征参数及分类方法,并对其进行快速的特征提取和目标分类,可以实现 SAR 海面船只的实时分类应用。

### 2 应用架构及方法

针对 SAR 目标分类问题,从 20 世纪 90 年代以来,特别是美国 MSTAR 数据库公布以来,国内外的相关研究工作一直持续不断。在深度学习方法出现之前,一度以传统的特征提取和分类方法为主,并涌现出诸多具有代表性的 SAR 目标特征;在深度学习方法出现以后,基于目标样本集的自学习分类方法成为研究热点,但限于 SAR 系统特有成像机理所导致的目标特征多变以及 SAR 目标样本的稀缺等因素,基于 SAR 图像的目标分类在工程应用领域一直未能获得实用性的突破。

海面船只由于所处背景相对单一,是 SAR 目标分类问题中最有可能实现工程应用的高价值目标。目前,针对海面船只的分类研究多集中在利用星载 SAR 数据进行算法验证<sup>[11-14]</sup>,而针对实际海洋监测应用中普遍关注的海面船只实时检测分类问题,由于涉及飞机平台系统、雷达系统、测控系统、地面系统等多系统的协调合作和综合应用,导致其数据获取困难,相关研究的开展较少。基于此,本文从实际工程应用角度出发,探讨和构建了一个基于机载 SAR 图像的海面船只实时检测分类应用框架。

鉴于机载 SAR 船只目标样本的稀缺性,就现阶段而言,深度学习方法在该领域的工程应用仍存在数据难以支撑等问题,为此,本文将实际的工程实践为出发点,构建基于传统目标检测、目标范围界定和特征分类的机载 SAR 海面船只实时检测分类应用框架,如图 2 所示。

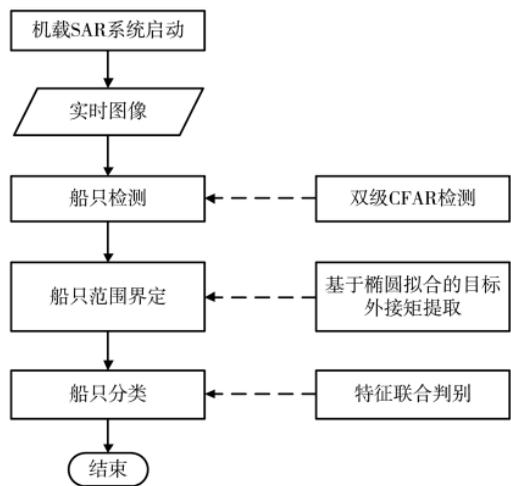


图 2 基于机载 SAR 图像的海面船只实时检测分类应用构架

#### 2.1 数学量与符号使用规范

对于高分辨率的 SAR 图像目标检测应用,计算速度是决定算法是否实用的一个重要指标。在现有众多的检测算法中,经典的 CFAR 方法以其算法简单、运算速度快、检测性能好等特点,在国内外各类系统中得到了广泛的应用<sup>[15]</sup>。

针对不同的应用需求,CFAR 算法具有多种改型,其中,运算效率较高的应属全局 CFAR 算法。该算法采用

全局阈值对整个场景的 SAR 图像进行检测处理, 主要针对场景相对较小、背景相对简单的 SAR 图像检测应用。由于机载 SAR 图像场景相对较小, 因此, 采用全局 CFAR 算法既可兼顾检测速度, 又可以保证检测性能, 能够较好地满足海面船只实时检测应用需求。式(1)给出了经典 CFAR 算法:

$$1 - P_{fa} = \int_0^{T_{CFAR}} P(x) dx \quad (1)$$

式中,  $P(x)$  为 SAR 图像的统计分布函数,  $P_{fa}$  是给定的虚警率, 对于图像中的每一个像素  $i$ , 检测器判定为目标像素的条件为:

$$\begin{cases} \text{像素 } i \text{ 为目标像素} & \text{如果 } x_i \geq T_{CFAR} \\ \text{像素 } i \text{ 为背景像素} & \text{如果 } x_i < T_{CFAR} \end{cases} \quad (2)$$

