

DOI: 10.12132/ISSN.1673-5048.2018.0100

# 精确制导自动目标识别智能化的挑战与思考

范晋祥<sup>1</sup>, 刘 嘉<sup>2</sup>

(1. 上海机电工程研究所, 上海 201109; 2. 北方自动控制技术研究所, 太原 030006)

**摘 要:** 精确制导系统是利用弹载精确探测装置在复杂战场环境中发现、识别和跟踪目标, 利用惯性技术和/或信息支援保障获取弹体自身和所要打击的各种目标的位置和运动信息, 控制和导引制导武器准确命中目标的系统。自 20 世纪 70 年代正式提出精确制导概念以来, 经过 40 多年的发展, 精确制导系统和技术的发展取得了巨大的进步和成就, 精确制导武器在现代高技术战争中的作用和地位也在持续提高。随着精确制导系统面临的战场环境的复杂化和目标特性的不确定性程度的提高, 精确制导系统与技术的发展也面临着越来越大的挑战。弹载自动目标识别技术是使导弹适应复杂多变的战场环境和激烈博弈的对抗条件下精确打击各类目标的关键技术之一, 也是精确制导技术领域长期以来重点研究的一个方向, 但由于复杂战场环境下的自动目标识别、决策要求智能程度较高, 尽管几十年来一直在努力通过提升自动目标识别的智能化水平, 来使精确制导系统在复杂战场环境和宽范围变化的目标特性条件下具有稳健的性能, 弹载自动目标识别问题仍然没有得到很好的解决。本文介绍了精确制导自动目标识别智能化的发展进程, 分析了当前精确制导自动目标识别智能化所面临的挑战, 对精确制导自动目标识别智能化的发展给出了一些粗浅的看法。

**关键词:** 精确制导; 红外成像制导; 多模复合制导; 复杂战场环境; 自动目标识别; 人工智能; 机器学习

**中图分类号:** TJ765.3; V249 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-5048(2019)01-0030-09

## 0 引 言

作为现代战争中最重要的一类武器, 精确制导武器自问世以来, 在美军主要参战的几次局部战争中使用的比例越来越高, 发挥的作用也越来越大。但随着现代战争作战方式和作战环境复杂性、变化性的提高, 尤其是对付各类精确制导武器的各种对抗手段的发展, 精确制导系统也面临着日益严峻的挑战, 对精确制导武器的攻击距离和作战使用方式等都有了更高的要求, 如使红外制导的空空导弹具有更远的射程, 能够在复杂的作战对抗环境下实现发射后锁定, 这就需要红外导

引头能够在导弹发射后自主截获锁定目标, 能够在复杂的战场对抗环境中识别出所要拦截的目标。

精确制导自动目标识别, 基于弹载传感器获得的信息, 或者综合利用弹载传感器和导弹接收的外部信息及目标特征数据库, 通过弹上计算机信息处理(自动目标识别)算法, 在各种作战使用环境下探测感兴趣的敌方目标并完成分类、识别, 对于导弹武器在复杂多变的战场环境和激烈博弈的对抗条件下精确打击各类目标具有重要意义。

本文介绍了精确制导自动目标识别智能化的现状, 分析了精确制导自动目标识别智能化所面临的挑战, 对精确制导系统智能化的发展进行了

收稿日期: 2018-03-24

作者简介: 范晋祥(1966-), 男, 上海人, 研究员, 研究方向为红外系统与应用技术。

引用格式: 范晋祥, 刘嘉. 精确制导自动目标识别智能化的挑战与思考[J]. 航空兵器, 2019, 26(1): 30-38.

Fan Jinxiang, Liu Jia. Challenges and Thinking for the Precision Guidance ATR Intelligentization [J]. Aero Weaponry, 2019, 26(1): 30-38. (in Chinese)

粗浅的思考。

1 精确制导系统智能化的发展进程与现状

1.1 精确制导自动目标识别智能化的发展进程

自动目标识别技术的发展最早可追溯到 20 世纪 60 年代末,经历了近 50 年的发展历程,提出了多种多样的自动目标识别算法。纵观自动目标识别领域的发展,始终在致力于提高自动目标识别系统的自适应和学习能力。早期的系统以统计模式识别为主,其后发展了基于模型的视觉和基于知识的系统,又将人工神经网络、支持向量机及深度学习等技术应用于自动目标识别领域,自动目标识别技术的主要发展历程如图 1 所示。

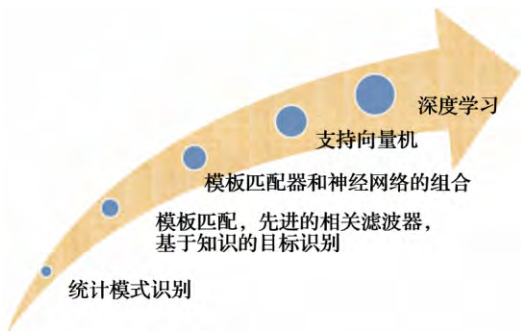


图 1 自动目标识别技术的发展历程  
Fig.1 Development course of automatic target recognition technology

