

深度学习技术在军事领域应用*

罗荣¹, 王亮¹, 肖玉杰¹, 何翼¹, 赵东峰²

(1.海军研究院, 北京 102442; 2.北京邮电大学, 北京 100876)

摘要:为梳理深度学习技术在军事领域应用面临的难题,明确深度学习军事化应用攻关方向,首先从目标识别、态势感知和指挥决策等三方面总结了深度学习技术在军事领域的应用现状,然后分析了深度学习技术在军事领域应用所面临的难点与挑战。其在目标识别领域:面向稀缺认知样本的深度学习技术、不确定性信息条件下深度学习技术、实时性和基于无人平台的深度学习均有待突破。在态势感知领域:基于深度学习的战场态势大数据特征表示与挖掘技术、战场态势理解技术均有待突破。在指挥决策领域:深度学习的可解性有待提高,多实体协同决策技术、推理决策技术都有待提升。该研究成果能为深度学习技术在军事领域中创新发展与工程研究提供参考方向。

关键词:深度学习; 人工智能; 目标识别; 态势感知; 指挥决策

中图分类号: E911

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1673-3819.2020.01.001

Application of Deep Learning Technology in Military Field

LUO Rong¹, WANG Liang¹, XIAO Yu-jie¹, HE Yi¹, ZHAO Dong-feng²

(1. Naval Research Academy, Beijing 102442;

2. Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: In order to sort out the difficulties in the application of deep learning technology in the military field and clarify the direction of deep learning in the application of public relations in the military field, this paper firstly summarizes the application status of deep learning technology in the military field from three aspects: target recognition, situation awareness and command decision-making, and then analyzes the difficulties and challenges in the application of deep learning technology in the military field. In the field of target recognition: deep learning technology for scarce cognitive samples, deep learning technology under uncertain information, its real-time and deep learning based on unmanned platform need to be broken through. In the field of situation awareness: the representation and mining technology of big data characteristics of battlefield situation based on deep learning, and the technology of battlefield situation understanding need to be broken through. In the field of command and decision-making: the solvability of deep learning needs to be improved, and the multi-entity collaborative decision-making technology and reasoning decision-making technology need to be improved. The research results can provide reference direction for the innovation and development of deep learning technology in the military field and engineering research.

Key words: deep learning; artificial intelligence; target recognition; situation awareness; command decision

近年来,随着在机器视觉、图像与语音识别以及控制决策等领域应用日益成熟,深度学习已成为人工智能领域的研究热点和主流发展方向之一,取得许多突破性进展,为机器学习和计算机视觉等领域带来了革命性的进步^[1-2]。现在深度学习几乎成为人工智能技术的代名词,各种具有独特神经处理单元和复杂层次结构的神经网络不断涌现,如卷积神经网络^[3]、循环神经网络^[4]、生成对抗网络^[5]等,深度学习技术也在不停地突破各应用领域内人工智能技术性能的极限。

以美国国防高级研究计划局为代表的各国军事科

研机构,均预见到了深度学习技术在军事领域应用的巨大潜力,并高度重视深度学习技术在军事领域的转化应用与创新,开展了大量相关研究工作^[6-8]。目前,深度学习在以目标识别、态势感知、指挥决策与控制为代表的军事领域中获得一定应用,取得了一系列应用成果,并日益成为军事领域智能化发展的技术基础与研究热点。

1 深度学习在目标识别领域的研究现状

深度学习技术颠覆了传统人工智能系统的运行规则,使得计算机能够模拟大脑的运行模式,通过多层卷积神经网络学习识别抽象模式,从而解决一些通用的目标识别问题。以 DARPA 为代表的多国军事科学研究机构已经在利用深度学习技术进行军用目标识别方向开展了相关研究^[9]。美军在智能化电磁频谱感知与侦察领域的最新进展是 DARPA 所支持的“对抗环境中