对于一般海况下的 SAR 图像, CFAR 算法已被证明具有较为可靠的目标检测性能, 可以检测出绝大多数的船只目标。但是, 在实际应用中, 由于海杂波及非船只目标的影响, 检测结果中往往包含较多虚警; 此外, 对于异质背景 SAR 图像, 即使在同一幅图像中, 由于图像局部区域信噪比的差异, 不同区域的检测效果也差异较大。为此, 本框架采用由粗至精双级 CFAR 处理方法以便自动获取更佳的检测结果, 进而更好地支撑后续目标特征提取和分类处理, 具体步骤如下:

(1) 采用较高的虚警率(如:  $P_{fa}=0.1$ )对降采样图像进行快速目标粗检测, 尽可能减少目标漏检;

(2) 针对检出目标, 进行基于尺度和背景的滤波处理, 剔除尺度和背景明显不符合船只目标的虚警;

(3) 针对保留目标, 根据目标与其背景的信噪比进行基于虚警率自动选择的目标精细检测, 以便更准确地提取目标区域。

需要说明的是, 在上述步骤中, 目标尺度滤波参数可采用大型船只通常的尺度范围: 长度 50~300 m, 宽度 10~60 m; 基于背景的滤波参数可通过检出目标与周围 8 邻域的亮度均值比进行设置, 比值阈设置建议大于 2, 本构架采用经验值 3 作为目标保留阈值。此外, 为了解决目标粗检阶段因虚警率较低导致的检出目标区域不够准确的问题, 在目标精细检测阶段, 通过逐个计算目标与其背景的信噪比, 并根据目标信噪比自动分挡选取设定的精细检测的虚警率, 进而实现基于目标信噪比的虚警率自动选择精细检测。对于高信噪比目标采用较低的虚警率, 如:  $P_{fa}=0.001$ ; 而对于低信噪比目标则采用稍高的虚警率, 如:  $P_{fa}=0.01$ 。其中, 考虑到不同雷达系统 SAR 图像的信噪比差异较大(与系统参数、成像处理和辐射校正水平等相关), 在实际应用中, 虚警率参数的设置往往是经验性的, 可基于所用雷达系统的 SAR 图像进行调整确定, 此外, 信噪比阈值也需根据所用雷达系统进行本地化设置。

图 3 所示为基于 SAR 图像的船只目标粗检和精检的结果对比。不难看出, 由目标精检提取的目标区域与实际目标区域更加接近, 此外, 对于目标局部强散射引



图 3 船只目标粗检和精检结果对比

起的散射拖尾也有一定的抑制作用。

## 2.2 船只范围界定

船只目标范围的精确界定直接影响后续船只分类的性能。在实际的机载 SAR 应用中, 由于受平台稳定性、实时成像算法鲁棒性、目标运动等因素影响, SAR 图像中的目标有时会出现聚焦不理想的情况, 特别是在目标的强散射部位, 往往会出现高亮的十字形或直线形散射拖尾(如图 3(a)所示), 通常, 它们是由电磁散射旁瓣效应引起的, 会影响目标检测算法对船只主体的精确提取(如图 3(b)和图 3(c)所示), 进而影响后续对船只目标范围的精确提取。此外, 在部分 SAR 目标中, 因目标局部反射较弱导致的检测结果出现割裂也会影响对目标范围的提取。为此, 在船只范围界定阶段, 需要设计有针对性的处理方案去抑制上述影响。

通常, SAR 目标范围的界定大多是基于目标检测二值图提取其最小外接矩形(MER), 这种方法对于 SAR 目标区域检测的要求较高, 当目标信噪比差或存在散射旁瓣效应时, 往往很难获得理想的结果。为了应对该问题, 本文从实际工程应用的角度, 设计了一个基于椭圆拟合的 SAR 海面船只范围快速界定方法, 如图 4 所示。首先, 为了应对目标检测二值图中可能出现的目标割裂、目标区域不连续、孔洞等现象, 在上述双级 CFAR 检测的基础上, 设置了形态学膨胀、孔洞填充的处理以尽可能消除因船只不同部位散射强弱差异导致的目标割裂、孔洞等问题; 其次, 对于目标局部强散射引起的旁瓣效应, 设计以贴近船只外形的椭圆去拟合目标外形轮廓, 在此基础上, 提取拟合椭圆的 MER 作为目标初始 MER, 以此抑制目标强散射拖尾对目标 MER 提取的影响; 最后, 通过对初始 MER 进行长宽修正, 最终获取较为理想的目标范围。



