

# 基于深度学习的反舰导弹目标检测研究综述

王 瑶,曾维贵,姜 义,王 磊

(海军航空大学, 山东 烟台 264001)

**摘要:**通过分析反舰导弹作战面临的复杂环境和实现精确打击面临的现实难题,对比国外典型反舰导弹及目标检测网络发展情况,提出将基于深度学习的目标检测网络应用于不同作战场景中反舰导弹目标检测与识别环节,探索人工智能技术在反舰导弹作战领域应用。文章可为提升反舰导弹对目标的检测与识别精度,实现反舰导弹精确打击提供可行技术途径参考及理论支撑。

**关键词:**精确打击;作战环境;人工智能;目标检测;反舰导弹

**本文引用格式:**王瑶,曾维贵,姜义,等. 基于深度学习的反舰导弹目标检测研究综述[J]. 兵器装备工程学报,2020,41(S2):13-19.

**Citation format:**WANG Yao, ZENG Weigui, JIANG Yi, et al. Research on Target Detection of Anti-Ship Missiles Based on Deep Learning[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering,2020,41(S2):13-19.

**中图分类号:**E927 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-2304(2020)S2-0013-07

## Research on Target Detection of Anti-Ship Missiles Based on Deep Learning

WANG Yao, ZENG Weigui, JIANG Yi, WANG Lei

(Naval Aviation University, Yantai 264001, China)

**Abstract:** Facing the complex and changeable sea combat environment, to improve the precision strike capability of anti-ship missiles is the need of battle and the key of mission. Through analyzing the complex environment of anti-ship missile operation and the realistic problems of realizing accurate strike, we compared the development of typical foreign anti-ship missiles and target detection networks, and applied the target detection networks based on deep learning to the target detection of anti-ship missiles in different battle environment, and explored the application of artificial intelligence technology in anti-ship missiles combat. This paper provided feasible technical approaches and theoretical support to improve the detection and identification accuracy and realize the precision strike of anti-ship missiles.

**Key words:** precision strike; battle environment; artificial intelligence; target detection; anti-ship missiles

当前及未来海战中,精确打击仍是作战行动的重要手段。海上战争形势复杂多变,作战形式多样,竞争日趋激烈。反舰导弹担负着快速响应、精确打击的重要使命任务。面对复杂海战环境,提升反舰导弹精确打击能力,是掌握复杂战场环境主动权的现实需要和必然发展趋势。当前反舰导弹在实现精确打击方面面临一定的现实难题和技术瓶颈,传统的舰船目标检测与识别技术在复杂自然环境及干扰环境下对目标的检测识别能力不足,难以满足精确打击需求。随着

人工智能技术的发展,基于深度学习的目标检测网络不断成熟应用到生产生活的各个领域,其对目标检测精度高、速度快,受干扰因素影响小。将基于深度学习的目标检测网络应用于反舰导弹对目标的检测与识别环节,能够提升目标检测识别能力,较好的抵抗自然环境及电磁环境干扰,对适应复杂战场环境具有重要意义,符合未来智能化海战发展趋势及作战需求,为实现反舰导弹对目标的精细化选择提升作战效能提供可行途径和发展思路。

## 1 反舰导弹目标检测识别需求分析

### 1.1 反舰导弹面临的复杂环境

#### 1) 复杂自然环境

反舰导弹在实时作战过程中面邻复杂多变的自然环境:

一是海洋环境要素众多。主要包括海洋水文要素:海水温度、盐度、潮汐、海浪等;以及复杂天气环境:雨雪、云雾、水汽、光照、雷暴等气象要素都对反舰导弹目标检测与识别提出较高的要求。

二是地物地貌复杂。近岸的山峰、树林、港口码头以及错综分布的岛屿、岛礁等自然背景和建筑物、海上设施设备等人为背景进一步加大了目标检测与识别难度。舰船航行至近岸岛礁附近时,海岸线、树林、层峦叠嶂的山体、建筑物等形成了复杂的背景从而直接影响目标的检测与识别<sup>[1]</sup>。

三是船舶分布密集。丰富的海洋资源及运输、物流的发展,海上众多船舶分布包括各类客船、货船、渔船、商船等民用或中立目标以及各类军舰,多种类型船舶密集分布,军用、民用目标交织排列,使传统常规的目标检测识别手段面临较大挑战。

