

文章编号: 2095-4980(2024)09-0925-08

智慧物联网在智能网联汽车领域的应用与探讨

梅华悦, 唐华苹, 邓继伟, 付浩源

(信通院工业互联网创新中心有限公司, 重庆 401123)

摘要: 智慧物联网(AIoT)作为人工智能与物联网技术的深度融合体, 已迅速崛起为新一代信息技术的重要发展方向。为充分发掘 AIoT 技术潜能, 专注于 AIoT 技术在智能网联汽车领域的应用与发展, 深入研究了 AIoT 与智能网联汽车的融合体系架构, 系统梳理了 AIoT 在该领域的最新技术应用, 并为利用 AIoT 技术推动智能网联汽车技术进步与发展提供了策略性建议。

关键词: 智慧物联网; 人工智能; 智能网联汽车; 智慧交通

中图分类号: F426; U462.3

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA2024082

Applications and explorations of Artificial Intelligence of Things in the field of intelligent connected vehicles

MEI Huayue, TANG Huaping, DENG Jiwei, FU Haoyuan

(Industrial Internet Innovation Center Co., Ltd., China Academy of Information and Communications Technology, Chongqing 401123, China)

Abstract: Artificial Intelligence of Things(AIoT), as a deep integration of artificial intelligence and IoT technologies, has rapidly emerged as an important development direction for the new generation of information technology. To fully explore the potential of AIoT technology, this paper focuses on the application and development of AIoT technology in the field of intelligent connected vehicles. It delves into the integrated system architecture of AIoT and intelligent connected vehicles, systematically reviews the latest technological applications of AIoT in this field, and provides strategic recommendations for leveraging AIoT technology to promote the advancement and development of intelligent connected vehicle technology.

Keywords: Artificial Intelligence of Things; Artificial Intelligence(AI); intelligent connected vehicles; intelligent transportation

自 2005 年国际电信联盟(International Telecommunication Union, ITU)在突尼斯举行的信息社会世界峰会上正式确定“物联网(Internet of Things, IoT)”概念以来, 物联网^[1]作为战略新兴产业迅速发展。IoT 以传感设备和标准通信协议为基础, 连接物品与互联网, 融合信息空间与物理空间, 实现人、物、环境间信息交互^[2-5]。2018 年, 我国物联设备连接量接近 30 亿, 预计 2025 年将接近 200 亿^[6]。随着物联网终端大规模普及, 传统物联网在海量设备覆盖能力、终端信息采集及时性和准确性、数据分析处理实时性和隐私性、计算能力等技术创新后劲不足, 在人工智能(AI)、数字孪生(Digital Twin)、边缘计算(Edge Computing)等新技术兴起背景下, 智慧物联网(AIoT)应运而生。AIoT 通过机器学习、数据挖掘等方式, 对边缘侧终端设备实时采集的各类数据进行智能化分析处理, 其关键技术和应用前景受到世界各地学者和企业研究人员广泛关注。2023 年, 我国 AIoT 产业市场规模为 14 513 亿元, 占全球 24.7%。同时, 智能网联汽车作为汽车、电子、信息通信和道路交通运输等多个行业深度融合的典范, 不仅代表汽车技术创新热点, 更预示着未来产业发展方向。自 2023 年第三季度迄今, 全国各级政府在智能网联汽车领域已密集出台了近 20 项政策文件, 旨在全方位支持智能网联汽车的产业发展、高效运营、道路测试和示范应用。

为充分发挥 AIoT 技术优势, 不断推进汽车产业向新能源化、智能化、网联化、绿色化方向迈进, 本文集中探讨了 AIoT 在智能网联汽车领域的应用与发展, 深入探究 AIoT 与智能网联汽车的融合体系架构, 并对 AIoT 技

收稿日期: 2024-01-31; 修回日期: 2024-03-28

术在智慧感知、通信技术、车载芯片、自动驾驶和智慧交通等细分领域的最新应用进行了系统梳理。同时, 本文还从标准体系建设、智能设备规模化应用、安全关键技术等角度提出了策略性建议, 以期更好地利用 AIoT 技术推动智能网联汽车技术的创新与发展。

1 AIoT 概念及 AIoT 智能网联汽车融合体系架构

AIoT 通过物联网与人工智能、边缘计算等技术深度融合, 赋能感知、通信、计算和应用等层面, 实现万物智联, 呈现为更高灵活性、自组织性、自适应性、持续演化的物联网系统, 具有物联网终端智能、泛在物联感知、情景自适应通信、分布式群体智能、云边端协同计算、人机物三元融合等特性^[7]。传统物联网具有感知层、网络层和应用层三层体系架构, 而 AIoT 更强调人工智能和物联网的协同应用, 通过智能传感器实现实时信息采集, 在终端、边缘或云进行数据计算和智能分析, 形成智能化生态体系^[8]。吴吉义等^[9]提出云边端融合 AIoT 架构, 包括 IoT 层、边缘计算层和云计算层。IoT 层负责泛在感知和数据采集工作; 边缘计算层负责局部数据存储、计算和处理, 分布式 AI 算法部署和计算等功能; 云计算层可汇集所有边缘感知数据、行业业务数据, 并进行海量数据存储、计算、挖掘, 完成深度学习、集中控制和智能决策, 实现专业领域 AIoT 应用, 感知和分析行业及跨行业态势。