图 4 基于机载 SAR 图像的海面船只范围界定方法

图 5 是采用普通 MER 提取方法与本文基于椭圆拟合的 MER 提取方法的结果对比图。由图可见, 椭圆拟合方法的引入较好地解决了旁瓣散射干扰下目标主轴方向的提取问题。需要说明的是, 在上述流程中, MER 校正采用的是先宽度后长度的校正策略。其中, 宽度校正

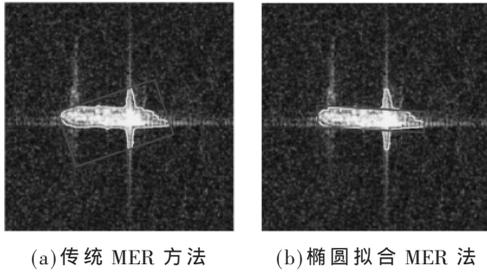


图 5 船只目标 MER 提取结果对比

是沿目标长轴方向逐行提取目标二值图宽度,然后通过对所有宽度进行排序,取其 3/4 处数值作为最终目标宽度;长度校正则是以初始 MER 头尾两边内推法,通过不断内推两条边并检测内推后线段上有效目标点的个数,当目标点个数超过 1/4 时停止,以此得到最终目标长度。

2.3 船只分类

近年来,基于目标特征的船只分类研究时有报道,部分研究取得了不错的研究成果,可作为机载 SAR 船只实时分类应用研究基础<sup>[11, 16]</sup>。本文在现有研究的基础上,通过筛选和实践检验,确定了两个联合特征,将其应用于机载 SAR 海面船只实时分类构架中,它们是:目标长宽比和目标散射强度分布。其中,目标散射强度分布已被研究验证可以独立进行船只目标的分类<sup>[7]</sup>,但是,考虑到机载 SAR 图像中船只目标散射特征的复杂性,采用目标长宽比与目标散射强度分布相结合的分类策略,可以进一步提高船只目标的分类性能。

目标长宽比可基于目标 MER 提取结果直接计算。对于 3 类船只对象,长宽比是一个较好的分类指标,其原因是:大多数的集装箱船具有较大的目标长宽比,而油槽船具有相对较小的目标长宽比。

目标散射强度分布是较为重要的一个分类指标,其计算方法是:将目标按 MER 划分为 3 段,分别计算每段目标区域内的灰度均值,然后将 3 段的计算结果进行归一化,按区间划分为高、中、低,并根据不同类型船只强散射部件的高、中、低分布区间进行匹配分类。其中,集装箱船、散货船和油槽船的各区间散射强度划分可参考文献<sup>[7]</sup>的强度划分方法,如图 6 所示。

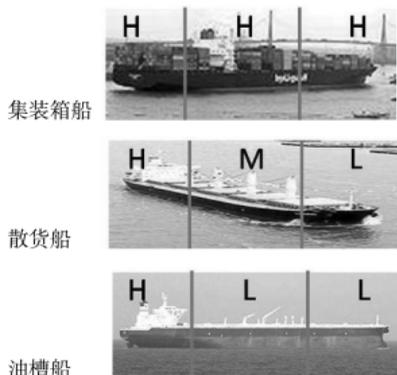


图 6 三类民用船只各区间散射强度划分

3 试验与结果

为了验证上述应用架构的可行性,本文针对上述三类船只目标,采用收集的 58 个高分辨率 SAR 船只目标样本进行了初步的分类测试。鉴于机载高分辨率 SAR 船只样本的稀缺性,且大型船只目标在高分辨率星载和机载 SAR 图像中特征差异相对较小,本文试验样本仍以星载高分辨率 SAR 样本为主。