海上作战环境复杂多变,水文、气象要素,地物地貌等多方面因素都对反舰导弹作战提出了严峻考验。

#### 2) 复杂干扰环境

伴随电子对抗技术的发展,现代舰艇普遍装备电子战反导装备,加之气象、水雾、云团、角反射体、舰载干扰机等干扰手段使得导弹进攻面临复杂干扰环境,并且随着干扰技术的发展和战场环境、敌我对抗态势认知的深入,电子战装备的发展越来越具有针对性。

反舰导弹主要面临有源干扰和无源干扰两类,其中有源干扰分为舰载有源干扰和舷外有源干扰;无源干扰分为角反射体、箔条、烟幕干扰等<sup>[2]</sup>。

有源干扰系统分侦查、控制、干扰三步,能够向敌雷达辐射与其信号匹配的一定功率和调制样式的干扰信号<sup>[3]</sup>。舰载有源干扰手段对采用隐蔽锥扫体制末制导雷达的干扰效果较好,通过破坏雷达角度跟踪干扰导弹命中目标。舷外有源干扰具备干扰信号稳定,信号欺骗性好,参数调节范围大,战场适应性强的特点且干扰源布于舷外能够保证舰船安全,对于反舰导弹威胁较大<sup>[4]</sup>。

无源干扰具有方便使用、适应能力强、制造简单等特点,

是舰船对抗反舰导弹的重要手段。干扰方式的多样组合应用以及复杂多样的电子战装备的发展使得反舰导弹在对抗干扰方面存在一定的技术瓶颈,严重影响了反舰导弹作战效能的发挥。

### 1.2 实现反舰导弹精细化目标检测与识别面临的现实问题

当前海上作战形式复杂多变,战争形态空前激烈,多平台呈现网络化特点,海上作战环境严酷,雨雪风浪、高盐高湿的自然环境及敌方威胁、干扰等多种因素对反舰导弹作战效能发挥产生了一定威胁。在复杂的海洋环境中实现反舰导弹精确化打击,能够精细区分判定军船、民船等相近目标以及遮蔽目标、小目标,完成对舰船目标的精准检测识别,实现精细化打击并减少附带杀伤<sup>[5]</sup>主要还存在以下几点问题。

一是复杂背景下的目标检测与识别。我国领海面积超过 300 万平方千米,海岸线狭长,海洋资源丰富,交通运输发达,海面分布多样的舰船目标,包括军舰和大量货船、帆船、渔船等民用船只。不仅如此,在近岸、岛礁、港口码头等环境中还分布着岛屿、山峰、树林、海岸等自然地物以及建筑物、民用军用设备设施等人为建筑,这些都对反舰导弹末端制导的雷达、红外传感器产生较大影响。根据现有目标探测与捕获规则,在预定海域内任何漂浮目标都可能被认定为打击目标。各类军船、民船错综复杂分布对常规传统的目标检测与识别手段提出较大挑战,难以满足精确打击要求。无法实时精准的实现对目标的检测与识别不仅会带来贻误战机的风险,还可能错误的将民用目标或中立目标作为打击对象从而带来不必要的舆论压力和经济损失。

在复杂的背景中,实现反舰导弹的精确打击,要求反舰导弹能够在多样背景因素影响下,精细区分各类舰船目标,能够区分军船、民船等相近目标以及各类型船只,实现在复杂自然环境中完成对既定打击目标的搜索,抓住作战时机,避免误伤和附带损伤,实现外科手术式打击。

#### 二是对抗遮蔽干扰。

烟幕是作战中一种有效干扰的手段,其能阻隔光信号在探测器和目标间的信息传递,在海战环境中,舰用遮蔽式烟幕干扰能够有效对抗激光制导及红外制导方式,影响反舰导弹对目标的检测识别。

在船只密集区域,民船、渔船等民用目标及中立目标和各类型军船混杂,潜在的威胁目标可能借助舰船间遮挡藏匿于船只之间,且舰船隐身技术发展愈发成熟,各类隐身小型舰船目标借助船只密集区域复杂环境能够实现快速机动和隐蔽突击。

云团、岛礁、岸岛建筑等自然及人为因素也会对舰船目标检测与识别产生遮蔽干扰。如何快速、准确地探测和提取海域中的舰船目标,为作战赢得尽可能多的处理与决策时间是当前亟待解决的问题。