收稿日期: 2019-08-21

修回日期: 2019-08-29

基金项目: 国防十三五预研项目资助

作者简介: 罗荣(1986—),男,湖南华容人,博士,工程师,研究方向为作战系统总体设计与智能化研究。

王亮(1980—),男,博士,工程师。

的目标识别与适应”(TRACE)专项。该专项旨在为驾驶舱引入深度学习算法,发展一种准确、实时和低功率需求的目标识别系统,用深度学习和迁移学习等智能算法解决对抗条件下态势目标的自主认知难题,帮助指挥员快速定位、识别目标并判断其威胁程度。美国国防部“算法战”跨职能工作组开展了 Maven 项目,旨在利用基于深度学习的目标识别技术从海量无人机机载侦察视频中快速准确识别感兴趣目标,将海量数据快速转换为切实可用的情报,以推动在人工智能军事情报分析处理中的应用,将国防部海量数据快速转换为切实可用的情报。另外,DARPA 和美国空军研究实验室 AFRL 发起了 MSTAR SAR-ATR 系列研究,该研究的目的是在已有的 SAR-ATR 系统中引入先进的基于深度学习的目标识别技术,以提高 SAR 图像中目标识别的精度和召回率。美军还计划在未来 10 至 20 年间,展开系列基于深度学习的图像目标识别项目。

在国内,也有很多学者与专家研究了基于深度学习的军事目标识别方法,取得了一定的效果。文献[10]设计了一种基于卷积神经网络的舰船目标融合识别方法。该方法以 AlexNet 模型为基础,对可见光、中波红外和长波红外三波段图像进行特征提取,并利用互信息的方法对串联的三波段特征向量进行特征选择,依据重要性排序的方式选定固定长度的特征向量进行舰船目标识别。文献[11]研究了基于深度学习的雷达辐射源识别方法,针对脉内无意调制对辐射源信号包络瞬态信息的改变,以信号包络前沿为原始数据,通过深度神经网络提取深层特征进而完成辐射源的分类识别。文献[12]研究了基于深度学习的水下目标识别方法,建立了基于卷积神经网络与深度置信网络等两种深度学习算法建立识别模型,并用目标高维特征样本进行预训练,模型性能评估结果表明:将目标特征时序处理和深度学习结合的方法应用于水下目标识别中,具有较大应用前景。文献[13]将深度学习技术运用至无人系统中,基于深度残差网络实现了对无人机多目标识别。

2 深度学习在态势感知领域的研究现状

随着信息采集技术、信息传输与共享技术、信息存储技术的不断发展、进步以及其向国防领域全面迅速渗透,现代战场往往产生了大量不完备、不确定、模糊随机、高维稀疏的复杂异构信息,使得现代战场态势呈现显著的大数据特征、非线性特征以及涌现性特征。因此,传统战场态势估计方法,由于采取基于简单线性模型智能方法,已无法满足现代复杂战场态势的感知需求。目前,被誉为最接近人脑的深度学习方法,由于

采取多层感知器模型有机融合与集成,以致拥有强大的记忆能力、特征逐层理解与自动分析能力以及卓越的非线性逼近能力,在多层学习、自主分析、非线性特征提取等方面具有其他方法无法比拟的独特优势,为研究错综复杂、瞬息万变、信息海量的战场态势评估问题提供了智能化的技术手段。

深度学习技术在态势感知方面的主要作用是实现对战场态势的高级理解。通过深度学习的方法实现态势感知,侧重点在于态势感知的理解过程与预测过程。深度神经网络的多层神经元能够综合浅层的态势要素,实现态势理解和预测。态势感知训练过程的训练数据可以是以往实战数据、实兵对抗数据、兵棋推演数据、靶场试验数据,也可以使用特定的生成器生成数据;对训练数据的标注可以来自指挥员对态势的认知。通过对作战态势的训练数据,真实反映指挥员对特定战场态势的判断,并用于深度神经网络进行学习和模拟。文献[14]分析了指挥员理解战场态势的思维模式,并结合深度学习运行原理,提出了一种基于深度学习的指挥员战场态势高级理解思维过程模拟方法,该方法利用深度学习对指挥员战场态势高级理解过程进行非线性拟合处理,从而对复杂态势的有效感知。文献[15]围绕作战态势问题,从体系对抗性和战争复杂性角度出发,系统研究联合作战条件下战场态势理解,通过模仿指挥员理解态势的模式,初步建立复合架构的深度学习网络,并基于兵棋演习数据实现了初步的战场态势优劣判别。文献[16]利用深度网络模型,基于空战训练数据进行训练学习,从数据中提取能够对作战态势进行更本质、更具有洞察力描述的特征量,从而实现对空战态势的准确评估,为空战决策过程提供一定的技术支持和理论支撑。文献[17]针对目标意图识别问题的特点,提出一种基于栈式自编码器的智能识别模型,设计智能识别模型的基本框架,通过将目标状态在多个时刻的时序特征和战场环境、目标属性等信息统一编码为输入信号,将军事专家的知识经验封装为模式标签,模拟人的推理模式与认知经验,实现对目标战术意图的智能识别。

