

基于人工智能的电子信息多传感综合探测研究

吴亚周 鲁振兴

中国电子科技集团公司第五十四研究所, 河北 石家庄 050081

[摘要]当前电子信息探测系统面临的目标类型、环境条件、信息干扰日益复杂多样。单一传感器会受到探测距离、视场范围、分辨率、气象条件还有电磁干扰等诸多因素的限制, 常常出现信息缺失、虚警率较高、目标识别不稳定等状况。多传感综合探测把雷达、光电、红外、激光雷达、声学、无线电频谱等多源信息整合起来, 借助不同传感器在时域、频域、空域和特征域上存在的互补性, 以此提高目标发现、定位、识别、跟踪和趋势理解方面的能力。文中聚焦于人工智能帮助电子信息多传感综合探测这一研究对象, 借助系统分析、信息融合、智能感知等理论, 对多传感综合探测的系统结构、数据特征、运行机理予以梳理, 剖析时空配准、异构数据融合、目标识别、航迹关联、资源调度等关键问题, 并从深度学习、注意力机制、知识驱动、边缘计算、可信智能等方面提出优化路径。研究指出, 人工智能能够增强多源数据的特征表达能力、关系建模能力、动态决策能力, 不过模型性能在很大程度上依赖于数据质量、场景覆盖范围、系统协同水平。

[关键词]人工智能; 电子信息; 多传感器融合; 综合探测; 目标识别

DOI: 10.33142/sca.v9i7.20035

中图分类号: TP181

文献标识码: A

Research on Multi Sensor Integrated Detection of Electronic Information Based on Artificial Intelligence

WU Yazhou, LU Zhenxing

The 54th Research Institute of CECT, Shijiazhuang, Hebei, 050081, China

Abstract: The current electronic information detection system is facing increasingly complex and diverse target types, environmental conditions, and information interference. A single sensor is limited by various factors such as detection distance, field of view, resolution, meteorological conditions, and electromagnetic interference, often resulting in information loss, high false alarm rates, and unstable target recognition. Multi sensor integrated detection integrates radar, photoelectric, infrared, laser radar, acoustics, radio spectrum and other multi-source information, and improves the ability of target discovery, location, recognition, tracking and trend understanding by virtue of the complementarity of different sensors in time domain, frequency domain, spatial domain and feature domain. Focusing on the research object of artificial intelligence to help electronic information multi-sensor integrated detection, this paper combs the system structure, data characteristics and operation mechanism of multi-sensor integrated detection with the help of system analysis, information fusion, intelligent perception and other theories, analyzes key issues such as time-space registration, heterogeneous data fusion, target recognition, track correlation, resource scheduling, and proposes optimization paths from aspects of deep learning, attention mechanism, knowledge driven, edge computing, and trusted intelligence. Research has shown that artificial intelligence can enhance the feature expression ability, relationship modeling ability, and dynamic decision-making ability of multi-source data. However, model performance largely depends on data quality, scene coverage, and system collaboration level.

Keywords: artificial intelligence; electronic information; multi-sensor fusion; comprehensive detection; object recognition

引言

电子信息探测正从单设备独立感知逐渐朝着多平台、多模态、网络化协同的方向转变。不同的传感器在探测距离、空间分辨率、环境适应性、目标特征表达等方面都有着各自的优势, 然而数据格式、采样频率、误差分布却存

在着明显差异。传统的规则和统计方法在面对复杂背景、弱小目标、高动态场景时, 存在适应性方面的欠缺。人工智能能够从大量数据里提取深层特征, 还能对多源信息关系加以学习, 从而为综合探测提供新的实现途径。研究其融合架构、关键算法、应用保障, 对提高电子信息系统的