### 1.3 典型装备发展情况

#### 1) LRASM 远程反舰导弹

LRASM 远程反舰导弹是美海军与美 DARPA 合力研发

的新型反舰巡航导弹,该导弹装载先进的弹载传感器,具有较强的信息处理能力,能够利用主/被动对抗手段对敌人的防空系统实施突防,并且降低对数据链,全球定位系统,情报、侦查、监视系统提供信息的依赖,能够实现对敌目标的精确打击。2017年12月,美海军B-1B战略轰炸机试射两枚LRSAM反舰导弹并成功集中海上移动目标,标志着LRSAM系列导弹发展成熟。LRSAM具备超强的隐身性能,拥有特别的气动布局、隐身外形和有利速度;其射程可达930公里,远远超过美军现役反舰导弹;LRSAM能配备高达454公斤的侵彻战斗部,杀伤力巨大。LRASM反舰导弹还利用了目标识别算法区分目标,规避岛岸干扰,能够曲向机动至打击目标<sup>[6-7]</sup>。

### 2) “鱼叉”反舰导弹

“鱼叉”反舰导弹是美现役主要反舰装备,具备全天候、高亚音速巡航能力,自服役以来不断改进优化,坚持信息化改进策略,在复杂环境下对目标的处理能力较为优越。Block-2对鱼叉反舰导弹进行了改进<sup>[8]</sup>,采用主动雷达/红外线双寻标器,极大提升了突防能力,鱼叉Block-2装备高精度GPS/INS能够对停泊港内的舰艇及沿岸目标实施有效攻击,导引系统能够通过射控数据库中的海岸线地形或目标外型影像图结合导航及侦查信息进行数据过滤和修改搜索图,加之作战人员操控,大幅提升了导引精度,极大降低了地面干扰<sup>[9]</sup>,能够适应沿岸、岛礁、港口码头、船舶密集区域,对目标进行选择捕捉并实施打击。Block-3“捕鲸叉”采用新型双向数据链<sup>[10]</sup>,具备整体作战的能力,在飞行中能够根据探测到的数据实时更新目标信息选择更改目标或停止行动,极大增强了导弹作战的灵活性。

### 3) NSM精确制导导弹

NSM是挪威研制的具备优异对陆目标和近岸作战打击能力的中程反舰导弹<sup>[11]</sup>,挪威一直致力于将NMS导弹打造成一种全向、多任务、高精度的防区外发射武器。导弹在飞行阶段采用GPS、惯性与地形轮廓匹配技术结合的导航方式,具备三维空间及时间上的多路径点定义能力。导弹设计中采取被动工作方式,降低了雷达反相截面,通过预设目标区域途径点利用地形隐蔽飞行路线,实现精确导航。导弹采用双波段宽视野红外成像导引头,能在近岸、岛礁等复杂区域实现对目标精准探测,具备自动目标识别和瞄准点选择能力,能够较好的区分中立、敌方目标。导弹装备双通道数据链,具备重新瞄准目标、终止任务功能,并能在飞行过程中由地面人员实施强制控制。

### 4) 超音速反舰导弹

空射型“ASM-3”反舰导弹是日本研制的第一款超音速反舰导弹,导弹性能设计满足射程更远、速度更快的需求,在设计中采用先进隐身材料和流线形圆柱弹体,改进了导弹的隐身性能,同时提升了电子系统的抗干扰能力。ASM-3采用飞行中段惯性制导,末端主动+被动雷达寻的制导的复合制导方式,在飞行中段能够在基本不受外界干扰的情况下实

现自主导航,在末端飞行阶段,使用主动雷达寻的制导方式搜索、锁定、跟踪目标,并在干扰情况下转成被动制导方式通过不断更新目标信息,实现对舰船目标的打击。

### 5) 雄风系列反舰导弹

雄风系列反舰导弹分为1型、2型、3型三种信号,雄风1型反舰导弹对以色列迦伯列反舰导弹进行改进,重点装备台海海军导弹驱逐舰;雄风1型反舰导弹之后台湾当局仿照捕鲸叉导弹研发了雄风2型中程亚声速反舰导弹,采用红外成像与微波雷达复合制导方式,雄风2经过三次改进,第三种改进型Mk4在飞行中段采用惯性制导/GPS+惯导的制导方式,末端采取被动雷达或红外成像+数据链制导,能够较好的抑制多种干扰手段,实现对目标的准确识别、跟踪<sup>[12]</sup>。