本文提出一种 AIoT 与智能网联汽车融合体系架构, 如图 1 所示, 主要分为 4 个层级: 智慧感知与信息通信层包含激光雷达等各类车载传感器与通信技术, 负责泛在感知、采集信息、预处理并进行数据传输; 基础设施与资源管理层提供芯片(智能网联汽车核心运算单元)、系统软件、服务器等基础设施; 决策控制与自动驾驶层提供用户身份认证、设备连接和控制、车辆位置服务、车路协同等服务; 解决方案和智慧应用层提供智慧交通、智慧城市等应用场景的整体解决方案^[6,9]。

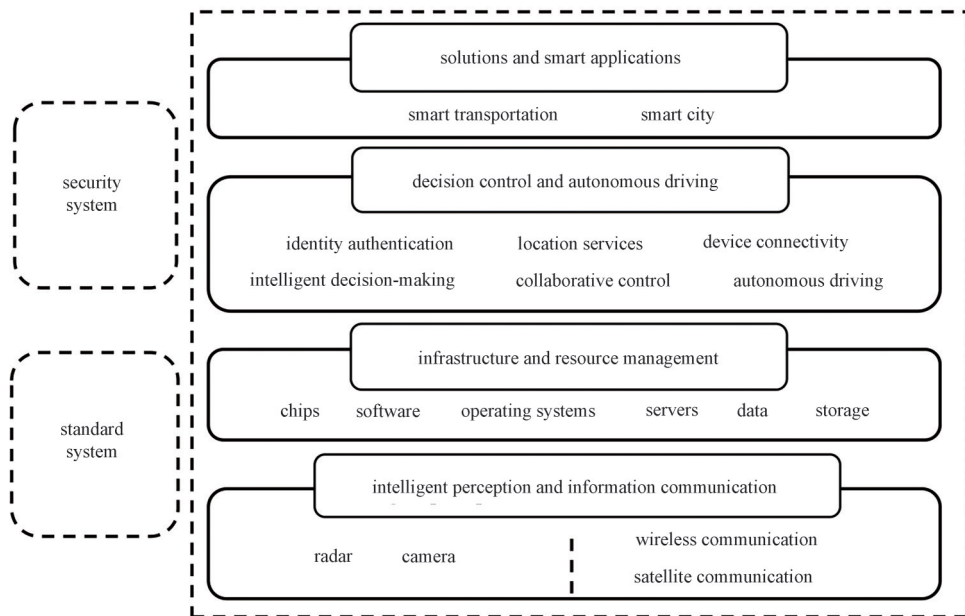


Fig.1 Integrated architecture of AIoT and intelligent connected vehicle integration system

图 1 AIoT 与智能网联汽车融合体系架构

2 AIoT 在智能网联汽车相关领域应用技术

2.1 智能感知与信息通信

环境感知是 AIoT 支撑智能网联汽车发展的底层要求。当前, 大多数量产车型所配备的驾驶辅助系统已普遍集成了毫米波雷达、摄像头以及超声波雷达等多类传感器。尽管激光雷达因成本较高尚未在市场中广泛普及, 但已成为实现高等级自动驾驶不可或缺的传感器之一^[10], 依据 Strategy Analytic 预测数据显示, 全球高级驾驶辅助系统领域的激光雷达需求量将从 2020 年 4.8 万台增长至 2028 年 970 万台。在人车交互方面, 驾驶员监控摄像头、手势识别、语音识别等传感器技术的应用也日益普及, 显著提升了驾驶体验和安全性^[11-12]。目前主流车载传感器分类及分布位置如图 2 所示。

此外，在 AIoT 传感技术领域，郭欣宇^[13]提出一种基于柱编码(Pillar)的智能网联汽车协作感知框架，智能网联汽车基于 Pillar 对点云数据编码之后，使用八叉树(Octomap)压缩数据并传输，可有效减少环境感知盲点，提升远距离三维目标检测精确度。朱逸等^[14]提出基于 AIoT 开放平台和“海量算法+标准硬件”组合模式的车辆智能化管理，通过叠加 AI 算法的传感器可实现油耗监控及驾驶行为监测，并自动感知位置、重量、速度、温度等常规数据。蒋茵^[15]同样提出利用 AIoT 传感技术和通信网络技术监测车辆位置、温度、湿度、振动等信息及环境条件，如温度传感器监测车辆温度，加速度传感器可监测车辆行驶过程中振动情况。