智能感知与自主决策能力有着重要意义。

1 人工智能多传感综合探测的理论基础

1.1 多传感综合探测的基本内涵

多传感综合探测就是利用两个或者更多类型一样或不一样的传感器,针对同一目标、区域或者过程进行协同观测,借助数据处理、信息关联、智能推理形成比单一传感器更完整、准确且可靠的探测结果。它的基本任务有目标发现、位置估计、属性识别、运动状态判断、连续跟踪、环境趋势建立。电子信息传感器类型多样,雷达具备探测距离远、全天候能力强、速度测量精度高的特性,不过容易受到杂波、多径、电磁干扰的影响,可见光传感器能够给出丰富的纹理与形状信息,然而对照度、遮挡、天气变化较敏感,红外传感器可以获取目标热辐射特征,适用于夜间和弱光环境,但其空间细节或许有限,激光雷达能够得到高精度三维点云,受降雨、雾霾、烟尘的影响较显著,声学 and 频谱传感器能够补充运动、振动、无线电辐射信息。综合探测的核心不是单纯增加传感器数量,而是依照任务需求建立互补观测模式,在某一传感器性能下降时,其他信息源能够提供补偿,并且通过融合处理降低不确定性。

1.2 人工智能赋能探测的作用机理

人工智能对多传感综合探测起到的帮助作用,主要呈现于数据处理自动化、特征提取深层化、关联判断智能化、资源配置自适应等多个方面。传统信号处理依靠人工设计滤波器、特征量、判决门限,一旦背景条件发生较大变化,就需要重新进行参数调整。神经网络能够直接从雷达回波图、光学图像、红外图像、点云数据当中学习目标特征,从而减少人工特征设计方面存在的局限。卷积神经网络比较擅长提取局部空间结构,循环神经网络和时序模型能够描述目标运动变化情况,图神经网络可以对传感器、目标、航迹之间的关联进行建模,Transformer 及注意力机制则能够在在大范围特征里动态选择重要信息。

1.3 多层次信息融合的基本结构

多传感信息融合主要包括数据级融合、特征级融合、决策级融合这几种形式。针对数据级融合而言,它是直接针对各传感器的原始观测数据或者经过预处理的数据来展开联合处理工作。这种方式能够留存相对比较完整的信息,比较适合用于那些时间和空间同步程度较高的同类或者相近传感器。然而,它存在数据量较大、计算负担比较沉重的问题,并且对配准精度有着较高的要求。

2 电子信息多传感综合探测的关键技术问题

2.1 多源异构数据的时空配准

各种不同的传感器一般有着各自独立的坐标系、采样

周期、通信链路、时间基准。要是缺少精准的配准,那么同一目标在不同数据里的位置、时间状态就会很难对应得上。时间配准需要对传感器时钟偏差、采样延迟、传输时延予以校正,并且依据目标运动状态把观测转换到同一个时刻。高动态目标在较短时间内也有可能出现较明显的位移,所以单纯依照最近时间戳来进行匹配很容易产生关联误差。

2.2 复杂环境中的目标检测与识别

复杂的环境对于多类传感器会造成不同程度的影响。雷达在工作时可能会面临强杂波、多目标密集、低信噪比、干扰信号等状况,光电图像有可能受到阴影、逆光、雨雾、遮挡、与背景相似目标的干扰,红外图像甚至还会出现热交叉、对比度下降的情况。传统的探测方法一般依据固定门限或者人工特征来判断目标,当环境分布发生变化之后,很容易出现漏警与虚警的问题。人工智能目标检测模型能够借助多尺度特征、上下文关系来识别弱小目标,并且可以通过迁移学习、数据增强、自监督学习来缓解标注样本不足的问题。

2.3 多目标航迹关联与状态估计

在多目标环境当中,各个传感器会生成大量量测点、局部航迹、虚假目标,系统要判断哪些观测属于同一个对象,同时估计目标的位置、速度、加速度、运动趋势。航迹关联会受到目标数量、交叉运动、遮挡、量测误差、采样异步等因素的作用。当多个目标距离较近或者运动模式相似的时候,简单最近邻方法容易出现航迹交换、错误合并的情况。传统方法能够采用概率数据关联、多假设跟踪、随机有限集等模型,人工智能则可以借助目标外观、运动历史、空间关系、传感器属性建立更为丰富的关联特征。