(1) 早期的发展: 试图采用基于特征的统计模式识别解决自动目标识别问题

早在 20 世纪 70 年代,美国就开始针对机载光电火控系统及红外成像制导导弹等应用发展自动目标识别技术,期望采用图像处理和基于特征的统计模式识别技术来解决目标识别问题。基于特征的方法假设源于不同类别目标的特征在多维特征空间的一个可分离的区域,而源于相同的类的特征聚集在一起,并通过设计特征提取算法和分类器实现目标类别的识别。基于特征的方法是一种自上而下的方法,它试图获取目标的多方位的变化,并采用特征的形式来表示,这些特征被用于产生一个训练的分类器。这种方法的实际识别结果远未达到期望的要求,稳健性较差,低杂波中的检测概率不超过 70%,虚警率较高。主要问题包括: 仅利用目标探测传感器的信息; 红外成像传感器和信息处理机硬件的约束; 测试集非常有限; 对红外图像的变化性了解不足; 没有利用所有可利用的数据。仅有有限的知识,几乎没有从动态的环境学习并适应于它的智能和推理能力,难以应对在扩展的运行使用条件下的目标特征变化所带来

的“组合爆炸”问题,当面临的特征与在离线训练阶段所使用的特征有明显的变化时就无能为力。

为此,提出了如表 1 所示的解决方案和技术途径,期望通过嵌入人工智能来显著提高系统性能。

表 1 基于统计模式目标识别的解决方案和技术途径  
Table 1 Solutions and technical approaches for target recognition based on statistical pattern

问题	解决方案	技术途径
局部化的分割	利用图像的全局性	全局性的分割
固化的算法	自适应算法选择	基于知识的控制
主要是基于图像的	利用所有的图像数据	结构、统计和空间特征
有限的处理环境	先进的硬件	并行处理器
数据驱动	利用模型驱动等各种机会	基于模型的黑板系统
单帧/有限帧处理	利用场景历史	通过多帧处理进行时间推理
单传感器	多传感器	智能化传感器管理

(2) 20 世纪 80 年代: 尝试将人工智能应用于自动目标识别领域

a. 基于知识的自动目标识别

鉴于第一代自动目标识别系统存在的诸多问题,20 世纪 80 年代,开始探讨将人工智能应用于自动目标识别领域,提出了基于知识的自动目标识别,试图用简单的推理规则描述在实践中逐步积累的知识和经验,在人工智能框架中利用上下文信息、语义信息和问题领域的知识来提高自动目标识别系统的性能。主要问题包括: 难以从传感器中抽取必要的信息以支持推理; 难以获取、表示和发掘利用先验知识(如地形数据); 缺乏适用于自动目标识别的总体性的知识表示结构; 基于规则的人工智能系统对具体的假设和环境非常敏感,速度较慢,几乎没有学习能力。

b. 基于模型的自动目标识别方法

20 世纪 80 年代中期提出了基于模型的自动目标识别方法。与基于特征的方法不同,基于模型的方法以自下而上的方式处理识别问题,通过在设计中加入先验知识来应对基于特征的方法所遇到的主要挑战。基于模型的算法要构建一个用于感兴趣的场景的目标模型库,这种方法首先从输入的前视红外或合成孔径雷达图像提取特征,然后,将所提取的特征与在飞行中根据预设计的感兴趣目标模型和传感器模型推导出的特征假设进行比较,直到达到具有一定的置信度水平的匹配。

基于模型的方法则将知识嵌入在设计中,使它更加灵活,且能够应对各种运行使用条件。然

而,应当注意到,这一能力取决于目标模型设计的通用性,这是一个主要的挑战。此外,还有一个主要的挑战是所涉及的设计复杂性和计算复杂性。

#### c. 基于模板匹配的自动目标识别方法

20 世纪 80 年代中期,提出将算法分为两级:感兴趣区域提取和目标识别。先依据一定的准则提取感兴趣区域,然后采用模板匹配器将感兴趣区域与存储的目标模板进行比较,把与目标模板最接近的感兴趣区域分类为目标。与基于统计模式识别的目标识别系统相比,性能显著提高,在低到中等杂波条件下,检测概率提高到 80%,分类和识别性能也明显提高。