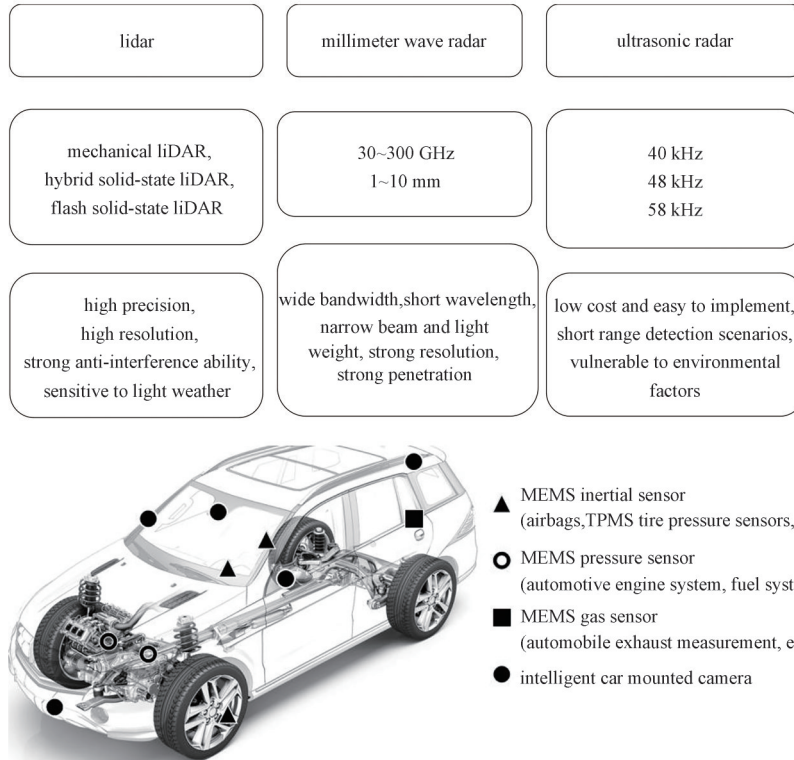


Fig.2 Classification and distribution positions of mainstream onboard sensors
图2 主流车载传感器分类及分布位置

表 1 3 种车载无线通信技术

Table1 Three types of in-vehicle wireless communication technologies

references	communication technology	characteristics	advantages	disadvantages
[13]	DSRC	10~30 m, ISM5.8 GHz,915 MHz,2.45 GHz, 500 kbps/250 kbps, 3DS,RSA encryption	early development, mature technology, exclusive bandwidth	large investment, small coverage, not applicable in high-speed scenarios
[10]	LTE-V2X	security time delay≤20 ms, non-secure time delay≥100 ms, 500 Mbps/1 Gbps, 280 km/h	wide channel, wide coverage, high reliability	poor real-time performance, insufficient market validation
[16]	near link	4.6 Mbps/12 Mbps, time delay interaction 250 μs, support access for 256 users, mutual authentication,cooperation algorithm	low latency, high reliability, fine synchronization, high concurrency	interference signal, high equipment cost, complex technology

在信息通信层，通信网络负责将传感器采集到的数据传输至云平台，支持后续数据的计算存储和分析决策。目前车载无线通信技术(Vehicle to X, V2X)主要包括专用短距离通信技术(Dedicated Short Range Communication, DSRC)和基于蜂窝通信技术的C-V2X(Cellular-V2X)。DSRC 底层协议基于 IEEE 802.11p 和 1609.x，具有专属带宽，但通信距离短，难以适用高速行驶场景。C-V2X 包含基于 4G 设计的车联网无线通信技术(Long Term Evolution V2X, LTE-V2X)和基于 5G 新空口的车联网无线通信技术(5G NR V2X)，LTE-V2X 信道宽，覆盖广，但实时性较差^[10,13]；5G NR V2X 传输可靠性高，速率高，时延低，但费用高，缺乏路侧设备，有关标准尚在形成过程中。此外，“星闪”无线通信技术紧跟智能网联汽车发展趋势，“星闪”基础接入服务器负载均衡(Server Load Balancer,

SLB)技术支持 20 μs 单向时延, 达到 99.999% 传输可靠性, 并实现了 1 μs 同步精确度, 具有低时延、高可靠、精同步和高并发特性, 可承载包括无线主动降噪、汽车无钥匙进入与启动、车载免提通话与车载娱乐系统、无线电池管理系统等典型应用场景。3 种通信技术特性如表 1 所示。

2.2 基础设施与资源管理

AIoT 与智能网联汽车融合体系基础设施层涵盖了零部件、硬件设备、系统软件以及云平台等关键组成部分。其中, 芯片作为智能网联汽车的核心运算单元, 发挥着至关重要的作用, 包括中央处理器(Central Processing Unit, CPU)、图形处理器(Graphics Processing Unit, GPU)、现场可编程门阵列(Field Programmable Gate Array, FPGA)以及专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit, ASIC)等, 它们共同支撑着智能网联汽车的高效运算和各项功能的实现^[10,17]。英伟达(NVIDIA)、英特尔(Intel)和高通(Qualcomm)等科技巨头纷纷进军车载 AI 芯片产业, 旗下的 DRIVE Xavier、DRIVE Orin、MobileyeQ4、Snapdragon 8155 等智能网联汽车专用芯片, 如表 2 所示, 为自动驾驶系统提供了强大的计算能力, 能够处理复杂的感知、决策和控制任务。此外, NVIDIA 还特别针对车载加速计算, 推出了安全操作系统 DRIVE OS, 不仅进一步提升了硬件计算性能, 还确保了不同计算需求安全性和稳定性。