## 2 智能化作战的发展

人工智能技术是研发用于模仿、延伸、开拓人类智能的理论、方法、技术及应用的一门新兴技术科学,是公认的最有可能改变未来世界的颠覆性技术。

自1956年首次提出“人工智能”概念,该学科迅速得到广泛关注并在图像处理、人脸识别、医疗、交通、自然语言处理等多个方面开展应用并取得显著成果<sup>[13]</sup>。

人工智能技术融合计算机科学、心理学、哲学、数学等多门学科,其研究目标是使机器能够完成部分需要人类智能的复杂工作。人工智能技术自五十年代发展至今,经历了起步、反思、应用、低迷、稳步、蓬勃发展期六个阶段,经历高潮与低谷,探索发展的道路起伏曲折,但始终保持着上升势头,整体技术水平不断提高。

目前,人工智能技术已覆盖人类生活的方方面面,无论在民用或军用层面都取得了突破性进展。人工智能技术推动着人类社会进入智能化时代,世界各国都在加紧发展人工智能技术以推动国家综合竞争力提升。未来人工智能技术将由专用向通用方向发展,通过多学科交叉渗透,打破技术发展瓶颈,争取不断地突破发展。

随着人工智能技术不断发展并成熟应用于军事领域,现代战争形态正在悄然发生改变。以人工智能技术为核心的智能化作战<sup>[14]</sup>形式已初见端倪。人工智能技术推进智能化战争形式的发展,新型战争形式主要体现在以下几个方面:一是作战力量的转变。作战力量是人、武器装备、作战方式的整体描述;随着人工智能技术的广泛应用,武器装备体系不再是机械被动的接收人的指令而能够做到自主能动地理解作战意图、执行作战任务,人在作战链路中的作用减弱,智能化装备成为战场主角;二是作战样式的转变。智能化战争更多的呈现出自主、机动、无人化等特点,能够结合武器装备、控制系统、作战平台、战场环境进行全向全域作战,实现人机协同、自主智能的新样式;三是指挥决策的转变。智能化作战系统突出智能化,利用人工智能技术进行人机协同决策,武器装备能够自主收集、传递、处理信息并作出决策,各

作战单元能够根据中心任务自主动态协同,提升作战效能。通过人机协同进行决策能够有效应对突发多变战场环境,确保决策的准确性和及时性,为作战行动赢得决策优势和战场主动权。

2007年,美国国防高级研究计划局(DARPA)发起了“深绿(Deep Green)”项目,主要目的是将仿真嵌入指挥控制系统优化指战员的决策水平和速度。2009至2014年,DARPA先后推动了多个人工智能相关项目,探究从多种类型的多源数据中自主识别、判断获取、提取特征、分析处理信息的相关技术。2020年CSBA发布的《马赛克战——利用人工智能和自主系统实施决策中心战》一文中将自主系统、无人系统、人工智能等因素融入传统作战单元,通过实施马赛克作战理念的决策中心战克敌制胜。

在未来智能化作战中,人工智能技术决定着指挥决策优势、作战行动优势乃至战争成败。将人工智能技术应用于武器装备发展、作战理念变革等军事领域,对掌握战争发展局势,赢得未来战场主动权具有重要意义。要抓住人工智能在军事领域的发展机遇,围绕开展人工智能技术在军事领域的应用主动作为、积极探索,抢占智能化战争发展先机,掌握未来战场主动权。

### 3 基于深度学习的反舰导弹智能化目标检测

复杂海战场环境下,反舰导弹担负着快速响应、精确打击重要作战使命。当前反舰导弹进攻面临复杂的自然环境及电磁环境干扰,使其作战效能的发挥受到严重威胁,在对目标的精细化选择上存在一定技术瓶颈,与遂行精确化打击的任务要求差距较大,目标识别方面存在缺口。在复杂战场环境下实现精确打击,要求反舰导弹必须具备战场感知能力,综合利用战场静态和动态信息实现对目标精准高效的检测与识别。

传统海上舰船目标检测识别方法存在图像获取难度大、设置特征困难,效率较低等问题且易受海洋环境、天气条件、海杂波等因素影响,对舰船目标的检测与识别存在一定的局限性,检测精度不高。

未来战争态势瞬息万变,舰船目标作为海上监测和打击的重点目标,能否快速准确地进行检测与识别,为指挥员提供决策支持掌握战场态势,直接关系到战争主动权的获取和战争全局成败。

