

人工智能与FPGA赋能智能传感:从信号处理到目标检测的技术革新

■湖南工学院 王晓丽 王文锦 王林 欧阳晶 杜鸣笛

在工业自动化、智能医疗、自动驾驶、遥感监测等关键领域,智能传感系统的核心需求已从单纯的信号采集升级为实时、精准的环境感知与目标识别。传统传感系统依赖通用处理器进行信号处理与目标检测,存在时延高、功耗大、环境适应性弱等瓶颈。人工智能(AI)技术凭借强大的数据挖掘与模式识别能力,重构了传感数据的分析范式;而现场可编程门阵列(FPGA)则以其可重构性、并行运算优势和高能效比,成为AI算法落地边缘端传感系统的理想硬件载体。两者的深度融合,正推动智能传感从信号处理到目标检测的全链路技术革新,构建起“感知、处理、决策”一体化的高效智能体系。

AI与FPGA协同:重构智能传感信号处理链路

智能传感的核心链路始于原始信号处理,这一环节的质量直接决定后续目标检测的精度。传统信号处理采用固定算法流程,对噪声抑制、特征提取的适应性有限,尤其在复杂环境下,易受干扰导致信号失真。AI技术的引入,使信号处理从“固定规则驱动”转向“数据驱动”的自适应模式,而FPGA则为这种自适应处理提供了实时硬件支撑。在噪声抑制与信号增强方面,基于深度学习的自适应滤波算法成为突破点。例如在工业场景中,光纤传感因具备抗电磁干扰、耐腐蚀、传感距离远等优势,广泛应用于油气管道泄漏检测、桥梁结构健康监测等领域,而FPGA赋能的AI信号处理系统可实时提取光纤传感信号中的瑞利散射、布里渊

散射特征,通过深度学习模型精准识别微小泄漏或结构形变信号,同时将信号处理延迟控制在微秒级,满足长距离传感的实时性需求。

数据预处理高效化:多模态数据的并行优化

数据预处理的高效化是另一项关键革新。智能传感系统采集的多模态数据(图像、声波、雷达信号等)具有海量、异构特性,传统CPU处理难以满足实时性要求。FPGA可通过定制化数据处理流水线,实现多通道数据的并行采集、格式转换与归一化。同时,结合AI量化技术,将浮点型数据转换为低位宽整数型,在保证处理精度的前提下,大幅降低存储带宽占用与运算复杂度。

精度与效率双突破:AI-FPGA赋能目标检测

目标检测是智能传感系统的核心决策环节,AI算法与FPGA的融合在此领域实现了精度与效率的双重突破。传统目标检测依赖手工设计特征与传统机器学习算法,泛化能力差,难以应对多尺度、多姿态目标与复杂背景的挑战。基于深度学习的目标检测算法(如YOLO、SSD等)通过多层次神经网络自动学习目标特征,大幅提升了检测精度,但运算复杂度极高,难以在边缘传感设备上部署。FPGA的可重构架构为深度学习算法的边缘端落地提供了定制化加速方案。

协同设计优化:算法与硬件的深度适配

算法优化与硬件架构的协同设计是提升检测性能的关键。研究人员通过对YOLO等

主流算法进行结构剪枝与参数优化,去除冗余运算单元,再利用FPGA的并行运算资源搭建专用处理引擎,实现卷积、池化等核心运算的流水线并行处理。在遥感图像目标检测中,基于FPGA实现的改进YOLOv2网络,成功完成飞机、港口等多尺度目标的快速检测,检测精度与GPU持平,但功耗降低一个数量级,可满足星载、机载等资源受限场景的在轨实时处理需求。

多模态融合:拓展目标检测应用边界

多模态传感融合是目标检测的重要发展方向,FPGA凭借灵活的可配置性,成为多模态数据融合处理的理想平台。在战场态势感知应用中,FPGA智能传感系统集成了红外、声学、雷达等多类传感器,通过AI驱动融合算法对异构数据进行特征层拼接与注意力加权,实现对敌方无人机、爆炸物等目标的可靠检测,较单一传感器检测准确率提升显著,同时满足低时延与低功耗要求。在大型基础设施监测领域,FPGA加速的多模态融合系统可将光纤传感与视觉传感数据相结合,光纤传感负责捕捉结构整体的应力、振动变化,视觉传感精准定位局部损伤位置,有效提升桥梁、隧道等基础设施的健康监测可靠性。在智能驾驶领域,FPGA加速的多模态融合系统可实时融合摄像头、毫米波雷达与激光雷达数据,有效弥补单一传感器在强光、雨雾等恶劣环境下的性能缺陷,提升目标检测的鲁棒性。

