

战场目标特性数据应用分析

江志浩, 王雅芬, 郑义成, 张恺翊

(中国人民解放军91977部队, 北京 102249)

摘要 信息优势是未来决定战场胜负的决定性因素之一, 战场目标情报的获取、处理、应用等研究是现代军事信息技术发展的基础。目标特性数据是国防大数据建设和战场信息保障的重要组成部分, 目标特性数据服务保障几乎贯穿于作战中侦、打、防、控、评等全过程。以作战需求为牵引, 研究目标特性数据应用问题, 在分析国内外目标特性技术发展与应用现状的基础上, 分析了目标特性数据在目标识别、目标指示、指挥决策、毁伤效果评估等作战环节的应用前景, 提出了战场目标特性数据建设和应用中亟需解决的技术难题, 对目标特性数据采集处理、技术研究、生产建设、管理和作战使用等具有指导意义。

关键词 目标特性; 需求研究; 数据服务; 目标识别

中图分类号 E87 **文献标识码** A **文章编号** 2096-5753(2021)03-0160-07

DOI 10.19838/j.issn.2096-5753.2021.03.001

Application Analysis of Target Characteristic Data in Battlefield

JIANG Zhihao, WANG Yafen, ZHENG Yicheng, ZHANG Kaiyi

(No. 91977 Unit of PLA, Beijing 102249, China)

Abstract Information superiority is one of the decisive factors that matter most to the future warfare. The acquisition, processing and application of battlefield target intelligence are fundamental for modern military information development. Target characteristic data is an important part in national defense big data construction and battlefield information support. It runs through the entire process of reconnaissance, attack, defense, command& control and battle damage assessment in combat. Based on analyzing the development and application status of target characteristic technology at home and abroad, the potential application of this technology in terms of target identification, target indication, command& decision, and battle damage assessment are analyzed in this paper. In addition, some technological problems that need to be solved urgently in battlefield target characteristic data construction and application are discussed, which has instructive significance for target characteristic data acquisition and processing, technical research, construction and production, management and combat operation.

Key words target characteristic; demand study; data service; target identification

0 引言

目标特性是目标自身具有、彼此相对独立的内在属性特征和外部运行规律^[1]。目标特性数据是国家和军队最重要、最基础的资源之一, 是国防大数

据建设的资源组成部分。长期以来, 目标特性数据始终是武器装备开展技术研究、设计研制、试验验证的基础依据^[2-4]。

一体化联合作战需要一体化联合信息保障, 一体化联合作战条件下的目标情报保障对目标特性

数据的数据种类、保障对象、应用方式和范围提出了更高的要求,需结合作战、训练任务在实际或模拟场环境下研究目标特性数据需求。

1 目标特性数据类型

目标在作战指挥中的定义是:交战双方为实现某种作战意图,彼此进行跟踪、打击、压制、攻占或摧毁的对象^[1]。作战中的目标既包括敌我双方参与作战的飞机、坦克、车辆、舰艇、卫星等平台,也包括来袭导弹、鱼(水)雷、作战机器人、UUV/UAV、潜(浮)标等武器和传感器目标,还包括各类作战工事、指挥所、部队甚至人员等目标。

目前,目标特性及目标特性数据的研究一般从 7 个方面开展,即基本特性、运动特性、辐射散射特性、物理场特性、尾迹特性、对抗特性、易损特性,如图 1 所示。



图 1 目标特性数据研究的基本类型

Fig. 1 Basic types of target characteristic data research

其中,基本特性包括目标基本描述、几何、结

构、材料、装备等特性信息;运动特性包括目标机动性能、轨道、微动等特性信息;辐射散射特性包括目标光学辐射(含可见光、红外、紫外线等)、光学辐射、电磁辐射(包括通信辐射源、雷达辐射源、电磁指纹特征等)^[3, 5]、电磁散射、声学辐射、声学散射、核辐射等特性信息;物理场特性包括电场、磁场、压力场等特性信息;尾迹特性包括车辆、导弹、舰船等目标留下的尾迹、尾流的几何结构、光学和残留物等特性信息;对抗特性包括作战目标有源干扰或无源干扰措施的特性信息;易损特性包括涉及目标易损性的功能、结构、损管措施、毁伤判断等特性信息。