此外, 长安汽车在重庆举行了 UNI-T 车型 L3 级自动驾驶量产体验, 搭载车载 AI 芯片“征程二号”, 该芯片由人工智能芯片初创公司“地平线”于 2019 年发布^[11]。中国电信天翼物联网平台已在车联网领域实现应用, 助力高合汽车打造车联网卡流量监测和管理系统, 每日接口调用超 50 万次^[18], API 接口平均时延降低超 30%。目前, 中国已成立“开放指令生态(RISC-V Instruction Set Architecture)”联盟, 相关芯片、软件、整机等生产企业利用 AI 技术创新, 大力发展智能网联汽车用关键零部件, 抢占发展制高点^[19]。

表 2 NVIDIA、Intel、Qualcomm 车载芯片性能参数及典型应用领域

Table 2 Performance parameters and typical application areas of NVIDIA, Intel, Qualcomm automotive chips

references	manufactures	chip	performance	typical application areas
[20]	NVIDIA	DRIVE Xavier	30 TOPS, 30 W, 8-core CPU, 512-core Volta GPU	real time image diagnosis, lane detection based on CNN/LSTM the average accuracy of lane departure warning is 96.36%
[21]		DRIVE Orin	254 TOPS, 7 nm, high speed peripheral interface, high memory bandwidth 205 GB/s	real time vehicle detection, advanced autonomous driving(L2~L5) real time detection of target vehicles (400 feet)
[22]	Intel	MobileyeQ4	2.5 TOPS, 3 W, 28 nm	visual processing, pedestrian detection, lane keeping, adaptive cruise control bidirectional CAN, obtaining vehicle yaw rate, speed, lane width, and lane marking width, etc
[23]	Qualcomm	Snapdragon 8155	8 TOPS, 7 nm, 8-core CPU, Supports 4 G LTE, Wi-Fi, and Bluetooth	lane positioning, data transmission, car multimedia high image processing performance, high data transmission speed

2.3 控制决策与自动驾驶

AIoT 引领的汽车自动驾驶技术正经历飞速发展^[9,11], AI 算法技术在智能网联汽车领域持续创新演进。全球研究者们借助深度学习(Deep Learning, DL)、监督学习(Supervised Learning, SL)、强化学习(Reinforcement Learning, RL)等先进 AI 算法, 在自动驾驶和智能决策技术领域不断取得新突破, 在路径规划、障碍物躲避、目标识别、车道定位、故障检测等关键应用领域表现尤为出色, 如表 3 所示。在自动驾驶解决方案领域, Intel、NVIDIA 分别推出了 Intel Go 自动驾驶解决方案和 NVIDIA Drive PX2 开放式 AI 车载计算平台, 可精准识别行人和车道信号灯, 并能对传感器收集的数据进行迅速分析处理^[24]。华为也推出了自动驾驶网络(Autonomous Driving Network, ADN)^[25], 包含云端智能、网络智能及网元智能 3 层架构, 目前已联合 Vodafone 打造欧洲无线网络自动驾驶示范区。Waymo、Uber、通用等企业已进行车辆自动化驾驶公开道路测试和虚拟仿真环境测试, 覆盖 L2~L4 级^[10]。

表3 智能网联汽车领域AI算法应用
Table3 Application of AI algorithms in the field of intelligent connected vehicles

references	AI algorithm		application
[21]	Convolutional Neural Network(CNN)	YOLOv4	vehicle detection,
[23]		LLNet	lane positioning,
[26]		Softmax	vehicle steering angle prediction
[27]	Recurrent Neural Network(RNN)	LE-net	night driving light image enhancement,
[28]		MPC	vehicle lateral control and lane keeping,
[29]		GNN-RNN	trajectory prediction
[30]	Decision Tree(DT)	GRIT	target recognition
[31]		LSS analysis	road deviation warning
[32]	Support Vector Machine(SVM)	data-based SVM	steering actuator fault diagnosis
[33]		DCNN-SVM	diagnosis of composite faults in bearings and rotors
[34]	Q-learning	DQ-GAT	automatic driving such as giving way,merging,etc
[35]		QGD-RRT	autonomous driving route simulation
[36]	Long Short-Term Memory Deep Q-Network(LSTM-DQN)	CARLA simulator	vehicle control and safety distance maintenance
[37]		Dueling DQN	end to end autonomous driving architecture
[38]		ETDQN	reduce communication loss
[39]	Proximal Policy Optimization(PPO)	MA-PPO	optimization of traffic management at crossroads
[40]		PPO-RNN	improve driving training efficiency and control performance