3 深度学习在指挥决策领域的研究现状

“深度学习”技术的突破与广泛应用,引发了机器智能技术的飞速发展,在新型高速并行计算平台与大数据的支撑下,仅用了短短十多年时间,不仅在图像与语音识别理解、自然语言处理等感知智能的诸多领域达到甚至超过人类水平,而且也在认知决策智能领域展现了广阔的应用前景。AlphaGo 以 4:1 的傲人成绩击败人类围棋顶尖高手李世石从而一举成名,获得了

举世瞩目关注,是继“深蓝”以来人工智能在认知决策领域战胜人类的又一重大成果。AlphaGo 的核心技术之一是深度学习,其重大创新在于通过训练深度神经网络实现对人类直觉思维特性的模拟。2017年9月,中科院自动化所研发的AI系统“CASIA-先知V1.0”在“赛诸葛”全国兵棋推演大赛中首次击败人类选手,表现出深度学习技术在对抗博弈领域应用的非凡潜力。现在对深度学习在更符合战争特点的多智能体博弈游戏星际争霸中挑战人类智能的研究也在有条不紊地加速开展。在AlphaGo攻克围棋这一艰巨任务之后,Deepmind公司与美国电子游戏公司暴雪娱乐共同研制了AlphaStar,其核心技术是深层神经网络与多代理习得算法,其中,深层神经网络从原始游戏界面接收数据,输出指令结果,在游戏中形成行动;多代理习得算法使得AlphaStar可以通过模仿来学习星际顶尖玩家基本的微操和宏观战术。2019年1月,在与人类顶级玩家的比赛中AlphaStar取得10:1的骄人成绩,表明深度学习技术在具有实时对抗、巨大的搜索空间、非完全信息博弈、不确定性推理等特征的复杂动态场景下的应用取得关键性的突破。因此,近年来以AlphaGo、AlphaStar等为代表的人工智能模型取得的成功表明深度学习技术在面对大数据和瞬息万变的战场环境时所具有的智能处理和推理决策的能力,从一定程度上证明了其用于军事辅助决策智能化的可行性。

近年来,有大量学者与专家对深度学习技术在军事智能辅助决策领域的应用进行了大量的研究,取得了一系列划时代的成果,深度学习技术的不断进步已开始对军事智能辅助决策领域产生深远而重大的影响。文献[18]通过与AlphaGo相似的原理,采用价值网络、强化学习以及蒙特卡洛算法构建了战略威慑智能指挥决策模型,实现了对威慑博弈树的快速搜索。文献[19]提出了基于深度态势匹配的辅助指挥控制决策方法,并用基于星际争霸平台与数据对其进行简要的评估,阐述了深度态势匹配算法的合理性,对实现智能化的辅助指挥控制决策具有重要的参考意义。文献[20]将深度强化学习方法引入作战辅助决策过程中,成功用于最佳行动决策序列的搜索。文献[21]针对指控系统复杂性、非线性,态势感知多源性、异构性等问题,采用深度强化学习技术基于价值-策略的自学习方法不断提升智能体决策质量。

4 深度学习技术在军事领域应用挑战与发展前景

在目标识别、态势感知、指挥决策等军事领域的应用过程中,深度学习技术取得了一系列突破性成果。

但由于深度学习技术在军事领域应用面临信息不确定、认知样本稀缺、规则不完备、强对抗博弈等特殊性和自身性能以及可解性的限制,其主要停留在理论探索和实验室环境下简单测试验证阶段,与具体军事应用需求契合不紧密,与实际装备融合深度与嵌入力度不够,离工程化应用还有较远的距离。