目标情报是作战指挥决策的重要依据,其主要内容包括目标的位置、性质、作用、规模、材质、特征、构造、要害、防护、环境等,目标特性数据是形成目标情报的主要依据和重要组成部分。作战指挥决策的核心问题是解决目标“在哪里”、“是什么”、“在干什么”、“如何应对”、“应对效果如何”等问题,即预警侦察、目标识别、跟踪监视、指挥决策、效果评估等。因此,目标特性数据研究和应用分析也必将着眼以上几个方面开展。

2 国内外目标特性研究与应用现状

欧美强国在目标特性领域的研究起步较早、发展相对成熟,在目标特性理论研究、特征采集、数据应用、信息管理等方面的建设相对完善。在理论研究方面,已在目标散射、辐射特征形成机理研究取得突破,形成了相对完善的目标特性与数据理论,建立了部分目标特性模型和基于模型的数据生成模型,从而打破了传统基于“先验知识”的研究模式;在目标特征采集方面,已实现时、空、频、环境及各种变换域的联合特征数据提取和分析,极大提高了目标特性数据的准确性、置信度和可用性;在数据应用方面,目标特性研究和管理不但始终贯穿于装备研制、试验和使用的全寿命周期,且在战场侦察、目标打击、指挥决策、战场评估等方面积累了丰富的经验;在体系建设方面,美国已将目标特性数据作为国家战略信息资源,成立了中央测量与特征情报机构(Central MASINT Organization,

CMO), 直接隶属于国防情报局, 建立了国家目标与威胁特性数据库系统 (National Target/Threat Signatures Data System, NTSDS), 实现了目标特性数据在国家层面的统管和共享应用。

如美国为了发展弹道导弹防御系统 (Ballistics Missile Defense System, BMDS)、战区导弹防御系统 (Theater Missile Defense, TMD)、国家导弹防御系统 (National Missile Defense, NMD), 早在 20 世纪 60 年代开始就对全球导弹目标进行了长期测量与深入研究, 并通过“观察岛”、“沃· 沦岑”导弹观测船等移动平台长期采集外军导弹、火箭等目标特性数据, 建立并完善了数据库; 美国“无暇”号水声监测船、P-3C 反潜巡逻机长期搜集全球尤其是亚太地区各类水面、水下目标的特征数据; 美军的联合建模与仿真系统 (Joint Modeling and Simulation System, JMASS) 将武器装备的射频、光电、红外与环境特性相结合, 能有效模拟电磁、红外、可见光、声波等辐射与传输, 可为作战指挥、辅助决策提供客观依据; 加拿大专门为目标特性研究与综合测试建造的“寻求”号试验船, 搭载了目标特性综合分析数据库系统, 可实现目标实时监测与试验验证, 能够为舰艇目标特性研究和作战应用探索有效的技术途径。北约一直致力于目标特性理论、数据建设和应用研究, 并在非合作目标识别领域取得较大突破, 尤其是毫米波雷达识别能力已经初具实战能力。此外, 欧美军事强国不仅在目标特性相关基础建设、数据资源、体系优化等方面发展成熟, 还建立了盟国间的资源共享、利益互惠机制, 如大西洋地区海上网络 (Marine Atlantic Regions Network, MARNET) 项目能够为所有欧盟成员国提供外军舰船技术性能、试验数据等服务。

我国在目标特性领域起步较晚, 但发展迅速, 在目标测量、数据生产、理论研究、试验方法、模型研究等方面取得了一定的成果。目前, 已经相继建立多个高水平目标特性测量试验场 (室), 配套先进的测量设备, 并结合我国多行重点武器型号研制及相关专业技术发展的需要, 开展了多种敌我空中、水面、水下、地面和固定设施的目标特性研究,

已完成一批敌我目标特性数据产品, 积累了一定的技术和经验。但总体而言, 我国在目标特性数据实战化应用方面与欧美发达国家还存在一定差距。

3 目标特性数据应用分析

3.1 在目标识别中的应用

超视距作战是信息化条件下现代战争的主要特征之一, 因此对目标的远程预警是作战中最重要的一环之一。目标发现、目标识别、目标跟踪是实施目标远程预警的 3 个步骤, 其中目标识别^[6-7]既是确定目标身份、属性、类型的关键步骤, 也是开展目标跟踪监视和实施战役战术行动的基础。