试验结果表明,基于本文架构搭建的检测分类方法,在分类性能方面,对于集装箱船、散货船和油槽船这三类民用船只目标,整体的检测分类准确率略高于 70%,基本能够满足实际的工程应用需要。其中,油槽船因其与另外两类船只目标特征差异较大,其分类准确率较高,接近 75%;集装箱船的分类准确率最低,低于 70%。在速度方面,鉴于本框架目标特征提取与分类的耗时与输入 SAR 图像中目标的数量呈现正相关,为了降低整体耗时,在 SAR 目标特征提取与分类阶段,通过采用多线程并行处理方案,使其处理速度得到了大幅提升,能够满足当前大多机载 SAR 系统图像实时下传速率的需要。

需要说明的是,鉴于上述试验所用船只样本相对较少且较为理想,在实际应用中,随着目标样本的增加及其观测参数的变化,目标图像的复杂性必然会影响目标的分类性能。为此,为了达到理想的分类效果,应根据实际情况对所用分类特征进行调整,如引入其他有效特征进行综合判别,以提高船只分类能力。此外,限于高分辨率 SAR 船只目标样本的稀缺性,本文仅针对当前研究较多的集装箱船、散货船和油槽船进行了分析,然而,根据参考文献<sup>[7]</sup>的研究结论(该文献分析了 9 类船只目标)可以预见,基于本文所提应用架构,在目标范围界定结果的基础上,应具备将其拓展到部分其他类型船只的应用能力。

4 结论

海面船只 SAR 分类是极为重要的 SAR 海洋应用需求,特别是基于机载 SAR 图像的实时分类应用,已经受到多方高度关注。但是,限于实时处理能力以及机载 SAR 船只目标样本稀缺等问题,就现阶段而言,应用潜力巨大的深度学习方法在短期内还无法实现工程应用。为此,本文从工程实践的角度,构建了基于传统方法的机载 SAR 海面船只实时分类应用架构,论述了相关技术细节和实施方案,并通过试验初步验证了其可行性。本文构架可以作为相关技术应用的基础和框架,通过与实际工程应用结合进行改进,进而应用或指导实际的工程应用。

近年来,随着无人机载 SAR/GMTI 技术的持续发展、硬件处理能力的提升以及人工智能技术的不断突破,通过机载应用不断积累机载 SAR 典型船只目标样本数据,以此构建基于机载 SAR 图像的高分辨率船只样本库,在此基础上,将人工智能分类技术应用于积累的目标样本库进行技术迭代和优化,在不远的将来,基于机器学习船只实时检测分类将成为机载 SAR 海洋监测应用的大势之趋。