2.4 智慧交通应用

智慧交通作为新一代信息技术与交通运输服务深度融合的新型交通发展模式，展现出智能化、高效化、安全化的显著特点，其基于AIoT的体系架构如图3所示。同时，AIoT技术在智慧交通领域已开展了一系列深入研究。梁广文等^[41]提出一种基于AIoT的交通流疏导全息可视化感知控制系统，该系统由智能信号灯硬件、大数据分析及其可视化面板、第三方摄像头接入模块、疏导算法组成。系统硬件包含JETSON NANO主控、摄像头模块和AI模块，AI模块主要实现目标检测，基于YOLOv5进行卷积神经网络训练，深度学习框架选择Pytorch，并使用DeepSORT多目标追踪的卡尔曼滤波和匈牙利算法进行深度预测、更新定位目标并记录。同时，该系统依托一种交通疏导算法，自动优化红绿灯配置时间，并调整不同行驶优先级车辆的路口通过速度。此外，在城市交通管理领域，AIoT技术能够通过智能监控对城市各路段的人车流量视频图像进行深入分析。基于这些数据分析结果，再配合红绿灯控制系统的优化，AIoT技术能够有效规划交通路径，显著缓解城市交通拥堵问题^[9]。

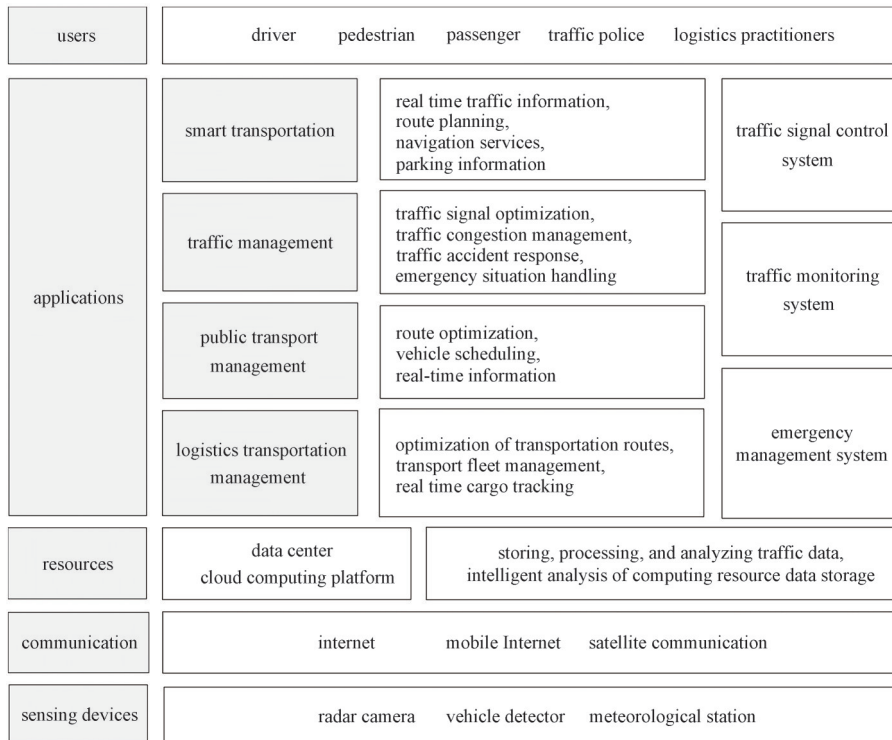


Fig.3 Architecture of intelligent transportation system based on AIoT
图3 基于AIoT的智慧交通体系架构

2.5 企业生产配套设施

对于汽车整车和零部件生产企业,产业园区是入驻企业发展的重要载体,顾佳樱等^[42]提出一种基于AI技术的新型智慧园区解决方案,以园区空间公共信息模型(Common Information Model, CIM)为基础底座,利用物联网感知平台支持设备接入。平台支持Wi-Fi、2/3/4/5G、NB-IoT、以太网等设备联网方式和HTTP、MQTT、CoAP、ZigBee等网络传输交换协议,通过人工智能中枢开发基于AI技术的视频分析、光学字符识别(Optical Character Recognition, OCR)分析的可复用技术模型,对产业园区进行“归建管”一体化管理和三维可视化运营。此外,在整车、零部件企业生产中,安全监管问题同样不容忽视。刘洋等^[43]构建了一种基于AIoT的安全生产监管平台,包括融合区块链的物联感知、AI智能预警、知识图谱等关键技术。融入区块链技术可全程记录物联终端设备的运行数据,确保数据真实可信;AI预警技术基于CrackFormerNet算法,面向安全生产异常场景识别,实时监控分析现场画面,发现吸烟、未正确穿戴安全用品等违规行为并反馈,利用Stanford CoreNLP、Apache OpenNLP等开源工具构建面向安全生产隐患排查知识图谱,精细化排查安全隐患。

3 AIoT在智能网联汽车领域应用发展建议

当前,AIoT在智能网联汽车领域的应用技术研究仍处于起步阶段,但其在更高级别的自动驾驶领域展现出极大发展潜力。为加快推动AIoT与智能网联汽车技术融合发展,需从以下几方面考虑:一、尽快构建AIoT在智能网联汽车应用领域标准化体系。智能网联汽车标准体系庞大,组合驾驶辅助、自动驾驶通用功能、单车智能和网联协同的标准体系尚未成型,同时,AIoT还需依据智能网联汽车行业技术特点和应用需求,构建组网通信协议、标识编码、数据安全、网络安全等基础技术标准和行业应用规范;二、加快实现智能设备规模化应用。积极布局激光雷达、高算力芯片、智能汽车域控制器、智能座舱相关零部件产业,提升AIoT应用场景下传感器的稳定性、可靠性、精确度、灵敏度、智能化,压缩成本和功耗,提高传感器规模化应用水平;三、加快研究AIoT安全关键技术。智能网联汽车应用场景复杂,需人、车、路、云等多要素融合交互,部署在工作环境中的传感器易受到信息泄露、侵入网络、拒绝服务等网络安全、数据安全风险挑战,故建立满足机密性、完整性、可用性、抗抵赖性、可控性的用户认证技术、数据加密技术、安全传输技术等AIoT网络信息安全关键技术迫在眉睫。