对目标的远程预警手段主要有雷达探测、辐射源侦测、航天侦察、水声对抗侦察等, 各种手段均需通过目标识别确定目标身份信息, 但几乎所有的目标识别方法 (算法) 均离不开目标特征数据的支撑; 可以说, 目标识别是目标远程预警、目标跟踪监视、战场情报分析的主要依据, 而目标特征数据是目标识别的主要依据。

雷达目标识别^[8-10]是利用在雷达探测回波中提取目标时域、频域、极化域等方面的雷达目标特征, 对目标类型、属性、威胁等级进行判断的过程。雷达目标特性反应了雷达波照射下的被观测目标的电磁散射特性^[8]。传统的雷达目标特征主要包括高度、速度、加速度、P 显轮廓、多普勒特性、低分辨率起伏特性等, 可根据目标运动、尺寸等特性的明显差异进行目标类型的识别, 也可根据目标 RSC 时间序列获取其几何特征和形状特性从而开展目标识别^[9-10]。近年来, 新体制、超宽带、高分辨率雷达技术逐渐成熟, 使实现目标型号甚至目标个体识别成为可能。如, 一维距离像^[11]因与目标外形具有强相关性, 利用目标一维距离像特征可以获取目标尺寸、形状等目标信息, 超分辨率雷达的二维 ISAR 成像^[12]可同时反应目标在距离分辨率和角度分辨率上的反射特性, 利用人工智能技术在视觉识别上的成功经验, 基于目标一维距离像、二维 ISAR 成像特性, 可将雷达目标识别等效为一个图像识别问题。

辐射源识别是利用目标通信、雷达等设备发射

的各类电磁辐射源特征开展目标识别, 主要包括雷达辐射源识别和通信辐射源识别。其中, 雷达辐射源识别^[1, 13-14]因技术发展相对成熟、实战化能力强在得到广泛应用。传统的雷达辐射源识别主要根据雷达信号脉冲描述字 (Pulse Description Word, PWD)^[15]形成的特征向量; 20 世纪末开始, 随着脉冲压缩雷达的广泛使用, PWD 已经逐渐难以准确描述雷达辐射源的信号特征, 因此脉内调制 (如相位编码、频率编码、线性调频等)、脉间调制 (如组变、参差、滑变、捷变频等) 等细微特征逐渐成为雷达辐射源识别的主要依据; 同时, 为支撑对特定目标个体识别 (Specific Emitter Identification, SEI), 开展了大量雷达辐射源无意调制特征研究, 常用的无意调制特征有: 脉冲上升/下降沿系数、脉内波纹系数、频率稳定度等。

航天侦察^[16]具有作用有效距离远、范围广、载荷手段多等优点, 因此天基战场目标信息支援是提升战场侦察预警能力的重要手段。常用的航天侦察手段主要有电子侦察、光学遥感、SAR^[17-19]等。其中, 电子侦察卫星中的目标识别与辐射源识别类似; 光学、遥感卫星可利用目标遥感影像、高光谱图像、可见光侦照等数据支撑实现战场目标检测与识别; 此外, SAR 手段除了利用 SAR 图像进行目标识别外, 还能利用目标介电常数、极化等特性辅助实现目标材质、反射体面特征的判读, 从而提高目标识别的准确度。

水声对抗侦察是对敌方目标各类声信号进行侦察, 主要是舰船或鱼雷动力装置引起的噪声信号、主动声学装备发射的探测信号等, 为水声对抗和水下作战提供敌方目标声学信息。常用的水声目标特性包括噪声线谱、强度、时频、声纹等声辐射特征, 回声亮点、回波强度等声散射特征, 以及水中电场、水中磁场、水压力场等非声特性。其中, 舰艇目标的辐射噪声特性是水下作战领域进行目标识别、对抗侦察的重要依据, 这些特性既包括机械噪声特性, 又包括螺旋桨噪声特性和水动力噪声特性; 且这些噪声特性受水下战场环境的复杂性影响呈时变、非高斯、非线性、非平稳、多剖面分布。