4.1 深度学习技术在军事目标识别领域的应用挑战

在目标识别领域,尽管深度学习已在民用工业领域取得大量成功应用,在其应用于军事目标识别面临如下挑战。

首先,面向稀缺认知样本的深度学习技术有待突破。民用领域深度学习方法均是立足于海量样本数据的。由于感知手段的限制以及军事目标特性的高度保密,造成军事目标样本数据,特别是带认知标签样本数据较为稀缺,故将民用领域成熟的深度学习方法应用到军事目标识别领域势必难以取得理想效果。因此,为了解决稀缺样本条件下的军事目标识别问题,以实现目标类型的稳健判决,提高目标识别的准确性、抗噪性和鲁棒性,非常有必要研究面向稀缺认知样本的深度学习技术,这一方面需要革新现有的深度学习方法,使其适合于稀缺样本条件下的军事目标识别问题,另一方面需要探索因具有知识共享和记忆移植功能而仅需要少量样本的深度迁移学习方法在军事目标识别领域的应用。

其次,不确定性信息条件下基于深度学习的目标识别技术有待突破。民用领域深度学习方法所使用的数据都是确定可靠的。但由于军事领域的识别与反识别、隐蔽与反隐蔽斗争愈演愈烈,使得传感器采集的数据普遍呈现出不确定性、不完整性、模糊性、多变性和虚假性等特点,这就是战场迷雾现象。如何在不确定性信息条件下运用深度学习技术消除目标识别的不确定性,提升目标识别的准确性与可靠性,是一个非常值得研究的方向,也是深度学习技术能否成功广泛应用军事目标识别的关键所在。

再次,基于深度学习的目标识别实时性亟待突破。由于高速度、大机动和远射程装备发展,使得现代战争节奏显著加快,甚至已经进入秒杀阶段。这客观要求目标识别具备实时性,否则可能贻误重要战机,导致严重后果。然而,处理速度慢是深度学习算法应用于军事目标的重要障碍之一。深度学习之所以速度慢,有以下两个主要原因:首先,现有深度学习方法从理论模型到应用都以串行处理模式为基本假设,内在并行性不足,无法充分利用现有丰富的并行计算资源。其次,数据体量大,没有通过有效的数据预处理降低数据量,

同时,数据维度不断提升,“维度灾难”难以避免。因此,如何对深度学习算法和应用进行优化,以减少目标识别的时间,提高目标识别的实时性,同样是将深度学习技术用于军事目标识别的关键所在,亟须予以突破。

最后,需要发展基于无人平台的深度学习技术。深度学习在无人平台上的应用将极大地增强无人平台的自主化能力,拓展无人平台的使用范围。在无人平台上采用深度学习技术进行目标智能检测、处理、跟踪、识别既能避免了大量的原始数据传输,节省通信资源,又能省去原始视频图像传输及人工处理识别时间,能实现真正意义上的发现即摧毁。但是现有深度学习技术由于通常需要较长的模型训练时间和识别处理时间,所以,对能源、数据存储、计算能力等资源有较高要求,这是机载、气球载以及星载等无人平台难以满足的。因此,发展适合无人平台应用的深度学习技术,亟须突破深度网络模型优化与压缩方法,以解决模型复杂度与无人平台空间资源受限的矛盾。

4.2 深度学习技术在态势感知领域的应用挑战

深度学习技术应用到战场态势感知领域不仅有望很好地描述现代战场上诸多的复杂信息,从而更好地分析战场上的大数据,而且有望及时有效地发现现代战场上的不确定因素和将要或已经表现出的涌现性特征。然而,深度学习应用于态势感知领域面临如下挑战。