## 参考文献

- [1] 张直中.合成孔径雷达遥感技术及其应用[J].火控雷达, 2000, 29(1): 1-7.
- [2] 郭华东.雷达对地观测理论与应用[M].北京:科学出版社, 2000.
- [3] 吴一戎,朱敏慧.合成孔径雷达技术的发展现状与趋势[J].遥感技术与应用, 2000, 15(2): 121-123.
- [4] RIUS J M, FERRANDO M, JOFRE L. High frequency RCS of complex radar targets in real time[J]. IEEE Transactions on Antennas & Propagation, 1993, 41(9): 1308-1319.
- [5] CUSANO M, LICHTENEGGER J, LOMBARDO P, et al. A real time operational scheme for ship traffic monitoring using quick look ERS SAR images[C]//IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2000: 2918-2920.
- [6] MARGARIT G, MALLORQUI J J, RIUS J M, et al. On the usage of GRECOSAR, an orbital polarimetric SAR simulator of complex targets, to vessel classification studies[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006, 44(12): 3517-3526.
- [7] MARGARIT G, Tabasco A. Ship classification in single-pol SAR images based on fuzzy logic[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2011, 49(8): 3129-3138.
- [8] LECLERC M, THARMARASA R, FLOREA M C, et al. Ship classification using deep learning techniques for maritime target tracking[C]//21st International Conference on Information Fusion, 2018: 737-744.
- [9] WANG Y, WANG C, ZHANG H. Ship discrimination using deep convolution networks in SAR images[C]//IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2018: 8444-8447.
- [10] MA M, ZHANG H, SUN X, et al. Maritime targets classification based on CNN using Gaofen-3 SAR images[J]. The Journal of Engineering, 2019(21): 7843-7846.
- [11] XING X, JI K, ZOU H, et al. Ship classification in Terra-SAR-X images with feature space based sparse representation[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2013, 10(6): 1562-1566.
- [12] WANG C, PEI J, WANG R, et al. A new ship detection and classification method of spaceborne SAR images under complex scene[C]//6th Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar, 2019: 1505-1508.
- [13] ZHANG H, TIAN X, WANG C, et al. Merchant vessel classification based on scattering component analysis for COSMO-SkyMed SAR images[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2013, 10(6): 1275-1279.
- [14] WANG C, WANG H, ZHANG F, et al. A novel hierarchical ship classifier for COSMO-SkyMed SAR data[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2014, 11(2): 484-488.
- [15] HAO C, HOU C. A two parameter CFAR detector in K-distribution clutter[J]. Journal of Electronic Information and Technology, 2007, 29(3): 756-759.
- [16] ZHANG X, ZHANG J, JI Y. The capability analysis of ship classification by structure feature using SAR images[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2010, 32(1): 146-152.
- (收稿日期: 2021-07-08)
- 作者简介:  
 缪炜星(1988-), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要研究方向: 无人机系统设计、无人机系统应用。  
 王小龙(1977-), 通信作者, 男, 博士研究生, 副研究员, 主要研究方向: SAR 处理系统构建、目标检测识别, E-mail: xiaolong-wang@163.com。  
 李志勇(1980-), 男, 硕士研究生, 助理研究员, 主要研究方向: GIS 应用系统设计、SAR 图像处理。
- (收稿日期: 2021-03-26)
- 作者简介:  
 焦运良(1985-), 男, 硕士, 主要研究方向: 计算机、信号检测、人工智能。



扫码下载电子文档



扫码下载电子文档

(上接第 112 页)

2016(A0), 126: 143.

- [7] KARPACHEV A T. Dynamics of main and ring ionospheric troughs at the recovery phase of storms/substorms[J]. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 2021(1): 21-24.
- [8] 夏建矿. 关于电流互感器二次回路开路问题的探讨[J]. 科技信息, 2010(9): 789, 775.
- [9] 王俊波, 武利会, 李国伟, 等. 一种用于高压断路器回路电阻测试的放电系统设计[J]. 电子设计工程, 2020, 28(16): 150-153.
- [10] 赵春江. 开路电压为受控源控制量的回路电流法的分析与求解[J]. 商丘师范学院学报, 2020, 36(6): 26-28.
- [11] HEKMAT M, ROSTAMYAN F, SHAFIEKHANI A, et al. Barrier coating and plasmonic effect by using diamond-like carbon and silver nanoparticles on quantum dots sensitized solar cells[J]. Semiconductor Science and Technology, 2020, 35(4): 045019.1-045019.6.
- [12] 高大全, 唐大洪, 李波. 现场正确判定电流回路极性的方法及应用[J]. 冶金动力, 2019(9): 24-28.
- [13] 段俊东, 张晓芳, 张滨. 励磁调差单元对电力系统低频振荡的影响[J]. 电源学报, 2019, 17(3): 182-190.
- [14] 宗谨. 理想电流源在支路电流法中的处理方法[J]. 甘肃高师学报, 2012, 17(2): 82-83.
- [15] SEIGER H N. The confluence of Faraday's and Kirchoff's laws in bio-electrochemical systems[J]. The Scientific World Journal, 2012: 123-125.
- (收稿日期: 2021-03-26)
- 作者简介:  
 焦运良(1985-), 男, 硕士, 主要研究方向: 计算机、信号检测、人工智能。

## 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