现存挑战与应对策略

尽管AI与FPGA赋能智能传感已取得显

著突破,但仍面临诸多挑战。其一,开发门槛较高,需要兼顾AI算法优化与FPGA硬件设计能力,制约了技术普及;其二,内存带宽限制成为性能提升的瓶颈,海量传感数据的高速传输与存储需求对硬件架构设计提出更高要求;其三,多场景自适应能力不足,现有系统难以快速适配不同传感任务与环境变化。针对这些挑战,业界已展开多方面探索:高层次综合(HLS)工具与AI编译器的发展,实现了C++/Python代码到FPGA硬件电路的自动映射,降低了开发难度;新型存储架构与数据压缩技术的应用,有效缓解了内存带宽压力;基于在线学习的动态模型调整技术,正提升系统的场景自适应能力。

未来发展趋势:更高性能与泛在化部署

未来,随着FPGA芯片集成度的提升与AI算法的持续优化,智能传感系统将朝着更高性能、更低功耗、更泛在化的方向发展。一方面,FPGA与专用AI引擎的深度集成,将进一步提升运算效率,支撑更复杂的深度学习模型部署;另一方面,联邦学习等技术的融入,将实现多传感设备间的协同训练与模型更新,提升群体感知能力;此外,低功耗设计的突破将推动智能传感系统在可穿戴设备、物联网终端等领域的广泛普及。

湖南省教育厅科学研究项目:光纤传感智能信号处理与模式识别系统研究(项目编号25C0688),湖南省大学生创新训练计划一般项目——基于FPGA的运动目标检测系统设计(项目编号S202511528127)

混沌通信技术与人工智能在无线通信/6G中的技术革新:构建智能未来的通信架构

■湖南工学院 吴薇 谢琴 牛宇

在无线通信技术向6G演进的关键时期,混沌通信与人工智能的深度融合正在开启全新的技术范式。这一融合不仅代表着两种前沿技术的有机结合,更预示着通信系统将从传统的确定性设计转向自适应、自优化的智能系统。混沌通信技术凭借其信号的自然随机性、频谱的宽带特性以及内在的安全优势,为通信系统提供了独特的物理层特性。而人工智能技术则赋予系统认知、学习和决策的能力,使通信系统能够智能地适应复杂多变的环境。二者的深度融合,正在催生一种能够自主优化、智能防御、高效运行的下一代通信架构,这将对6G网络的设计理念和实现产生深远影响。

智能增强的传输效率革命

在频谱资源日益紧张的背景下,提升传输效率已成为6G系统的重要目标。传统混沌通信系统虽然在抗干扰和安全性方面具备优势,但在频谱效率方面仍有提升空间。人工智能技术的引入为优化混沌通信的频谱效率开辟了全新路径:深度学习算法能够通过海量信道状态数据的学习,建立信道特征与最优传输参数之间的映射关系,从而实时分析信道质量、干扰分布和业务需求,动态优化载波选择、调制方式和功率分配,在提升频谱利用率的同时保障差异化的服务质量;强化学习技术通过建立智能体与环境的交互机制,使通信系统能

够自主探索不同场景下的最优传输策略,在多重目标间实现平衡,并适应未知或快速变化的通信环境;多智能体协同技术则在复杂的多用户、多小区场景中,通过分布式学习与协调实现全局资源的优化配置,以去中心化的智能管理方式降低控制开销,增强网络的扩展性与鲁棒性,共同推动混沌通信系统在6G时代实现传输效率的跨越式提升。

自适应通信质量优化体系

6G时代将面临更加复杂多样的应用场景,从高速移动的车联网到密集部署的工业物联网,对通信质量提出了前所未有的高要求。而混沌通信与人工智能的深度融合为此提供了创新性的解决方案:在信道估计与补偿方面,传统方法难以应对快速时变信道的挑战,而基于机器学习的智能技术能够通过分析信道的时间-频率特性实现对变化的精准预测,特别是结合混沌信号的自相关特性,可从复杂的多径信号中有效提取信道参数,为精确补偿奠定基础;在抗干扰能力上,人工智能赋予系统全新的防御维度,深度学习网络通过对历史干扰数据的学习能够识别不同类型干扰的模式特征并提前实施抑制,系统可根据干扰统计特性动态调整接收参数,在强干扰环境中保持可靠通信,更重要的是智能抗干扰系统具备持续演进的学习能力,能够自适应新型干扰模式的演变;在能效优化方面,人工智能算法可基

于实时业务负载与信道条件智能调控发射功率、节点激活及处理资源分配,借助深度强化学习在不同工作状态下探索最优能效策略,实现通信性能与能耗的精准平衡,这对于能源受限的物联网设备和大规模通信基础设施具有至关重要的实践意义。