随着人工智能技术的崛起,基于深度学习的目标检测与识别技术得到迅猛发展日渐成熟并广泛应用到车辆驾驶、医疗手术、人脸识别、机器人等领域,其对目标检测精度高、判读速度快,已覆盖社会生活的方方面面。2015年由微软研究院何凯明等4名华人提出的ResNet神经网络对目标的识别率为96.3%,达到了与人眼相媲美的水平。目标检测与识别逐渐成为各界关注的焦点并在图像处理领域发挥了重要作

用。二者的区别在于目标检测要确定图像中某区域是否含有要识别的目标,如图1所示,要能够输出目标的类别、大小、位置信息和置信度,而识别是网络对目标类别的判读能力,即目标检测=目标识别+定位<sup>[15]</sup>。



图1 基于深度学习的目标检测与识别

基于深度学习的目标检测技术对目标的识别精度高判读速度快,能够较好适应复杂战场环境。针对可见光图像受风力、温度等自然环境及干扰影响较小,对低空、超低空目标识别精度较高的特点,分析舰船可见光图像的目标检测技术并应用于反舰导弹末制导环节具有较强的抗干扰能力,能够实现精准高效的目标检测与识别,可以辅助或代替其他制导方式,符合多功能导引头作用机理,能够提升复杂战场环境下对舰船目标的检测与识别精度,更好地发挥反舰导弹作战效能,符合现代高技术战争发展趋势和武器装备发展需求,对发展未来智能化海战,抢占战场主动权具有重要意义。

#### 3.1 实现背景下舰船目标的精准检测与识别

复杂海战场环境实现反舰导弹精确化打击,保证不打错、打得准,在近岸、岛礁等复杂背景中,各类军船、民船多项分布的情况下要能够精细区分判定打击目标,要求对不同类别的船只目标作出精细区分。船舶技术的快速发展,现代船舶种类繁多,分类方式也各有不同。维基百科中把舰船类别分为16类:护卫舰、航空母舰/舰队航空母舰、潜艇/潜舰、驱逐舰、两栖战舰、战舰、巡防舰、巡洋舰、导弹快艇、鱼雷快艇、巡逻舰、扫雷舰、登陆舰、补给舰、近岸战斗舰<sup>[16]</sup>。百度百科根据不同的舰艇航行状态把战斗舰艇分为水下战斗舰艇、水面战斗舰艇,水面战斗舰艇按基本任务分为航空母舰、巡洋舰、战列舰、驱逐舰、导弹艇、布雷艇等,水下战斗舰艇即潜艇分为常规动力和核动力潜艇<sup>[17]</sup>。民用船舶又分为客船、货船、渔船、帆船、气垫船、拖船、破冰船等等。

传统的舰船目标检测方法受海面环境、天气条件、电磁干扰等因素影响,对舰船检测精度不高,且传统方法通过人工特征提取,即人工设计重构原图像,但由于图像中待检测目标类别不定,并且受环境影响,增大了设计通用性、鲁棒性难度,影响结果准确度,在多目标分布的复杂环境中难以精细区分各类船舶,无法满足精确打击的作战要求。

2015年Girshick等提出了Faster R-CNN目标检测网络,属于二阶目标检测算法。

Faster R-CNN网络是在R-CNN、Fast R-CNN网络的基础上发展来的检测性能较为优越,使用区域生成网络(Region Proposal Networks, RPN)代替了原有的Selective Search(SS)



算法,整个网络模型可以分为区域生成网络(RPN)和 Fast R-CNN 检测网络 2 个模块,主要结构如图 2 所示。

2017 年何凯明等提出了 Mask R-CNN 网络<sup>[18]</sup>。Mask R-CNN 网络的设计十分精炼,在 Faster R-CNN 检测效果很好的前提下,加上物体掩膜(object mask)的分支,即由原来的分类与回归成为分类+回归+分割 3 个任务。在 Faster R-CNN

网络基础上增加全卷积网络 FCN(Fully Convolutional Network)和 RoI Align 将掩膜(mask)预测和分类预测区分分为网络中的 2 个分支,在训练网络时只需增加一个较小的开销,就可以实现像素级别图像的实例分割并生成分隔掩码,将感兴趣区域精准的从图像中提取出来,实现对图像高质量的分割效果。Mask R-CNN 网络结构如图 3 所示。