#### d. 人工神经网络在自动目标识别中的应用

由于基于知识的和基于模型的自动目标识别方法的表现仍不尽如人意,同时人工神经网络研究再度兴起并掀起了新的热潮,20 世纪 80 年代末期,开始探索采用神经网络方法来解决自动目标识别问题,期望提高识别速度和适应于目标和环境变化的能力,为自动目标识别算法提供人工神经网络所固有的学习能力。主要问题:容易陷入局部最优;由于自动目标识别领域的复杂性,常规的神经网络不能在有限样本情况下,对目标的所有姿态和各种背景条件下给出所期望的性能。

#### (3) 20 世纪 90 年代:支持向量机(SVM)在自动目标识别中的应用

20 世纪 90 年代以来,支持向量机作为一种有坚实理论基础的新颖的小样本学习方法,得到快速发展,用于解决人工神经网络的“维数灾难问题”和 Bayes 网络中“网络规模爆炸问题”,成为模式识别和统计机器学习领域的研究热点,并在自动目标识别等领域得到应用。支持向量机方法可以对线性可分的不同类型进行分类,当类别划分的界限明显时能够得到很好的性能。主要不足:对大规模训练样本难以实施 SVM 算法;解决多分类问题存在困难;寻求合适的核函数相对困难;当数据集具有更多的噪声时,亦即目标类是交叠时,得不到很好的性能。

#### (4) 深度学习的兴起及其在自动目标识别领域的应用

2006 年提出的深层神经网络学习算法,使人工神经网络东山再起,对深度学习网络的兴趣迅速爆发,深度学习在图像识别等领域也获得了成功的应用,在计算机视觉问题上表现出卓越的性能,并成为解决自动目标识别问题的一种有效途径。

由于军事应用的特殊性,难以得到大量的训练数据供基于红外的目标识别学习。为了应对红外目标和场景的宽泛变化性,自动目标识别研究者评估了深度卷积神经网络算法对于红外目标分类问题的适用性,有研究者提出在深度学习中,采用迁移学习或合成红外图像生成器来解决红外数据库规模较小的问题,在卷积神经网络训练和测试期间采用降低红外变化性的模块来解决红外图像的大的变化性的问题。

总体来看,尽管几十年来人们发展了多种多样的自动目标识别算法,自动目标识别主要有三大技术路线:

##### (1) 基于特征识别的技术路线

从物理空间提取、选择目标的特征形成在特征空间的特征向量,通过分类器实现目标类别的识别。

##### (2) 基于模板识别的技术路线

事先存储目标在“各种条件”下的模板图像,通过计算待识别的图像与模板图像之间的相似性实现目标类别的识别。

##### (3) 基于模型的技术路线

采用目标的物理模型、传感器模型及目标红外辐射或电磁散射计算模型等,实时或近实时预测目标在任意姿态、配置或观测几何条件下的图像或特征,将实际传感器实测的数据与模型计算结果进行匹配,通过评估匹配关系的强弱来完成目标的分类或确认。也有文献将基于特征识别和基于模板识别的技术路线统称为基于模板识别的技术路线。

#### 1.2 精确制导自动目标识别智能化的应用现状

目前,精确制导系统主要通过自动目标识别算法对红外成像传感器、激光雷达、毫米波雷达和合成孔径雷达所获取的目标及其周围场景的图像信息进行分析、判断来识别目标。某些空地导弹、巡航导弹已经成功应用了红外图像自动目标识别技术,基于射频雷达、激光雷达的自动目标识别技术也取得了很大的进展。随着弹载探测传感器分辨率的不断提高以及多波段/多光谱及多模复合弹载探测传感器的发展,导引头可以提供多波段/多光谱的目标特征,获取信息能力持续增强,还针对多模复合导引头发展了基于多传感器融合的自动目标识别技术,以实现目标高灵敏度的探测和高精度的识别、跟踪。随着导弹武器的信息化,以及网络化信息交联能力的提高,精确制导系统将在导弹本身获取目标信息的基础上,充分利用信

息化、网络化协同作战系统提供的信息,通过弹上计算机信息处理(自动目标识别)算法,实现对目标的智能选择与识别,有望具备更强的抗干扰/抗欺骗/诱饵识别能力。

目前,自动目标识别在精确制导空地导弹的自动目标截获的典型应用如下:

AGM-84H/K SLAM-ER ATA 系统,为驾驶员提供实时目标引导,帮助确定希望的目标瞄准点,采用模板匹配算法将导弹红外导引头实时获取的图像与在任务规划时存储在导弹上的基准图进行比较,从目标场景中自动确定预先规划的瞄准点。

AGM-158A JASSM 导弹的红外成像导引头采用自动目标识别算法,每枚导弹中存储八种不同目标的模板(三维模型)。已经部署了新的联合任务规划系统和精确瞄准模块(PTM),PTM 可将三维目标图像转换为用于导弹的红外成像导引头的数字数据(模板)。