3 人工智能驱动的多传感融合方法

3.1 基于深度特征学习的融合方法

深度特征融合一般会针对不同模态设计专门的编码网络,分别去提取图像纹理、点云几何、雷达运动、频谱属性等方面的特征,之后把这些特征映射到统一的特征空间当中。早期融合可以在网络浅层直接对数据或者特征进行拼接,这样能够充分利用局部的相关信息,不过对配准误差比较敏感,中间融合在不同的尺度、语义层级进行信息交换,既能保留各个模态的独立特征,又可以建立起跨模态的联系,后期融合是在检测结果或者高层语义阶段做综合判断,适合通信资源有限或者对传感器独立性要求比较高的系统。为了防止简单拼接导致特征冗余,可以借助门控网络、注意力机制、动态权重模块来评估各模态的贡献。

3.2 基于注意力与 Transformer 的关系建模

注意力机制能够依照任务、场景自行挑选重要信息，比较适合处理多传感器数据数量不均衡、质量呈现动态变化、关联关系复杂这类问题。空间注意力可以突出目标或许会出现的区域，通道注意力能够挑选出更具价值的特征维度，跨模态注意力则是用来建立雷达点、图像区域、点云结构之间的联系。Transformer 借助自注意力机制对远距离特征关系展开建模，能够突破卷积网络局部感受野的限制，适用于大范围环境感知、多目标交互分析。

3.3 知识驱动与数据驱动融合

纯数据驱动模型具备较强的拟合能力，然而在样本数量不足、环境发生突变、遭遇极端事件的情况下，有可能出现不稳定的结果。电子信息探测一般有着明确的物理规律、设备特性、目标运动约束，把领域知识与人工智能相结合能够提高模型的可靠性。知识驱动的内容涵盖信号传播规律、传感器噪声模型、目标运动方程、场景拓扑关系、设备工作边界、专家规则等方面。可以在网络输入阶段借助物理模型来实现噪声抑制、特征增强，在网络结构当中嵌入几何变换与运动约束，还能够在损失函数里增添位置连续、速度合理、能量守恒等条件。

4 多传感综合探测系统的优化设计

4.1 构建云边端协同处理架构

多传感系统所产生的数据，其规模较大且传输频率较高。要是把全部数据都上传至中心平台进行处理，便极易引发通信拥塞、响应延迟的情况。云边端协同架构能够将具有不同复杂度的任务，分别分配到传感器端、边缘节点、云中心。传感器端承担信号采集、基础滤波、数据压缩、简单目标检测等工作，以此减少无效数据的传输。边缘节点靠近现场，能够完成多传感时空配准、局部特征融合、快速预警等任务，从而满足低时延的要求。云中心借助更为强大的计算资源，来进行模型训练、全局趋势分析、历史数据挖掘、多区域协同等工作。

4.2 实施自适应传感资源调度

多传感器若长期以最高功率、最高采样率运行，会使能源消耗增多、设备出现损耗并且数据处理压力增大。人工智能能够依据目标威胁程度、环境状态、历史航迹还有传感器性能来动态分配探测资源。当系统处在大范围搜索阶段的时候，可以运用覆盖范围比较广的传感器来进行粗探测，在发现疑似目标之后，再调度高分辨率光电、激光雷达或者窄波束雷达来进行重点确认。在目标稳定跟踪以后，可以降低部分传感器的采样频率，把资源转移到其他区域。

4.3 完善数据质量与模型生命周期管理

人工智能的探测性能，其首要决定因素乃是数据质量。在系统建设阶段，要对数据格式、时间标记、坐标定义、标注标准、设备状态记录进行统一规范。如此一来，不同来源的数据才可以实现有效的关联。训练数据必须涵盖正常、异常、极端条件，防止样本仅仅集中在理想环境之中。人工标注应当采用复核机制，对于那些边界模糊、类别不确定的样本，能够记录下置信度，而非强行给出绝对标签。当模型训练完毕后，需在独立数据集、真实场景里检验准确率、召回率、虚警率、定位误差、处理延迟、资源消耗。