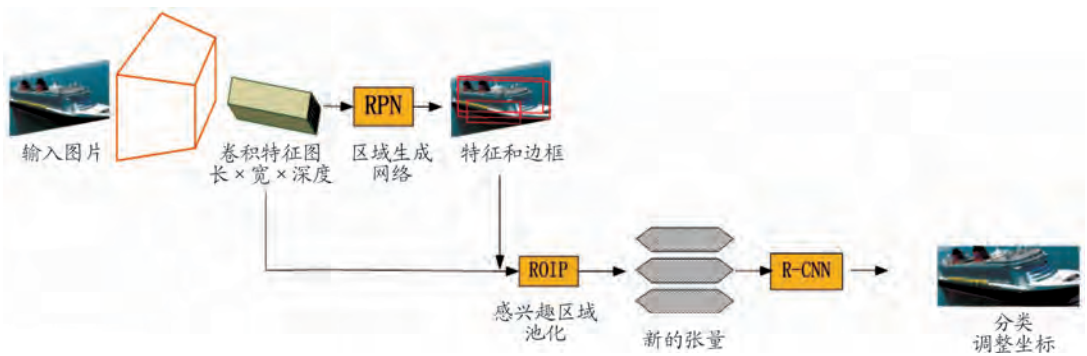


图 2 Faster R-CNN 网络模块主要结构示意图

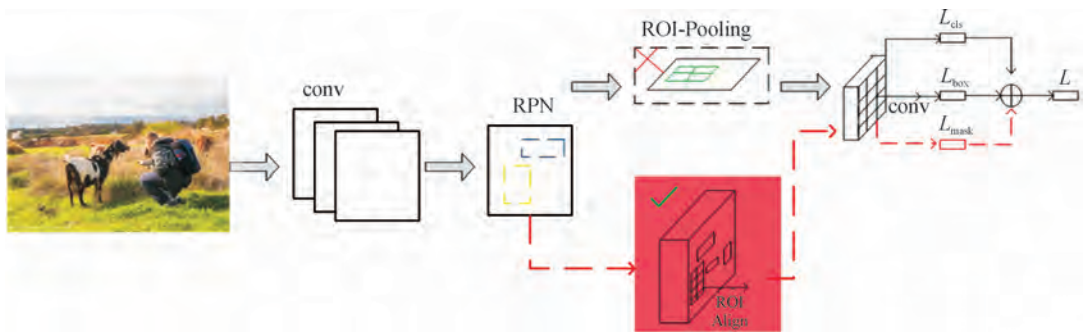


图 3 Mask R-CNN 网络结构示意图

图像检测技术的发展主要经历 4 个阶段,如图 4 所示。Mask R-CNN 网络能够实现图像的实例分割,实现图像中区分表示同一类目标的不同个体,能较好的排除背景因素影响,为后续进一步图像处理及信息理解奠定良好基础。

区域提取出来,对复杂自然环境下背景的抑制及多目标的检测识别能达到较好的实际效果,如图 5 所示。将 Mask R-CNN 目标检测网络应用于反舰导弹对舰船目标的检测与识别环节,能够达到精细区分判定各类船只目标的目的,且受复杂背景条件及电磁环境影响较小,能够为实现反舰导弹在复杂自然环境中的目标检测与识别提供可行技术途径。