此外, 各类伪装、隐身技术的发展和实战化应

用给战场目标识别带来了巨大挑战, 目标特性数据在目标识别中的广泛应用有助于提高复杂战场环境下对隐身和伪装目标的发现识别能力。例如, 目标多光谱辐射、散射特性一定程度反应目标材料、成分等信息, 有助于对伪装物或掩体的研判。

3.2 在目标指示中的应用

目标指示就是将拟攻击目标的特征信息传输给武器系统, 从而保障火力打击的准确性和有效性^[20-22]。现代战争中, 随着武器系统攻击距离的不断延伸和精确制导技术、多模复合制导技术的发展, 对目标指示的精度、类型和方式提出了更高的要求。目前, 常用的目标指示技术主要有: 雷达引导、电视制导、红外制导、反辐射制导、主/被动声纳引导、毫米波制导、激光制导、微波制导等^[20]。一般通过 2 种方式实现^[21-22]: 1) 武器系统自身传感器指示, 如弹载雷达、目标指示雷达、火控雷达等; 2) 外部传感器信息引导, 如卫星引导、预警机引导、直升机引导、协同探测引导等。无论何种技术或方式, 武器系统在进行目标检测、命中点选择、寻的跟踪时, 均需要目标特性数据的支撑, 且随着多模复合制导技术的发展应用, 有时候往往需要多种类型的数据支撑。

3.3 在指挥决策中的应用

目标威胁评估^[23-24]、意图预测^[25]是在作战指挥决策的基础分析工作, 是指挥员准确掌握战场综合态势、形成指挥决策方案的依据和前提^[26]。战场情报、战场环境、目标特性是支撑威胁评估和意图预测的主要信息 (数据) 来源。以对空威胁判断为例, 除相关情报信息、战场环境数据支撑外, 还需要作战性能、电子干扰能力、攻击样式、攻击火力、最佳截击位置等目标特性数据; 以目标意图预测为例, 对目标特性数据的要素应包括机动性能、载弹能力、作战方式、辐射源工作模式及对应参数特征等。

作战指挥决策中, 弹目匹配和火力分配^[27]是作战方案生成的 2 个重要环节, 旨在选择恰当类型、数量的武器攻击/拦截适合的敌方目标, 达到最佳的作战效能 (打击效果、费效比等多方面)。而制定弹目匹配方案和火力分配方案时, 除当前战场综

合态势、武器系统战斗部毁伤性能外,主要依据为拟攻击目标的目标特性,如局部结构、强度模型、抗冲击波爆破性能、抗破片杀伤性能、抗侵彻爆破性能等易损特性。

在水下作战中,声诱饵主要用于模拟我方潜艇的噪声特性,为摆脱敌方反潜兵力或规避来袭鱼雷赢得机会。其中,自航式声诱饵还能模拟潜艇机动特性甚至磁场特性、尾流特性,从而更好地完成水下兵力对抗任务。但只有在恰当的时机投放声诱饵,才能极大发挥声诱饵的作战效能。因此,除我方目标机械噪声、螺旋桨噪声、水动力噪声等特性外,水下作战辅助决策和声诱饵作战使用还需外军水下目标声辐射噪声、对抗特性、运动特性以及海洋环境特性的支撑。

3.4 在毁伤效果评估中的应用

毁伤效果评估(Battle Damage Assessment, BDA)是作战的重要环节,既是检验打击方案实施情况和打击效果的有效性,也是调整打击方案和实施后续压制的依据^[28-29]。

侦察卫星、航空侦察飞机、UUV、UAV、武器视频、电子战等侦察力量搜集的战场情报是毁伤效果评估的主要依据。在进行毁伤效果评估时,对“硬毁伤”的效果评估一般通过打击前后的目标图像对比,分析其几何特征、结构特征、文理特征的变化情况,判断其毁伤程度;对“软毁伤”的效果评估一般通过对打击前后目标的通信、雷达、导航设备发射电磁信号情况的对比,判断对敌方指挥、控制、通信、情报和网络系统的毁伤程度;此外,还需利用计算机仿真技术,通过目标易损性/战斗部威力分析(Vulnerability and Lethality, V/L)模型,结合战场监视情报,评估特定武器打击特定目标的目标毁伤效果。