5 人工智能多传感综合探测的保障与发展路径

5.1 强化鲁棒性与不确定性评价

在复杂的探测环境里，传感器会出现数据缺失现象，噪声会突然增多，通信会中断，还会遭遇恶意干扰，人工智能模型同样会面临训练时未出现的新目标、新场景。系统要借助多模态冗余、异常检测、容错机制来提高鲁棒性。训练阶段能够运用噪声注入、遮挡模拟、天气变化模拟、传感器失效模拟等方式来增强模型的适应能力。推理阶段要辨别输入数据是否偏离训练分布，对于可信度低的结果要进行提示或者转交给人工进行复核。

5.2 推进轻量化与实时智能计算

多传感融合模型一般有着较大的参数规模，然而移动平台、嵌入式设备、边缘节点的计算能力和电源条件是有限的。要达成实时探测，就得从网络结构、算法流程、硬件平台等多个方面着手进行轻量化设计。可以借助模型剪枝、量化、知识蒸馏、低秩分解的方式来减少参数量，在维持主要精度的情况下降低计算、存储需求。对于场景里大量的无关区域，能够先经由快速算法进行候选筛选，接着针对重点目标运用复杂模型实施精细处理。异步计算与流水线设计能够让数据采集、配准、检测和融合并行运作，减少整体的等待时间。

5.3 构建可信、安全与标准化体系

人工智能多传感综合探测涵盖诸多设备、算法、网络连接，系统的安全与可信程度会对应用成效产生直接影响。首先需要建立起数据访问、传输、存储、使用的权限模式，运用身份认证、加密通信、日志审计等手段，以此防止数据出现泄露、非法修改的情况。其次要对对抗样本、虚假信号、传感器欺骗加以防范，避免其对模型判断产生影响，借助多源交叉验证、异常模式识别等方式，提高攻击检测的能力。再次要促使数据格式、传感器接口、模型评测、结果表达实现标准化，让不同厂商和平台的设备能够实现互联互通。

6 结论

人工智能应用于电子信息多传感综合探测,属于提高复杂环境感知及信息利用效率的关键技术领域。雷达、光电、红外、激光雷达、声学、频谱传感器在探测距离、空间精度、环境适应性与目标特征表达上面各有长处。利用多源信息互补,能够降低单一传感器因受遮挡、天气、噪声、干扰等因素影响而产生的不确定性。人工智能还能够进一步强化异构数据特征提取、跨模态关联、目标识别、航迹跟踪、资源调度等能力,从而使综合探测工作由固定规则处理向着数据驱动与知识驱动协同的方向转变。研究指出,系统建设的关键在于,一方面要选择先进的网络模型,另一方面要解决时间同步、空间配准、数据质量、模态缺失、闭环调度等基础问题。

[参考文献]

[1]倪国强,李勇量,牛丽红.基于神经网络的数据融合技术的新进展[J].北京理工大学学报(自然科学版),2003(4):503-508.

[2]党相卫,秦斐,卜祥玺,等.一种面向智能驾驶的毫米波雷达与激光雷达融合的鲁棒感知算法[J].雷达学报,2021,10(4):622-631.

[3]李浩然,熊伟,崔亚奇.基于深度特征融合的 SAR 图像与 AIS 信息关联方法[J].系统工程与电子技术,2023,45(11):3491-3497.

[4]易伟,袁野,刘光宏,等.多雷达协同探测技术研究进展:认知跟踪与资源调度算法[J].雷达学报,2023,12(3):471-499.

[5]施端阳,林强,胡冰,等.基于 YOLO 的航管一次雷达目标检测方法[J].系统工程与电子技术,2023,46(1):143-151.

作者简介:吴亚周(1993—),男,汉族,河北石家庄人,工程师,天津大学毕业,中国电子科技集团公司第五十四研究所,从事电子系统工程工作;鲁振兴(1984—),男,汉族,山东聊城人,高级工程师,北京理工大学毕业,就职于中国电子科技集团公司第五十四研究所,从事信号处理工作。