AGM-154C(JSOW-C) 导弹也采用自动目标截获(ATA)技术。

自动目标识别技术在多模复合精确制导导弹的典型应用是美国的 LRASM 反舰导弹。LRASM 反舰导弹综合采用弹载主动雷达、红外成像和被动射频传感器的数据或来自飞机或舰艇的雷达图像,首先利用被动射频传感器的数据识别并跟踪舰船目标,然后在其弹载雷达得到雷达回波信号后,将回波信号与存储的目标三维模型集进行匹配,以识别敌方的舰艇,在到达红外传感器有效距离后,可综合雷达和红外图像数据提取目标的薄弱部位作为瞄准点进行攻击。



图2 采用自动目标识别技术的 LRASM 反舰导弹

Fig. 2 LRASM anti-ship missile with automatic target recognition technology

## 2 精确制导自动目标识别智能化所面临的挑战

人工智能和机器学习在过去的十几年发展迅速,尤其是在过去的五年中,由于在计算能力和机

器学习方面的指数型的增长,人工智能的发展显著加速,由于能得到和接入大的数据集,通过云计算和高性能计算,实现了机器学习、计算机视觉和深度神经网络的迅速发展。例如,基于标引的大规模数据集上采用卷积神经网络的深度学习,在视频跟踪和人工驾驶等方面取得了显著的进步。然而,人工智能和机器学习技术在精确制导系统等军事应用上还未取得显著进步。精确制导系统智能化,尤其是自动目标识别的智能化,是以美国为代表的军事强国 40 年前就期望实现的目标,但在大多数导弹系统中并没有达到预定目标。这是因为目前的人工智能和机器学习技术还不适于强杂波的、拥挤的、复杂的、快速变化的军事应用场景,而且精确制导自动目标识别智能化还面临着其他困难和挑战。

### 2.1 作战环境和电子/光电干扰环境越来越恶劣,复杂干扰严重制约目标识别和抗干扰能力

由于受众多因素(目标结构、目标/传感器截获参数(如方位角、俯仰角、倾斜角)、目标/杂波交互作用(如被植被遮掩、伪装))的影响,在作战条件下,目标的变化性呈现出组合爆炸。目标可以全方位地出现,且在不同的谱段、不同的环境和作战条件下有不同的特征;伪装、隐蔽、欺骗(诱饵)显著增加了目标的维度空间。

因此,未来精确制导导弹的作战环境是复杂的,且不可预测,要解决复杂作战环境下的目标识别和抗干扰问题,需要能有效处理具有较少样本、数据有噪声的数据集,并运行包括大量的“杂波”环境中的新的人工智能和机器学习方法。这些数据难以提前获取和处理,且数据有多种类型。在这一环境中,某些事件和信息流可能是自然的,可以预计的,另一些则是欺骗性的,有敌意的,当应对复杂的和近对等的对手时,拥挤的和欺骗的环境将尤其具有挑战性,这就要求人工智能和机器学习方法不仅是稳健且弹性的,而且还能对各种情况的不确定性进行推测、推理。

### 2.2 弹载目标探测传感器与弹载计算机能力的限制

由于重量、体积、功耗等约束,弹载目标探测传感器的孔径、红外焦平面阵列的规格、多光谱传感器的谱段数、微波/毫米波发射机的功率等都受到局限。

以红外成像传感器为例,尽管红外焦平面探测器技术快速发展,红外成像传感器的性能显著提高,单色红外成像传感器的性能已接近物理极



限。然而,随着红外成像传感器技术的改进,人们认识到背景杂波、植被等造成的高虚警数,地形和植被等造成的遮掩,被动体制难以精确估计目标距离,目标特性的变化性、模糊性等因素都会影响到自动目标识别的性能。这些限制促使人们考虑采用诸如毫米波雷达、合成孔径雷达、激光雷达和可见光光电传感器。

试验表明,采用两个或者更多的传感器可以显著提高精确制导导弹的整体性能。采用多波段/多光谱传感器、三维激光雷达及多模复合传感器,可以提供更多维度的目标特征,实现对目标的可靠探测和高准确度识别。利用多个传感器获取用于目标检测和识别的数据是显著提高自动目标识别性能的主要途径,检测和识别目标可以并发地利用多传感器,对数据进行融合可以利用光谱和几何差异等来实现可靠决策。在多传感器融合目标识别方面还有许多问题,如来自多传感器非同时数据的相关,以及出现相互冲突的报告时,如何确定对目标的正确分类。

弹载计算机的处理能力也受到很大的限制,弹载自动目标识别系统的运行使用环境是复杂的、动态的,且有很大的不可预测性,这与很大程度上依赖于大的和稳定的训练数据和相对静态的运行使用环境,且能接入巨大的计算资源的商用人工智能和机器学习不同。弹载应用场合不大可能、甚至无法接入强大的云计算设施。