4 目标特性数据及应用技术展望

4.1 目标特性大数据应用于目标数据融合

目标特性数据作为国防大数据的重要组成部分,具有典型的“4V”大数据特征,如数据量大(Volume)、来源和种类多(Variety)、时效性强(Velocity)、高价值(Value)等^[30]。未来,大数据

技术在信息化作战指挥中发挥重要作用,有助于进一步聚合信息资源优势,提升体系对抗能力。

目前,战场目标特性大数据分析技术还相对薄弱,距离“数据力转化战斗力”还存在一定差距,难以满足目标数据融合需求,需在以下几个方面有所突破:

1) 基于多源目标特性的数据深度融合:目前,基于目标特性数据的多传感器手段协同、融合识别能力初步形成,但数据融合深度、广度还不够,现有系统处理架构、数据建设方式与战场大数据应用不相适应,难以实现战场情报、战场环境、目标特性等战场大数据的快速采集、检索。依托人工智能、大数据等技术,突破大差异目标时空关联、非结构化数据融合、异构知识融合等关键技术,是实现目标数据深度融合的有效途径。

2) 作战目标特征的规律挖掘:现有目标特性数据生产和管理方式往往与目标特定功能或测量手段相关,这些数据形成一个个独立的知识点,描述了特定目标在特定条件下的特征。如果利用大数据技术从这些数据中找出关联、发现规律,一方面可极大提高数据的准确性和可靠性;另外一方面,形成的目标特性数据关联关系、规律等衍生信息将为作战目标数据保障提供更加精准、全面的目标信息。

3) 作战目标知识图谱构建:知识图谱^[31]本质上是结构化的语义网络,适用描述目标及其相互关系;战场目标知识图谱将改变目标特性数据的索引方式,形成全新的目标信息描述知识网络,有助于作战目标数据(集)的快速形成,向指挥机构和指挥员提供经过分类整理的结构化目标信息。

4.2 多手段目标特性数据生产与数据增强

在目标特性数据生产过程中,目标实测是取得高价值、高置信度的目标特性数据的最重要来源。但具体测量工作一般受测量时机、距离、环境等条件不可控因素影响,往往不可能实现各种环境下全要素、全方位、多手段的目标实测,且实测数据的质量和可用性往往难以保障。因此,基于目标实测数据的模型仿真和数据增强、增广是取得高置信度目标特性数据的途径之一,通常有基于半实物模型

的数据实测和基于全数字化模型的数据仿真两种技术路线。

基于半实物模型的数据实测主要是根据公开资料和实测数据建立目标模型,通常采用缩比结构模型或物理场缩比模型^[4],并利用实际测量手段获取缩比目标数据,最后利用缩比关系将测量数据等效为目标实测数据。该方法具有测量成本低、环境因素可重构、数据置信度较高等优点。

基于全数字化模型的数据模拟仿真,主要是利用计算机技术,通过基于实测数据研究的虚拟建模、模拟仿真,实现目标特性数据模拟、修正等,如以 CAD (Computer Aided Design) 技术为代表的目标三维实景建模^[4]等。该方法生成的数据置信度完全依赖于目标模型、环境模型的逼真度,在目标特性和数据研究领域应用较广泛,但距离满足实战化应用还有一定差距。

人工神经网络是实现数据增强、增广的研究热点之一。最新的生成式对抗网络 (Generative Adversarial Networks, GANs)^[32]是一种受到零和博弈论思想启发的生成式网络模型,可以实现生成数据样本的使命。GANs 网络结构如图 2 所示。该结构包含 1 个样本生成器 X、1 个生成网络 G、1 个判别网络 D。其中, X 输入 1 个噪声,根据真实数据的数学模型由 G 生成 1 个逼真的样本; D 为 1 个二分类器,用来判断输入样本的真假。训练过程就是 G 和 D 之间的博弈过程,期望最终使 D 难以区分真实数据和生成数据,完成生成网络训练,此时生成网络 G 产生数据可认为满足真实的分布和特征。