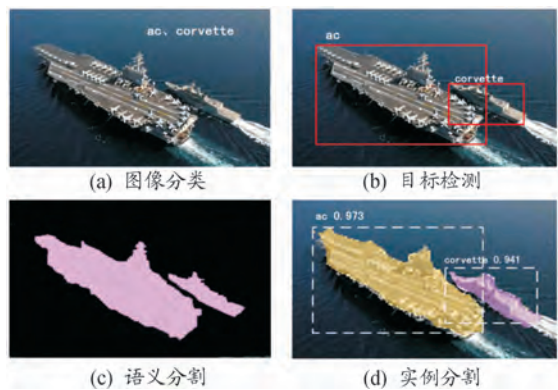


图 4 图像检测的发展及分支示意图

鉴于 Mask R-CNN 网络不仅能够实现 Faster R-CNN 网络对目标的精准检测还能够通过图像分割很好的将感兴趣

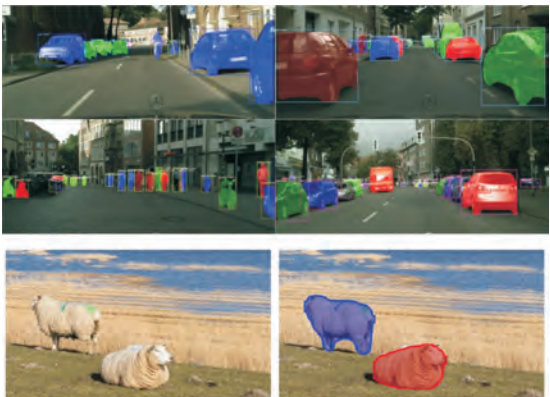


图 5 MaskR-CNN 分割实际效果图

3.2 遮蔽干扰情况下的目标检测与识别

海洋环境复杂多变,在海上舰船密集区域、岛礁、岛岸建筑以及云雾、烟幕干扰等因素影响下都会对舰船产生一定程度的遮挡,如图6。在多样复杂的遮挡情况中实现对海上舰船的目标检测与识别,尽量降低遮挡干扰对目标检测识别的影响实现对作战区域目标的准确高效的判读,对掌握整体战场态势具有重要意义。



图6 部分舰船受遮挡、重叠情况

传统的舰船目标检测方法受自然环境影响较大尤其是在遮挡、重叠干扰情况下难以发挥作用。

基于深度学习的舰船目标检测算法在针对两类遮挡情况进行优化改进:一是待检测目标间的互相遮挡,分为类间遮挡和类内遮挡;二是待检测目标与干扰物间的遮挡,在YOLOv4网络中对遮挡目标得到了较好的检测效果。YOLOv4网络属于一阶目标检测网络,网络结构如图7。不再生成候选区域而是对整幅图像进行预测并在同一个卷积神经网络中实现特征提取、目标分类和回归,将目标检测过程简化为一个端到端的回归问题<sup>[19]</sup>。

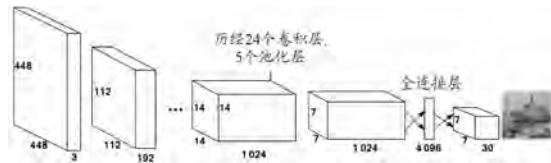


图7 YOLO网络结构示意图

YOLOv4网络是在YOLOv3网络基础上创新发展起来的,YOLOv3网络属于一阶目标监测网络中非常经典的网络,包含Darknet-53网络结构、anchor锚、FPN等结构,并用Logistic取代了Softmax函数,使其在对象分类中可以支持多标签对象检测。YOLOv4相比YOLOv3新增了CSP、PAN结构,包括CBM、Conv + Bn + Leaky\_relu、CBL、Res unit、CSPX、SPP五个基本组件,算法结合多项最新研究成果并进行大量创新,对YOLOv3的各部分都进行了改进优化,在COCO数据集中相同FPS情况下,AP值相比YOLOv3提升了10%左右。

经过改进的YOLOv4网络使用了马赛克数据增强的图像处理方式能够较好的适应图像的平移、伸缩等变化;通过三种大小的不同感受野提升了对小目标图像的处理能力;并使用CIoU\_loss目标框回归函数考虑到目标框的中心点距离、长宽比、重叠面积问题能够更准确的生成预测框,提升了对重叠目标的检测能力。

各算法性能见图8。

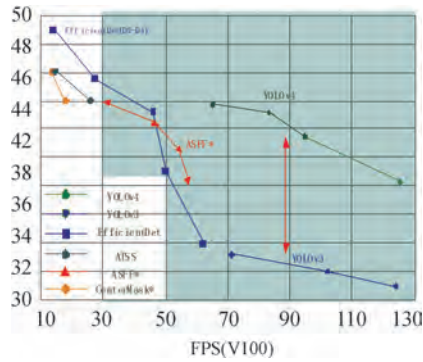


图8 算法性能曲线

COCO数据集包含80个类别,超过33万张图片,主要以场景理解为目标,图像来源于日常复杂场景,主要解决目标检测、目标间的上下文关系,二维空间目标精确定位问题。

YOLOv4网络经过优化改进在对遮挡目标及小目标的检测方面显示出优异的性能,如图9所示。将YOLOv4网络应用于反舰导弹在舰船目标遮挡、重叠情况下的检测与识别,相比传统检测识别方法能够更高效准确的判读目标,且YOLOv4网络检测速度快,基本能够达到实时要求,能够更好的适应战场环境,为作战行动争取更多指挥决策时间。