### 2.3 自动目标识别的多学科性

自动目标识别系统涉及到目标和背景特性、目标探测传感器、处理算法、实时目标识别处理机硬件体系结构等多种技术和学科领域。在实现中,目标所处自然环境和电磁环境的复杂性,极大地增加了自动识别的困难;自动目标识别系统实现中采用复杂的算法与技术,使其工作机制愈加复杂;自动目标识别系统的重量、体积、功耗受限,实时实现必须有小型化的实时图像信息处理器芯片等硬件的支撑。

### 2.4 数据的充分性、有效性难以保证

精确制导自动目标识别的智能化离不开利用弹载传感器获得的信息和导弹接收的天基、空基或地面控制站的信息及目标特征数据库,所谓智能化就是利用所获得的数据自动做出决策。一般认为,系统之所以做不出正确决策,是因为所提供的信息不够或不准确,数据的充分性、有效性将直接影响着智能化精确制导系统的性能。

#### (1) 弹载传感器获得信息的局限性

由于弹载应用对重量、体积、功耗等的约束,弹载传感器的孔径、采用的红外焦平面阵列的规格、多光谱传感器的谱段数、微波/毫米波发射机的功率等都受到限制,因此传感器的空间分辨率等有限,难以在所要求的识别距离上提供足够多的信息,给导引头的自主目标识别能力带来了很大的挑战。

#### (2) 训练数据集的有限性

在具有变化的环境条件的多种场景中,为了开发出从二维的、可能并不理想的红外图像中探测、分类和识别三维物体的稳健的自动目标识别算法,必须要有足够多的、能够代表各种战场场景和目标特性的图像数据库,并对自动目标识别系统进行评估、训练、优化,而且还需要有效解决构建具有充分代表性的图像数据库和开发自动目标识别系统的时间与成本限制之间的矛盾问题。

当前人工智能和机器学习的许多成功算法都需要大量的数据来训练,如 AlexNet 使用深度卷积神经网络将 120 万个高分辨率图像分为 1 000 个不同的类。在军事应用情境下,很少能得到这样巨大的数据集,即便有大量采集数据,它们经常不是标注的,因此,不适于依靠监督学习范式的训练算法。因为,采用监督学习,必须为学习算法提供属于已知的类的例子,然后由算法训练标注的例子。当提供的是稀疏的、不完全的数据集时,许多算法(如采用深度学习的卷积神经网络)得不到良好性能,不适于支持军事运用场景应用。

#### (3) 战场环境的复杂化、目标特性的不确定性和博弈的对抗条件导致信息的不完全性

在弹载目标识别场合,敌方可能试图采用主动对抗措施来挫败目标识别,目标列表经常是与任务使命相关的,不一定是一个封闭的集合,而且可能每天都会有变化,很难获得足够完备的训练和测试数据集。有关特定类型的目标的数据是稀少的或者不存在的,而且训练数据可能并不代表战场条件。

在实际作战中,由于复杂多变的战场环境、不确定的目标特性和激烈博弈的对抗条件,几乎无法得到“足够”的数据,精确制导系统难以作出在不完全信息条件下的决策。自动目标识别系统将会遇到目标特征的不可重复性、复杂多变的杂波背景环境、目标遮掩、低对比度(对某些传感器)、远距离(低分辨率)、证据冲突、存在伪装、遮掩与干扰、欺骗以及外界场景的多变性(不同的地理区域、战场条件和气象条件)等问题的困扰。

## 2.5 现有的人工智能和机器学习算法的局限性

现有的许多商用人工智能和机器学习算法的一个重要限制,是它们对训练数据集的“批处理”。采用批处理时,需要一次得到所有的训练数据,使学习算法能构建一个可运行在实际应用场景中的模型,它们实现学习方法的主要途径是基于神经网络,进行训练需要在使用前对几百万个参数和数据点进行优化,这一训练过程需要云基础设施以存储巨量的数据。当不能得到大量的数据或云服务时,需要现场学习,训练深度网络是棘手的。于是,问题变成了怎样设计可以稳定地在线学习,并在仅几十到几百个数据点之后良好地工作的学习方法,而且在观测数变得非常大时达到深度学习的目标。

最近,许多成功的机器学习算法是基于有监督的学习,对此,需要能完全表征所训练智能体的所有运行使用场景的样例训练数据。但对于与精确制导导弹应用相关的作战使用,这样大数量和高质量的训练数据,对于与精确制导导弹应用相关的作战使用通常是不现实的。在有监督的学习系统中,为学习体提供正确的答案或者对数据集集中的每个样例输入正确的标注,即将一个输入集  $X$  映射到一个输出集  $Y$  中。在理想情况下,机器学习的军事应用不仅依赖于有监督的方法,还应当采用新的半监督或无监督的方法。然而,目前最先进的无监督学习方法对于应对与军事相关的场景时不够稳健。为了实施人工智能和机器学习,需要研究开发对噪声不太敏感,并能采用稀疏标注或者完全没有标注的数据集,有效、准确地推广新的半监督和无监督的学习算法。