4 结束语

智能化与网联化已成为汽车产业发展的必然趋势。智能网联汽车产业的进步紧密依赖于人、车、路之间的数据互通与多边协同合作。AIoT技术凭借其物联网终端的智能化、广泛的物联感知能力、AI深度学习能力以及云边端的协同计算能力,增强了汽车在环境感知、行驶环境识别、智能决策以及协同控制等核心功能模块的表现,不仅加速了汽车自动驾驶与网联交互的实现,还显著提升了汽车的安全性、舒适性和运行效率,为智能网联汽车产业的高质量发展注入了强大动力。

参考文献:

- [1] 万茜,蒋丽凤,刘子威,等. 卫星物联网混合随机接入技术[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2023,21(7):901-909. (WAN Qian, JIANG Lifeng, LIU Ziwei, et al. Hybrid random access technology of satellite internet of things[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2023,21(7):901-909.) doi:10.11805/TKYDA2022110.
- [2] 刘强,崔莉,陈海明. 物联网关键技术与应用[J]. 计算机科学, 2010,37(6):1-4, 10. (LIU Qiang, CUI Li, CHEN Haiming. Key technologies and applications of Internet of Things[J]. Computer Science, 2010,37(6):1-4, 10.) doi:10.3969/j.issn.1002-137X.2010.06.001.
- [3] 钱志鸿,王义君. 物联网技术与应用研究[J]. 电子学报, 2012,40(5):1023-1029. (QIAN Zhihong, WANG Yijun. IoT technology and application[J]. Acta Electronica Sinica, 2012,40(5):1023-1029.) doi:10.3969/j.issn.0372-2112.2012.05.026.
- [4] 孙其博,刘杰,黎彝,等. 物联网:概念、架构与关键技术研究综述[J]. 北京邮电大学学报, 2010,33(3):1-9. (SUN Qibo, LIU Jie, LI Shan, et al. Internet of Things: summarize on concepts, architecture and key technology problem[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2010,33(3):1-9.) doi:10.3969/j.issn.1007-5321.2010.03.001.
- [5] 王保云. 物联网技术研究综述[J]. 电子测量与仪器学报, 2009,23(12):1-7. (WANG Baoyun. Review on Internet of Things[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2009,23(12):1-7.)
- [6] 李天慈,赖贞,陈立群,等. 2020年中国智能物联网(AIoT)白皮书[J]. 互联网经济, 2020(3):90-97. (LI Tianci, LAI Zhen, CHEN Liqun, et al. 2020 China's intelligent internet of things(AIoT) white paper[J]. Digital Economy, 2020(3):90-97.) doi:10.3969/j.issn.2095-8560.2020.03.016
- [7] 郭斌,刘思聪,刘琰,等. 智能物联网:概念、体系架构与关键技术[J]. 计算机学报, 2023,46(11):2259-2278. (GUO Bin, LIU