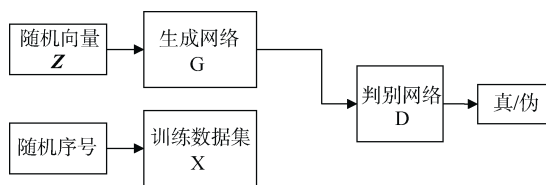


图 2 生成对抗网络 GANs 示意图

Fig. 2 Schematic diagram of GANs structure

利用 GANs 模型进行数据生成时,既不需要提前获取真实数据的分布、也无需进行任何先验数学假设,且生成数据置信度高,已被广泛应用于许多领域,尤其是在图像处理、计算机视觉、序列数据

等方面的应用已相对成熟。因此, GANs 模型在目标特性数据领域的应用必将有利提高可见光图像、红外影像、遥感影像、SAR 图像、雷达影像、一维距离像、二维 ISAR 成像等图像或视觉数据的数据模拟生成,也可用于目标噪声、水声等音序列数据的数据模拟生成。

以上 2 种方式将有效扩展目标特性数据生成方式,结合目标实测,可完善目标特性数据建设渠道,实现“虚中有实、以虚补实、以实补虚”的目标特性生产模式,提高目标特性的数据量和置信度。

4.3 目标特性机理及与战场环境的关系研究

战场环境是战场及其对作战活动有影响的各类情况和条件的统称,是作战目标、传感器的依存背景,是一个多维的作战空间,包括地理环境、气象环境、电磁环境、核生化环境等。为确保目标特性数据的可用性,在目标特性数据的生产时尽可能较少或弱化战场环境的影响,或目标特性数据使用时尽可能抵消战场环境影响因素。因此,目标特性与战场环境关系的研究主要有以下 3 个方向: 1) 目标特性形成机理研究; 2) 目标特性抗环境敏感性研究; 3) 战场环境与目标特性关系研究。

例如,直升机螺旋桨转动、机体振动、导弹弹体振动等目标微动特性会对雷达回波信号产生调制,出现微多普勒效应,从而引起雷达目标特性的细微变化,且该特征往往具有一定唯一性。通过目标“微动-微多普勒”特性研究,搞清不同类型直升机、不同类型桨叶在不同飞行状态下雷达回波微多普勒效应尤其雷达目标特性的变化机理,不但可以实现目标类型、型号甚至个体识别,还可获取目标质量分布、发动机状态、直升机类型、飞行状态等战场目标情报信息,为战场信息保障提供更加精准、全面的目标信息。目标特性的光谱特性不仅与目标几何、材料、有效面积、目标姿态等结构特性有关,还与当时所处光学环境、温度环境、电磁环境等相关。但由于这些特性在采集和使用往往难以消除环境影响,仅适用于与采集时刻相似的战场环境,将难以适应未来复杂战场环境下的目标特性保障需求。

5 结束语

长期以来,目标特性数据主要用于武器装备技术研究、设计研制、试验验证、效能评估等各阶段,但随着新技术条件下一体化联合作战对战场信息保障的迫切需求,开展目标特性数据服务作战应用研究是提升战场情报来源、提高战场目标情报保障的重要手段之一。文章从作战信息保障需求出发,结合国内外目标特性数据研究和应用现状,分析了目标特性数据在侦察预警、火力打击、指挥决策、效果评估等方面能力和应用前景,结合现有技术水平展望了目标特性数据应用和数据生成技术。研究成果可为建立和完善目标特性测量、数据生产、试验验证、数据评价、数据应用、服务保障等工作提供支撑,有助于进一步提供战场目标服务保障能力。