## 2.6 自动目标识别缺乏理论支撑

由于缺乏科学理论的支撑,没有建立信息论测度来确定自动目标识别系统的性能上界,难以理解和预测自动目标识别系统的性能。

尚不能对目标和杂波等图像场景内容进行有效的数学描述,没有建立图像场景的物理模型与采用某种处理能提取什么信息之间的定量关系,没有建立可量化自动目标识别系统的目标特性模型或场景描述,对红外图像中杂波的理解和量化是多年来一直未能解决的难题。

由于缺乏杂波和场景难度测度,以及算法概念的宽泛变化性,建模问题很难解决。

对单传感器目标识别算法的改进和对多传感器目标识别系统中传感器的选择和融合方法的研究与改进目前还主要是基于直觉和试错方式。

## 3 对精确制导自动目标识别智能化发展的几点看法

### 3.1 单一技术途径难以解决自动目标识别难题,必须走系统综合、技术融合的路线

自动目标识别几十年的发展历程表明,没有一种单独的技术途径能够解决所有的自动目标识别问题,新发展的技术途径都是在某些特定场景、针对某些应用使某些性能得到改进。未来的精确制导系统,将可能是融合多种弹载目标探测传感器信息,以及信息化、网络化协同作战系统提供的信息和多种算法来实现作战性能的系统。

从精确制导体系的角度考虑,精确制导系统的智能化设计综合利用体系内多种平台、多种传感器、多种武器的资源,提高体系效能。

(1) 联结体系内多种平台、多种传感器、多种武器,通过空间和频谱分集提供先进的能力。

(2) 综合利用体系内多种平台、多种传感器、多种武器的资源,降低对单个武器的要求。

(3) 综合利用武器体系内多信息源提供目标信息和气象、情报数据改进目标识别。

(4) 采用分布式协同组网精确制导技术,有效地解决复杂环境目标识别、多对多拦截、交战问题,提高弹道导弹防御系统动能拦截弹在复杂对抗环境和多弹头攻击环境下的拦截效能,以及反舰导弹在复杂对抗环境下的突防能力和攻击舰队群目标的能力。

(5) 采用多波段/多光谱传感器及多模复合传感器获取更高维度的信息。

(6) 采用不同技术路线的算法的融合,克服单一途径的局限性。

### 3.2 加强体系级设计,强化需求分析和可实现性分析及基于体系资源利用的设计

由于自动目标识别系统涉及到各种各样的作战使命和设备功能,没有普适的算法或硬件任务的解决方案。对于不同的应用场合,自动目标识别系统采用的传感器(或传感器组合)及其获得的信息,以及自动目标识别系统最终要实现的功能、性能必须与作战使命的功能要求相匹配。因此,在开发针对某一应用场合的自动目标识别系统前,必须加强系统级的设计,全面详细地分析作战目标和战场背景环境特性,根据作战目标(目标大小、是否运动、目标电磁辐射特性)和战场背景环境,选择适当的传感器或传感器组合,分析为达到所

需识别性能要求(识别距离、正确识别概率、虚警率),对成像传感器的分辨率要求。

### 3.3 加强支撑精确制导自动目标识别智能化的基础建设与理论研究

(1) 加强目标特性数据库建设,为智能化技术提供数据保障

精确制导系统的智能化离不开利用弹载传感器获得的信息和导弹接收的天基、空基或地面控制站的信息及目标特征数据库,智能化的前提是要有充分、有效的数据。

自动目标识别算法在训练和测试时必须采用目标特征数据库,因此,必须建立包括适当数目的有代表性的样本、用于有效的训练和测试的目标特征数据库。在军用目标识别领域,图像数据库通常不是公开的,因为可能包括高度保密的信息(如目标的红外特征),导弹系统开发者和研究者必须创建自己的目标特性数据库。导弹系统中对具有精确的、稳健的算法有很高的标准。为了实现所希望的性能水平,自动目标检测和识别算法应针对涉及到目标类型、导弹的高度、天气条件等各种因素进行专门设计,要使这些算法能够适应于诸多因素的宽泛的变化范围,需要巨大的图像数据库。

美国军方正在采集和处理大量的数据,对数据进行标注以训练人工智能和机器学习算法,使系统在军事场景中有效运行。尽管数据获取很困难,而且存在是否能获取足够的数据来提供给最先进的算法,以使这些算法能在军事作战条件下实现良好性能的问题。2017 年 4 月,美国国防部前副部长 Robert Work 宣布建立 Maven 项目,建立了一个跨功能算法战组,致力于发展增强用于战术无人机系统和中空全运动视频的数据处理、发掘和分发并实现自动化的技术。陆军研究实验室也在开展用于训练人工智能和机器学习算法的数据获取工作,包括使用自动化在线数据库来存储和分发在外场获取的多情报数据集,以支持情报监视和侦察界的分析工具和算法的试验、验证。