图9 YOLOv4网络检测效果图

面对复杂战场环境和作战范围的逐步扩大,当前反舰导弹末端制导方式采用微波、毫米波、合成孔径雷达、红外等多种技术形成单一及复合制导方式,但这些制导方式仍受电磁

环境及自然环境干扰,无法满足对目标精准高效的检测与识别。基于深度学习的目标检测与识别技术对目标识别精度高、速度快,受环境影响小,抗干扰能力强,将基于深度学习的目标检测算法应用反舰导弹末端制导环节,通过人工智能技术与红外、可见光、雷达等实现复合制导,符合多功能导引头作用机理,在低空、超低空能够发挥优异性能,能够有效规避干扰精细区分军船、民船等相近目标以及相邻目标,进一步提升复杂背景下反舰导弹目标检测与识别精度,在有限载荷情况下对目标实施“外科手术式”打击,提升导弹作战效能,减少错伤误伤带来的舆论压力并发挥决策的威慑作用,将精确打击发挥到极致,满足未来作战精准打击、高效毁伤要求。

## 4 结论

本文针对反舰导弹在作战过程中环境特点做了综述总结,分析反舰导弹在实现精确打击方面存在的现实问题,介绍了利用基于深度学习的目标检测算法 Mask R-CNN、YOLOv4,在对目标检测的优异特性以及将其应用于解决反舰导弹在复杂自然环境及存在遮挡、重叠等干扰情况下,实现精细化目标检测与识别的解决办法;分析了该方法的适用性和可行性,为研究解决反舰导弹在目标检测与识别方面存在的现实问题提供了解决方法和理论支撑。

## 参考文献:

- [1] 悠苾,译.反舰导弹面临的新问题[J].飞航导弹,2001(9):1-4.
- [2] JEREMY R. Launch vehicle trajectory optimization using a Legendre pseudospectral method[J]. AIAA-2003-5640.
- [3] 姜宁.舰载电子战系统[M].大连:大连舰艇学院出版社,2002.
- [4] 张林,龙飞.外军舰载舷外有源诱饵技术现状研究[J].海军大连舰艇学院学报,2010(1):114-1116.
- [5] JOER G, TIM S. U. S. Navy operations in littoral waters: 2000 and beyond[J]. Naval War College Review, 1998, 51(2):20-30.
- [6] 凤龙.高速与隐身——从 LRASM 看反舰导弹发展[J].舰载武器,2013(3):80-86.
- [7] 吴勤.“航母杀手”来袭——美国新型远程反舰导弹取得重要进展[J].军事文摘,2014(1):27-29.
- [8] 丛敏.译.反舰导弹将用于海岸和对陆攻击任务[J].飞航导弹,1994(4):1-7.
- [9] 臧晓京,蒋琪.法国第三代飞鱼导弹[J].飞航导弹,2003(8):27-32.
- [10] 刘桐林.美国反舰导弹设计思想初探[J].飞航导弹,2004(7):18-26.
- [11] 姜浩,丛语.挪威 NSM、JSM 新型反舰导弹[J].兵工科技,2013(10):32-37.
- [12] 卞立新,罗兴柏,赵英峻,等.典型反舰导弹现状及发展趋势研究.导弹大观,2017(10).
- [13] 吕伟,钟臻怡,张伟.人工智能技术综述[J].上海电气技术,2018,11(1):62-64.
- [14] 王莉.人工智能在军事领域的渗透与应用思考[J].科技导报,2007,35(15):15-19.
- [15] HE K, ZHANG X, REN S, et al. Deep residual learning for image recognition[J]. arXiv:1512.03385, 2015.
- [16] 维基百科.军舰[S]. <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%86%9B%E8%88%B0>. 2017. 1.
- [17] 百度百科.舰艇[S]. <http://baike.baidu.com/item/%E8%88%B0%E8%89%87?fr=aladd-in>. 2015. 11.
- [18] HE K, GKIOXARI G, DOLLÁR P, et al. Mask R-CNN [C]//IEEE International Conference on Computer Vision. IEEE, 2017:2980-2988.
- [19] 周晓彦,王珂,李凌燕.基于深度学习的目标检测算法综述[J].电子测量技术,2017,40(11):89-93.

(责任编辑 周江川)