- Sicong,LIU Yan,et al. AIoT:the concept, architecture and key techniques[J]. Chinese Journal of Computers, 2023,46(11):2259–2278.) doi:10.11897/SP.J.1016.2023.02259.
- [8] 高微,陈新元,王榕国. 智能物联网 AIoT 的概念及应用场景的研究[J]. 信息通信技术, 2023,17(3):80–84. (GAO Wei,CHEN Xinyuan,WANG Rongguo. Research on the concept and application scenarios of intelligent internet of things[J]. Information and Communications Technologies, 2023,17(3):80–84.) doi:10.3969/j.issn.1674–1285.2023.03.014.
- [9] 吴吉义,李文娟,曹健,等. 智能物联网 AIoT 研究综述[J]. 电信科学, 2021,37(8):1–17. (WU Jiyi,LI Wenjuan,CAO Jian,et al. AIoT:a taxonomy,review and future directions[J]. Telecommunications Science, 2021,37(8):1–17.) doi:10.11959/j.issn.1000–0801.2021204.
- [10] 黄国凯. 人工智能在智能网联汽车上的应用进展研究[J]. 内燃机与配件, 2022(3):226–228. (HUANG Guokai. A study on the progress of artificial intelligence application on smart networked vehicles[J]. Internal Combustion Engine & Parts, 2022(3):226–228.) doi:10.3969/j.issn.1674–957X.2022.03.073.
- [11] 黄国盛. 人工智能技术在智能网联汽车领域的应用[J]. 数字技术与应用, 2022,40(9):36–38. (HUANG Guosheng. The application of artificial intelligence technology in the field of intelligent connected vehicles[J]. Digital Technology and Applications, 2022,40(9):36–38.) doi:10.19695/j.cnki.cn12–1369.2022.09.11.
- [12] 张海涛,张敏,张继文,等. 人工智能时代下智能网联汽车的发展与应用探索[J]. 科技创新与应用, 2023,13(29):181–184. (ZHANG Haitao,ZHANG Min,ZHANG Jiwen,et al. Exploration of the development and application of intelligent connected vehicles in the era of artificial intelligence[J]. Technology Innovation and Application, 2023,13(29):181–184.) doi:10.19981/j.cn23–1581/G3.2023.29.044.
- [13] 郭欣宇. 基于深度学习的智能网联汽车的感知与通信相关技术研究[D]. 长春:吉林大学, 2023. (GUO Xinyu. Research on perception and communication related technologies of intelligent connected vehicles based on deep learning[D]. Changchun, China:Jilin University, 2023.)
- [14] 朱逸,金任群. AIoT:AI落地场景闭环[J]. 企业管理, 2023(8):106–108. (ZHU Yi,JIN Renqun. AIoT:AI landing scene closed-loop[J]. Enterprise Management, 2023(8):106–108.) doi:10.3969/j.issn.1003–2320.2023.08.030.
- [15] 蒋茵. AIoT驱动下的智慧物流系统构建研究[J]. 中国航务周刊, 2023(45):59–61. (JIANG Han. Research on the construction of intelligent logistics system driven by AIoT[J]. China Shipping Gazette, 2023(45):59–61.)
- [16] 马战凯. "星闪"技术优势、场景及发展思考[J]. 通信企业管理, 2023(9):74–76. (MA Zhankai. Advantages,scenarios,and development considerations of "star flash" technology[J]. C-Enterprise Management, 2023(9):74–76.)
- [17] 孙琳. 人工智能技术在智能网联汽车中的应用[J]. 汽车测试报告, 2023(12):40–42. (SUN Lin. The application of artificial intelligence technology in intelligent connected vehicles[J]. Car Test Report, 2023(12):40–42.)
- [18] 陈晓晟. 5G+AIoT 重塑物联网深度赋能数字经济发展[N]. 通信信息报, 2023–10–18(5). (CHEN Xiaosheng. 5G+AIoT Reshapes the internet of things and empowers the development of digital economy[N]. Communication Information Report, 2023–10–18(5).)
- [19] 余阿东,赵琨,蔡合超,等. 人工智能创新驱动智能网联汽车产业发展路径研究[J]. 汽车文摘, 2023(8):1–6. (YU Adong,ZHAO Kun,CAI Hechao,et al. Research on the development path of artificial intelligence innovation driven intelligent connected vehicle industry[J]. Automotive Digest, 2023(8):1–6.) doi:10.19822/j.cnki.1671–6329.20230046.
- [20] KORTLI Y,GABSI S,VOON L F C L Y,et al. Deep embedded hybrid CNN–LSTM network for lane detection on NVIDIA Jetson Xavier NX[J]. Knowledge–Based Systems, 2022(240):107941. doi:10.1016/j.knosys.2021.107941.
- [21] BARNELL M,RAYMOND C,SMILEY S,et al. Ultra low–power deep learning applications at the edge with Jetson Orin AGX hardware[C]// Proceedings of the 2022 IEEE High Performance Extreme Computing Conference. Waltham, MA, USA: IEEE, 2022:1–4. doi:10.1109/HPEC55821.2022.9926369.
- [22] SONG Shiping,WU Jian,ZHANG Sumin,et al. Research on target tracking algorithm using millimeter–wave radar on curved road[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2020(4):1–21. doi:10.1155/2020/3749759.
- [23] CHANG K,YAN Li. LLNet:a fusion classification network for land localization in real–world scenarios[J]. Remote Sensing, 2022, 14(8):1876. doi:10.3390/rs14081876.
- [24] 姜菲菲. 关于人工智能在智能网联汽车上的应用进展研究[J]. 电子世界, 2020(22):10–11. (JIANG Feifei. Research on the application progress of artificial intelligence in intelligent connected vehicles[J]. Electronics World, 2020(22):10–11.)
- [25] 张永宏. 基于 5G 车联网的智慧交通平台搭建[J]. 通信与信息技术, 2022(S2):28–31. (ZHANG Yonghong. Building a smart transportation platform based on 5G connected vehicles[J]. Communication & Information Technology, 2022(S2):28–31.)
- [26] DANGSKUL W,PHATTARAVATIN K,RATTANAPORN K,et al. Real–time control using convolution neural network for self–driving cars[C]// 2021 the 7th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology(ICEAST). Pattaya, Thailand:IEEE, 2021:125–128. doi:10.1109/ICEAST52143.2021.9426255.