(2) 以精确制导自动目标识别与人工智能结合为切入点,加强适于精确制导系统应用的人工智能技术研究

尽管可以开展获取和标注大量相关数据的工作,在很多情况下获取许多主流的人工智能和机器学习算法所需的足够数据是不可能的。例如,如果采用现有的人工智能和机器学习方法,将难以在与弹载数据库中所存储的环境数据不同的作战环境中使用,生成能覆盖智能系统在未来任务中

将遇到的宽范围作战使用情况的代表性场景是不可能的。尽管正在研究利用仿真数据由现有的数据导出大量的训练集(如采用生存对抗网络等方法产生训练数据集),但目前还不明确这样的方法能否提供使算法在作战使用条件下有良好性能的样例。需研究可同时运行于在线学习模式和运行使用模式的新算法(即边学习边运行),一次接收一个采样的数据,并处理总的观测采样集的一个小子集,而无需提供整个数据集用于训练(在批处理模式学习时需要整个数据集)。除了开发用于在线监督学习的方法外,还需要开发能够以非监督的方式工作以及采用工作在未知环境中的智能体所获取的标注数据的新的人工智能和机器学习方法。

### 参考文献:

- [1] 高晓冬,王枫,范晋祥. 精确制导系统面临的挑战与对策[J]. 战术导弹技术,2017(6): 21-26.  
Gao Xiaodong, Wang Feng, Fan Jinxiang. The Challenges and Development Paths for Precision Guidance System [J]. Tactical Missile Technology, 2017(6): 21-26. (in Chinese)
- [2] 范晋祥. 对红外成像自动目标识别智能化发展的思考[C]//2017 年光学技术研讨会暨交叉学科论坛论文集,2017.  
Fan Jinxiang. Thinking on Intelligent Development of Infrared Imaging Automatic Target Recognition [C]// Proceedings of 2017 Optical Technology Seminar and Interdisciplinary Research, 2017. (in Chinese)
- [3] 文贡坚,朱国强,殷红成,等. 基于三维电磁散射参数化模型的 SAR 目标识别方法[J]. 雷达学报,2017(2): 115-135.  
Wen Gongjian, Zhu Guoqiang, Yin Hongcheng, et al. SAR ATR Based on 3D Parametric Electromagnetic Scattering Model [J]. Journal of Radars, 2017(2): 115-135. (in Chinese)
- [4] Kazemi H, Iranmanesh M, Nasrabadi N M. Automatic Target Recognition Using Deep Convolutional Neural Networks [C]// Proceedings of SPIE 10648, Automatic Target Recognition XXVIII, 2018.
- [5] El-Darymli K, Gill E W, McGuire P, et al. Automatic Target Recognition in Synthetic Aperture Radar Imagery: A State-of-the-Art Review [J]. IEEE Access, 2016, 4: 6014-6058.
- [6] 高颖慧,王平,李君龙,等. 复杂战场环境下的防空反导光学成像制导技术[J]. 现代防御技术,2012(1): 6-10.  
Gao Yinghui, Wang Ping, Li Junlong, et al. Optical Imaging Guidance Technology in Complicated Battlefield Envi-