首先,基于深度学习的战场态势大数据特征表示与挖掘技术有待突破。为了更好地描述战场态势,模拟指挥员的思维模式依据作战指挥时指挥员的思维重点来描述战场态势,需要有效地提取复杂的战场态势内在的主要特征,并将这些特征科学高效地表示出来。在当今大数据时代,由于现代化战场这个复杂系统具备着明显的“不确定性、非线性、涌现性”等复杂性特征,因此,传统的基于简单线性叠加方式的特征分析与表示技术已难以胜任。尽管深度学习由于具有良好的逐层理解、自动分析提取的网状结构,从而使得提取和表示大数据隐藏的复杂性特征成为可能,但如何利用深度学习方法从不同的特征域(如时域、空域、频域、任务、逻辑等域以及多种不同域间的联合域)出发,实现战场大数据态势特征提取与表示仍然是当前一大挑战,亟待突破。

其次,基于深度学习的战场态势理解技术有待突破。传统的战场态势理解评估通常是基于简单的指标树,利用线性叠加不同权重的方法来完成,这种方法虽然有一定道理,但无法适用于具有不确定性、非线性、涌现性等复杂特征的大数据战场态势。尽管深度学习具备强大的非线性处理能力,可设计适合大数据的非

线性神经网络,构建出有效的大数据战场态势评估模型,从而可解决许多简单的线性方法无法合理解决的问题,在大数据战场态势理解方面具有一定的应用潜力。然而,如何利用深度学习方法对战场态势进行全面准确的理解,以便辅助指挥员能够很好地理解战场态势,仍是大数据时代下战场态势感知领域的重大挑战。基于“深度学习”的战场态势理解评估方法就是要力求解决制约传统线性方法的瓶颈问题,通过科学、合理地描述各指标间的复杂关联关系,建立具有复杂结构的指标网或指标云,从而实现战场态势的理解评估。

4.3 深度学习技术在指挥决策领域的应用挑战

在指挥决策领域,战场态势的瞬息万变和难以量化的各类因素成为智能决策的最大障碍。从过去的成果中可以看出,深度学习在以目标识别为主的情报分析中表现良好,显著优于传统机器学习方法,而且深度学习已经成功应用于围棋等棋类博弈游戏。然而,在棋盘上所解决的博弈问题与实际的战争具有很大的差别,因此,深度学习应用于指挥决策面临如下挑战。

首先,深度学习可解性有待提高。尽管深度学习应用于一些特定领域时,在识别、理解、认知、决策等方面,已经取得了优于常人的结果。但目前机器不能向用户解释其想法和决策结论,用户也无法完全理解深度学习方法的决策过程,其得出的结论可解释性差,可信赖度不足,严重制约其在军事领域,特别是作战指挥与决策方面的深入应用。因此,需要加强深度学习技术可解释性问题研究,揭示指挥员智能认知内在机理,破解深度学习技术黑盒问题,建立可解释的深度学习模型,提高其可解释性,使得指挥员能够理解并较大程度信任机器给出的决策结果,为深度学习在指挥信息系统中的广泛深入应用扫除障碍。

其次,基于深度强化学习的多实体协同决策技术有待突破。目前的深度增强学习算法都是针对单个 Agent 的控制及决策,把一个最终目标赋给一个实体完成。而实际的作战中,涉及的实体不仅种类丰富,而且数量大。现代作战通常是多兵种联合作战以及多力量协同作战,讲究的是各参战单元互相协同配合,共同完成一个任务。为了突破基于深度强化学习的多实体协同决策技术,可以考虑将以前的多 Agent 协同研究成果和现在的深度增强学习方法相结合,组合调优;同时也可以考虑将作战集团抽象成一个整体,将其子单元的操作看成整体的一个动作,来套入现有的深度增强学习算法。

最后,不确定、不完备信息条件下基于深度学习的推理决策技术有待突破。除了 DeepMind 团队结合使用博弈论的相关知识攻克德州扑克,在不完全信息动

态博弈方面有所进展,目前深度学习在推理决策方面的成功应用均是在完全信息与明确一致规则条件下的。然而,棋盘上的博弈与实际战场博弈具有很大差别。真实世界的战争往往都是笼罩在迷雾之中的,在实战环境中敌人的策略、代价经常是未知的,甚至敌人的行为、战力等都往往难以预知,敌我双方并不会按照一致的规则出招,因此,战场博弈属于特殊的不完备信息序列博弈范畴。这给深度学习在作战指挥决策领域的应用带来了很大的困难和挑战。因此,不确定、不完备信息条件下基于深度学习的推理决策技术的突破是深度学习能否成功应用于作战指挥决策领域的关键所在。