参考文献

- [1] 陈健,王永明,赵革,等. 舰船目标特性研究综述[J]. 舰船电子工程, 2008, 28(5): 17-21.
- [2] 薛鹏,阳再清. 军用无人机目标特性综述[J]. 指挥控制与仿真, 2016, 38(3): 76-78.
- [3] 祁露露. 测量与特征情报: 一种新的情报搜集门类[J]. 情报杂志, 2014(33): 15-17.
- [4] 魏强,卫朝富,陈晓盼. 国外军用车目标特性试验条件建设综述[J]. 中国航天, 2013(10): 40-43.
- [5] 刘兴潭,武延鹏. 天基空间目标识别方法综述[C]//第二届中国空天安全会议. 北京: 中国指挥与控制学会, 2017.
- [6] 李明军,刘怡昕,黄先义,等. 基于模糊模式识别的战场目标识别[J]. 火力与指挥控制, 2005, 30(8): 57-60.
- [7] 强勇,缙水平,王永刚. 战场感知系统目标识别技术的进展[J]. 火控雷达技术, 2008, 37(1): 1-9.
- [8] 马林. 雷达目标识别技术综述[J]. 现代雷达, 2011, 33(6): 15-17.
- [9] 于连庆. 雷达目标识别方法研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2007.
- [10] 倪迎红,陈玲. 雷达目标识别及发展趋势预测[J]. 电讯技术, 2009, 49(11): 98-102.
- [11] 李飞. 基于一维距离像的雷达目标识别[J]. 舰船电子工程, 2015, 35(5): 69-73.
- [12] 白雪茹,周峰,邢孟道,等. 空中微动旋转目标的二维 ISAR 成像算法[J]. 电子学报, 2009, 37(9): 1937-1943.
- [13] 徐扬. 辐射源信号指纹识别技术[D]. 成都: 电子科技大学, 2014.
- [14] 路征,龚燕. 雷达辐射源识别技术面临的主要挑战及对策[J]. 国防科技, 2017, 38(2): 24-27.
- [15] 张冰清. 基于全脉冲信息提取的电子对巧与效能评估研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2016.
- [16] 李丹,于小红. 多传感器信息融合在航天侦察中的应用[J]. 兵工自动化, 2012, 31(3): 86-88.
- [17] 周旭,保铮. SAR 目标特性分析技术[J]. 计算机工程与科学, 2008, 30(7): 40-46.
- [18] 白海娟. 舰船目标卫星遥感影像识别特征分析方法演技[D]. 成都: 电子科技大学, 2013.
- [19] 徐琪. 遥感图像目标及环境特性分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.
- [20] 徐春夷. 复合制导技术的现状与发展[J]. 制导与引信, 2008, 29(1): 17-22.
- [21] 彭智,颜骥. 超视距目标指示技术的探讨[J]. 舰船电子工程, 2010, 30(5): 26-30.
- [22] 滕克难. “协同制导通道”基本概念及其应用分析[J]. 现代防御技术, 2013, 41(8): 44-48.
- [23] 潘科,潘宣宏,郭新奇. 基于多属性决策的水面舰艇防空威胁判断分析[J]. 计算机与数字工程, 2014, 42(5): 802-805.
- [24] 董庆贺,韩传久. 基于 MADM 的目标威胁程度判断研究[J]. 桂林电子工业学院学报, 2005, 25(6): 45-48.
- [25] 冷画屏,吴晓锋,殷卫兵. 舰艇战术意图识别技术[J]. 火力与指挥控制, 2007, 32(11): 35-40.
- [26] 李家祥,王延章,赵晓哲. 舰艇作战指挥决策建模研究[J]. 舰船科学技术, 2005, 27(4): 39-42.
- [27] 卞泓斐,杨根源,于磊. 舰艇编队防空作战火力分配[J]. 指挥控制与仿真, 2015, 37(2): 41-47.
- [28] 杨凯达,赵文杰,李成. 目标毁伤效果评估技术研究进展[J]. 国防科技, 2014, 35(1): 29-35.
- [29] 侯博,李建益,王瑜. 舰船毁伤效果评估系统设计[J]. 火力与指挥控制, 2014, 39(6): 135-139.
- [30] 何友,朱扬勇,赵鹏,等. 国防大数据概论[J]. 系统工程与电子技术, 2016(6): 1300-1305.
- [31] 刘峤,李杨,段宏,等. 知识图谱构建技术综述[J]. 计算机研究与发展, 2016, 53(3): 582-600.
- [32] GUI J, SUN Z N, WEN Y G, et al. A review on generative adversarial networks: algorithms, theory, and applications[EB/OL]. [2020-01-20]. <https://arxiv.org/abs/2001.06937>.

(责任编辑: 曹晓霖)