智能安全防护体系的构建

安全是6G网络的基础要求,混沌通信与人工智能的融合为构建多层次、自适应安全体系提供了创新路径。在物理层安全方面,深度学习算法可优化混沌信号的生成参数,使其频谱特征更好地融入环境噪声,智能信号处理技术动态调整时频特性以增加非法检测难度,同时基于机器学习的异常检测系统实时监控信号统计特性,及时发现潜在威胁;在密钥管理环节中,混沌系统提供优质随机熵源,智能密钥协商协议根据上下文动态生成会话密钥,机器学习算法分析使用模式以检测泄密风险并启动更新机制;面对复杂网络攻击,深度学习模型通过分析流量模式与设备行为等多维信息识别潜在入侵,结合混沌信号特性构建精细检测特征,强化学习算法更使安全系统能在攻防对抗中持续进化;在隐私保护方面,联邦学习等分布式框架支持本地数据训练以保护用户隐私,差分隐私技术确保数据收集分析过程的严格保障,从而在6G时代构建起既能应对已知威胁又能自适应防御新型攻击的智能安

全防护体系。

系统架构与实现挑战

混沌通信与人工智能融合虽前景广阔,但在工程实现中仍面临多重挑战。计算复杂度与实时性要求最为突出,深度学习算法需要大量计算资源,而通信系统对时延极为敏感,需通过专用处理器设计和算法轻量化来平衡性能与能耗。算法可解释性与可靠性亦为关键,现有深度学习模型的“黑箱”特性可能带来风险,需开发既强大又可解释的算法,并确保其在异常输入下的稳定行为。此外,标准化与互操作性亟待完善,融合技术涉及多领域,需建立统一的接口标准、算法更新协议及安全互操作框架,这有赖于产学研各界的深度协作。

未来融合发展的多维路径

展望未来,混沌通信与人工智能的融合将从多个维度推动6G系统向更智能、更高效、更安全的方向演进。在频谱利用方面,智能混沌系统将充分发挥太赫兹频段的潜力,通过人工智能优化信道估计与波束成形,克服传播损耗等挑战。智能超表面技术的结合将实现对无线环境的主动重塑,显著提升通信可靠性和频谱效率。边缘智能的深度集成使系统具备分布式决策能力,通过本地实时处理与节点协同学习优化全局性能。产业化进程需要算法与硬件的跨学科协作,依托软件定义无线电平台和开源生态加速技术研发与普及,最终推动智能混沌通信成为6G网络的核心组成部分。

湖南省教育厅科学研究项目:基于并行载波索引的多维差分混沌移位键控通信系统的研究(项目编号25C0697),湖南省大学生创新训练计划一般项目——基于并行载波相位索引的差分混沌移位键控通信系统的研究(项目编号S202511528182)

新时代“大思政课”建设的理论根基与实践路径

■江南大学马克思主义学院 徐一泓

个基本遵循。首要的是坚持科学的理论指引,掌握其根本的世界观与方法论,注重将理论逻辑的透彻阐述与时代发展的现实关切紧密结合。其次,应深入汲取中华优秀传统文化与近现代以来形成的宝贵精神资源,将其精髓自然融入课程教学,丰厚课程的文化底蕴与感染力。再次,必须遵循教育发展的内在规律与学生成长成才的客观需要,以推进各学段思想政治教育教育的内涵衔接与纵向贯通为着力点,通过教学创新与评价改革,持续提升育人工作的针对性、实效性、吸引力。

拓展“大思政课”的实践路径,需要在多个维度协同发力。其一,深化纵向一体化建设,建立健全跨学段的教学研讨、师资交流与资源共享机制,强化育人过程的系统性与连续性。其二,精心打造“行走的课堂”,引导学生在乡村振兴、社区治理、科技创新等国家发展与社会生活的真实场域中观察、体悟与实践,深化对国情与时代的理解。其三,积极构建数字化育人新形态,善用虚拟仿真、智慧课堂等信息技术手段,拓展教学边界,创设沉浸式、互动性的学习体验,增强

教育是强国建设与民族复兴的重要基石。近年来,“大思政课”理念的提出与实践,推动思想政治教育突破了传统课堂的时空界限,日益与广阔的社会现实相融合,促成了育人理念与实践模式的系统性演进。

凝聚“大思政课”的建设共识,核心在于坚守立德树人的根本使命。从理论层面审视,这要求超越单一学科的局限,构建协同互融、整体设计的育人格局。就实践操作而言,关键在于系统整合校内外教育资源、社会实践平台与数字信息技术,着力构建全员参与、全过程贯通、全方位联动的育人生态系统。当前,实践中仍面临教学内容衔接不畅、资源分布零散、协同机制有待完善等挑战。破解这些难题,需要在教育理念、工作机制与评价体系上进行深层优化,实现知识传授、能力培养与价值塑造的有机统一。

筑牢“大思政课”的理论根基,需要依托几

教育的现代感与吸引力。其四,完善校地协同与社会联动机制,广泛汇聚各类社会主体与公共资源的育人力量,形成支持学生成长的社会合力。

“大思政课”建设是一项关乎长远、系统集成的育人工程。唯有在理论认识上不断深化,在实践探索中持续创新,促进课内与课外、线上与线下、学校与社会深度融合,才能切实提升思想政治教育的实效,为培养堪当时代重任的栋梁之材奠定坚实基础。