5 结束语

近十多年来,深度学习技术获得迅猛发展,其研究成果也陆续成功转化为实用产品,其应用领域不断扩展延伸。然而,其应用于军事领域却面临着信息不确定、不完备,规则不清楚、不一致,认知样本稀缺等特殊性质,严重制约了其在军事领域应用的广度与深度。为加速深度学习技术在军事领域的创新发展与转化应用,推进信息化装备智能化发展进程,本文在总结深度学习技术民用与军用领域研究现状的技术上,梳理了深度学习技术在军事领域应用面临的技术挑战与工程难题,指明了深度学习在军事领域中创新发展与工程应用研究的参考方向。

参考文献:

- [1] Lecun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep Learning[J]. Nature, 2015, 521(7553): 436-444.
- [2] Rumelhart D, Hinton G, Ronald J. Learning Representations by Back-Propagating Errors[J]. Nature, 1986, 323(9): 533-536.
- [3] Waibel A, Hanazawa T, Hinton G. Phoneme Recognition Using Time-delay Neural Networks[J]. IEEE Transactions on Acoustics Speech and Signal Processing, 1989, 37(3): 328-339.
- [4] Elman L. Finding Structure in Time[J]. Cognitive Science, 1990, 14(2): 179-211.
- [5] Goodfellow J, Pouget-Abadie J, Mirza M, et al. Generative Adversarial Nets[C]. International Conference on Neural Information Processing Systems, Montral: MIT Press, 2014: 2672-2680.
- [6] MA N, ZHANG X, ZHENG T, et al. ShuffleNet V2: Practical Guidelines for Efficient CNN Architecture Design[C]. The 16th European Conference on Computer Vision, Munich: Springer, 2018.
- [7] Vinod N, Hinton G. Rectified Linear Units Improve Restricted Boltzmann Machines[C]. The Twenty-sixth International Conference on Machine Learning, Haifa: Springer, 2010.
- [8] Williams J. Simple Statistical Gradient-following Algorithms for Connectionist Reinforcement Learning[J]. Machine Learning, 1992, 8(3/4): 229-256.
- [9] 潘浩. 基于深度学习的军事目标识别[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2018.
- [10] 冷鹏飞. 基于深度学习的雷达辐射源识别技术[D]. 扬州: 扬州船用电子仪器研究所, 2018.
- [11] 宋达. 基于深度学习方法的水下目标识别技术研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2018.
- [12] 翟进有, 代冀阳, 王嘉琦. 深度残差网络的无人机多目标识别[J]. 图学学报, 2019, 40(1): 158-164.
- [13] 朱丰, 胡晓峰, 吴琳, 等. 基于深度学习的战场态势高级理解模拟方法[J]. 火力与指挥控制, 2018, 43(8): 27-32.
- [14] 廖鹰, 易卓, 胡晓峰. 基于深度学习的初级战场态势理解研究[J]. 指挥与控制学报, 2017, 3(3): 67-71.
- [15] 李高垒, 马耀飞. 基于深度网络的空战态势特征提取[J]. 系统仿真学报, 2017, 29(增刊1): 98-112.
- [16] 欧微, 柳少军, 贺筱媛. 基于时序特征编码的目标战术意图识别算法[J]. 指挥控制与仿真, 2016, 38(6): 36-41.
- [17] 荣明, 杨镜宇. 基于深度学习的战略威慑决策模型研究[J]. 指挥与控制学报, 2017, 3(1): 44-47.
- [18] 申生奇, 尹奇跃, 张俊格. 基于深度态势匹配的辅助指挥控制决策方法应用研究[C]. 第六届中国指挥控制大会论文集(上册), 2018: 138-142.
- [19] 周来, 靳晓伟, 郑益凯. 基于深度强化学习的作战辅助决策研究[J]. 空天防御, 2018, 1(1): 31-35.
- [20] 王壮, 李辉, 李晓辉. 基于深度强化学习的作战智能体研究[C]. 第六届中国指挥控制大会论文集(上册), 2018: 32-36.

(责任编辑: 张培培)