- ronment [J]. Modern Defence Technology, 2012(1): 6 – 10. (in Chinese)
- [7] 范晋祥, 杨建宇. 红外成像探测技术发展趋势分析 [J]. 红外与激光工程, 2012, 41(12): 3145 – 3153. Fan Jinxiang, Yang Jianyu. Development Trends of Infrared Imaging Detecting Technology [J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41(12): 3145 – 3153. (in Chinese)
- [8] 文苏丽, 陈琦, 苏鑫鑫, 等. 智能化导弹与导弹智能化研究 [J]. 战术导弹技术, 2015(6): 21 – 26. Wen Suli, Chen Qi, Su Xinxin, et al. Study of Intelligent Missile and Missile Intelligentization [J]. Tactical Missile Technology, 2015(6): 21 – 26. (in Chinese)
- [9] 胡仕友, 赵英海. 导弹武器智能精确制导技术发展分析 [J]. 战术导弹技术, 2017(2): 1 – 6. Hu Shiyou, Zhao Yinghai. Analysis on the Development of Intelligent Precision Guidance Technology for Missile Weapons [J]. Tactical Missile Technology, 2017(2): 1 – 6. (in Chinese)
- [10] 刘永, 杨健, 朱剑, 等. 反舰导弹制导技术发展综述 [J]. 计算机仿真, 2016(2): 10 – 16. Liu Yong, Yang Jian, Zhu Jian, et al. Review of Anti-Ship Missile Guidance Technologies [J]. Computer Simulation, 2016(2): 10 – 16. (in Chinese)
- [11] 孙胜, 王钦伟, 曹洁, 等. 反舰导弹研究现状与发展趋势综述 [J]. 航天控制, 2017, 35(3): 79 – 84. Sun Sheng, Wang Qinwei, Cao Jie, et al. A Survey on Research Status and Development Trend for Anti-Ship Missile [J]. Aerospace Control, 2017, 35(3): 79 – 84. (in Chinese)
- [12] Bhanu B. Automatic Target Recognition: State of the Art Survey [J]. IEEE Transactions on Aerospace & Electronics Systems, 1986, AES-22(4): 364 – 379.
- [13] Roth M W. Survey of Neural Network Technology for Automatic Target Recognition [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 1990, 1(1): 28 – 43.
- [14] Gilmore J F. Knowledge-Based Target Recognition System Evolution [J]. Optical Engineering, 1991, 30(5): 557 – 570.
- [15] Ratches J A. Review of Current Aided/Automatic Target Acquisition Technology for Military Target Acquisition Tasks [J]. Optical Engineering, 2011, 50(7): 072001 (1 – 8).
- [16] Kechagias-Stamatis O, Aouf N, Richardson M A. 3D Automatic Target Recognition for Future LIDAR Missiles [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2017, 52(6): 2662 – 2675.
- [17] Schachter B J. Automatic Target Recognition [M]. 3rd ed. SPIE Press, 2018.
- [18] Kim S. Infrared Variation Reduction by Simultaneous Background Suppression and Target Contrast Enhancement for Deep Convolutional Neural Network-Based Automatic Target Recognition [J]. Optical Engineering, 2017, 56(6): 063108.
- [19] Goodfellow I, Bengio Y, Courville A. Deep Learning [M]. MIT Press, 2016.
- [20] 范晋祥, 张渊, 王社阳. 红外成像制导导弹自动目标识别应用现状的分析 [J]. 红外与激光工程, 2007, 36(6): 778 – 781. Fan Jinxiang, Zhang Yuan, Wang Sheyang. Analysis of Application Status of ATR Technologies in Infrared Imaging Guided Missiles [J]. Infrared and Laser Engineering, 2007, 36(6): 778 – 781. (in Chinese)
- [21] Özertem K A. Key Features for ATA/ATR Database Design in Missile Systems [C] // Proceedings of SPIE 10202, Automatic Target Recognition XXVII, 2017.
- [22] Fossaceca J M, Young S H. Artificial Intelligence and Machine Learning for Future Army Applications [C] // Proceedings of SPIE10635, Ground/Air Multisensor Interoperability, Integration, and Networking for Persistent ISR IX, 2018: 1063507.

## Challenges and Thinking for the Precision Guidance ATR Intelligentization

Fan Jinxiang<sup>1</sup>, Liu Jia<sup>2</sup>

(1. Shanghai Mechanical-Electronic Engineering Institute, Shanghai 201109, China;

2. North Automatic Control Technology Institute, Taiyuan 030006, China)

**Abstract:** Precision guidance system uses missile-borne precise detection device to detect, recognize and track target in complex battlefield environment, uses inertial technology and/or information support system to obtain the position and motion information of the missile itself and various targets intended to engage, as well as guides and controls the missile to hit the target accurately. Since the advent of laser semi-active homing guidance technology and the concept of precision guidance formally put forward in



1970s , precision guided technology has gone through 40 years of development. The scheme , theory , method , technology and application of the precision guidance system have been greatly developed. In recent years , with the raising of the effectiveness and status of precision guided weapons in the modern high-technology war , the development of precision guidance system has made outstanding achievements. Because the targets , environment and mission of the precision guidance system have been changed significantly , the complexity of the battlefield environment and the uncertainty of the target characteristics bring new challenges to the development of precision guidance systems and technology. To make the missile adapt to the complex and varying battlefield environment and engage various targets accurately , the concept of intelligent missile and the intelligentization of precision guidance system based on artificial intelligence technology is put forward. However , although this concept has been put forward for many years. The development of the existing precision guidance system still suffers from the lag of the capability of intelligentization. There is still no good solution to the problem of automatic target recognition and decision making in complex battlefield environment with high intelligence. It is difficult to meet the requirement to adapt to the complex and varying battlefield environment and to engage various targets accurately under the fierce countermeasure conditions. Focusing on the precise guidance automatic target recognition , this paper introduces the development process of the intelligent precision guidance ATR system , analyzes the challenges faced by the current precision guidance ATR system ' s intelligentization , and gives some superficial views on the development of the intelligent ATR.

**Key words:** precision guidance; infrared imaging guidance; multi-mode compound guidance; complex operational environment; automatic target recognition; artificial intelligence; machine learning