- [27] LI Guofa, YANG Yifan, QU Xingda, et al. A deep learning based image enhancement approach for autonomous driving at night[J]. Knowledge-Based Systems, 2021(213):106617. doi:10.1016/j.knosys.2020.106617.
- [28] QUAN Yingshuai, CHUNG C C. Approximate model predictive control with recurrent neural network for autonomous driving vehicles[C]// Proceedings of the 2019 58th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan. Hiroshima, Japan: IEEE, 2019:1076–1081. doi:10.23919/SICE.2019.8859955.
- [29] MO Xiaoyu, XING Yang, LYU Chen. Graph and recurrent neural network-based vehicle trajectory prediction for highway driving[C]// Proceedings of the 2021 IEEE International Intelligent Transportation Systems Conference. Indianapolis, IN, USA: IEEE, 2021:1934–1939. doi:10.1109/ITSC48978.2021.9564929.
- [30] BREWITT C, GYEVNAR B, GARCIN S, et al. GRIT: fast, interpretable, and verifiable goal recognition with learned decision trees for autonomous driving[C]// Proceedings of the 2021 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Prague, Czech Republic: IEEE, 2021:1023–1030. doi:10.1109/IROS51168.2021.9636279.
- [31] PAPPALARDO G, CAFISO S, DI GRAZIANO A, et al. Decision tree method to analyze the performance of lane support systems[J]. Sustainability, 2021, 13(2):846. doi:10.3390/su13020846.
- [32] SHI Qian, ZHANG Hui. Fault diagnosis of an autonomous vehicle with an improved SVM algorithm subject to unbalanced datasets[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2021, 68(7):6248–6256. doi:10.1109/TIE.2020.2994868.
- [33] XUE Yan, DOU Dongyang, YANG Jianguo. Multi-fault diagnosis of rotating machinery based on deep convolution neural network and support vector machine[J]. Measurement, 2020(156):107571. doi:10.1016/j.measurement.2020.107571.
- [34] CAI Peide, WANG Hengli, SUN Yuxiang, et al. DQ-GAT: towards safe and efficient autonomous driving with deep Q-learning and graph attention networks[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2022, 23(11):21102–21112. doi:10.1109/TITS.2022.3184990.
- [35] SHANG Yuze, LIU Fei, QIN Ping, et al. Research on path planning of autonomous vehicle based on RRT algorithm of Q-learning and obstacle distribution[J]. Engineering Computations, 2023, 40(5):1266–1286. doi:10.1108/EC-11-2022-0672.
- [36] AHMED M, LIM C P, NAHAVANDI S. A deep Q-network reinforcement learning-based model for autonomous driving[C]// Proceedings of the 2021 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC) Melbourne, Australia: IEEE, 2021:739–744. doi:10.1109/SMC52423.2021.9658892.
- [37] PENG Baiyu, SUN Qi, LI S E, et al. End-to-end autonomous driving through dueling double deep Q-network[J]. Automotive Innovation, 2021, 4(3):328–337. doi:10.1007/s42154-021-00151-3.
- [38] LU Jingwei, HAN Liyuan, WEI Qinglai, et al. Event-triggered deep reinforcement learning using parallel control: a case study in autonomous driving[J]. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 2023, 8(4):2821–2831. doi:10.1109/TIV.2023.3262132.
- [39] GUAN Yang, REN Yangang, LI S E, et al. Centralized cooperation for connected and automated vehicles at intersections by proximal policy optimization[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2020, 69(11):12597–12608. doi:10.1109/TVT.2020.3026111.
- [40] WU Yuanqing, LIAO Siqin, LIU Xiang, et al. Deep reinforcement learning on autonomous driving policy with auxiliary critic network[J]. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2023, 34(7):3680–3690. doi:10.1109/TNNLS.2021.3116063.
- [41] 梁文广, 许珺琪, 陈建耀. 基于 AIoT 的交通流疏导全息可视化感知控制系统[J]. 电子技术与软件工程, 2023(3):174–177. (LIANG Wenguang, XU Junqi, CHEN Jianyao. A holographic visual perception and control system for traffic flow guidance based on AIoT[J]. Electronic Technology and Software Engineering, 2023(3):174–177.)
- [42] 顾佳樱, 夏振中. 基于 5G、AIoT、数字孪生技术的新型智慧园区解决方案研究[J]. 中国新通信, 2023, 25(5):31–33, 40. (GU Jiaying, XIA Zhenzhong. Research on new smart park solutions based on 5G, AIoT, and digital twin technologies[J]. China New Telecommunications, 2023, 25(5):31–33, 40.) doi:10.3969/j.issn.1673-4866.2023.05.012.
- [43] 刘洋, 李相国, 连良秀. 基于 AIoT 的安全生产监管平台关键技术研究[J]. 网络安全技术与应用, 2022(12):7–9. (LIU Yang, LI Xiangguo, LIAN Liangxiu. Research on key technologies of safety production supervision platform based on AIoT[J]. Network Security Technology & Application, 2022(12):7–9.)

作者简介:

梅华悦(1995–), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为物联网、工业互联网、企业数字化转型. email: meihuayue@caict.ac.cn.

唐华莘(1995–), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为工业互联网、数字化转型.

邓继伟(1992–), 男, 学士, 助理工程师, 主要研究方向为工业互联网标识解析相关技术.

付浩源(1997–), 男, 学士, 助理工程师, 主要研究方向为工业互联网标识解析体系、企业数字化转型.