



专题：车联网与安全

面向安防场景的智能网联巡逻车关键技术及应用

刘玉超¹, 李子月^{1,2}

(1. 一体化指挥调度技术国家工程实验室, 北京 100080;
2. 南京航空航天大学自动化学院导航研究中心, 江苏 南京 211106)

摘 要: 结合行业场景的实践应用, 是当前人工智能技术普遍面临的问题。面向安防应用场景, 研究无人驾驶技术的实践落地——智能网联巡逻车。感知系统集成视觉、雷达、惯性导航等多种传感器, 利用人工智能、数据融合等关键技术实现对平台本体、道路环境及目标行为的准确识别。将人类经验 (human intelligence, HI) 的场景认知和人工智能 (artificial intelligence, AI) 的计算认知相结合, 构建面向安防场景的混合智能认知系统。基于“人在回路”系统架构, 依托 5G 通信、V2X (vehicle to everything)、边缘计算等技术, 将自动驾驶和指挥调度融合, 设计了人、机器、环境之间等多种交互模式, 保证了系统安全、可靠、稳定运行, 大幅提高工作效率。

关键词: 自动驾驶; 指挥调度; 5G; 混合智能; 人机交互

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020133

Key technology and application of intelligent connected patrol vehicles for security scenario

LIU Yuchao¹, LI Ziyue^{1,2}

1. National Engineering Laboratory for Integrated Command and Dispatch Technology, Beijing 100080, China
2. Navigation Research Center, College of Automation Engineering,
Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China

Abstract: Practical applications combined with industry scene is a common problem in the present artificial intelligence technology. Facing the security application scenario, the practice landing of unmanned technology -- intelligent connected patrol vehicle was studied. Integrating different sensors such as camera, LiDAR, inertial navigation system (INS), etc, the awareness system can accurately identify the platform itself, road conditions and target behavior using key technology such as artificial intelligence (AI), data fusion. Combining human intelligence (HI) in scene cognition of human experience and artificial intelligence (AI) in cognition of computing, a hybrid intelligent cognitive system using to security scene was built. Based on human in the loop system architecture and technology such as 5G, vehicle to everything (V2X), edge computing, etc, different interactions between human, machine and environment were designed, which ensured the safe and reliable operation of the system and increased the work efficiency by a wide margin.

Key words: automatic driving, command and dispatch, 5G, hybrid intelligence, human-machine interaction



1 引言

近年来,汽车自动驾驶技术研究被推向前所未有的高度,吸引了全球大量的高科技企业、研究机构、金融投资机构参与其中,耗费了巨大的人力、物力和财力。美国国防部高级研究计划局(DARPA)分别于2004年^[1]、2005年^[2]和2007年^[3]举办了3届智能驾驶挑战赛,各参赛队伍呈现出的突破性技术成果,让全世界看到了希望的曙光,也拉开了智能驾驶产业发展的序幕,世界各大科技强国争相投入技术研发中。

2006年,Geoffrey Hinton教授在《科学》杂志发表的一篇文章中提出了深度学习及其模型训练方法,有效解决了困扰深层神经网络发展的梯度消失这一瓶颈问题^[4]。这一突破性进展,引发了全世界对深度学习算法研究的热潮,研究者们将其成果成功运用于图像处理、语音识别、自然语言处理等多个研究领域。这与同时期发展的汽车自动驾驶技术完美地结合在一起,自动驾驶系统中环境感知、认知决策为人工智能技术发展提供了良好的落地场景。同时,人工智能技术在图像识别、激光雷达点云处理、决策规划、智能控制中的出色表现,极大地推进了自动驾驶技术的研发速度。谷歌、特斯拉、奔驰、宝马等各大科技企业及汽车主机厂相继开展自动驾驶技术研究、测试等工作,2018年,美国汽车工程师学会(Society of Automotive Engineers, SAE)发布了J3016标准文件,将自动驾驶分为L0~L5共6个等级^[5],推动自动驾驶技术标准化、产业化工作。

随着自动驾驶产业投资、技术研发和试验测试逐步回归理性,大家清楚认识到:自动驾驶技术,尤其是公开道路出行场景的L5级别量产自动驾驶汽车实现难度远超预期;但在面向特定场景、限定速度范围的情况下,与5G、V2X、指挥调度等技术相结合,就可以在网联化程度与智能化程度之间找到安全、可靠、高效的解决方案。基于

此,面向低速场景的智能网联车正逐渐从科研走向实际应用。

环境的不确定性给智能感知技术带来极大挑战,面向特定场景、限定速度范围、V2X^[6],都是为了降低不确定性。面向特定场景下的无人车除了行进,往往还搭载着任务载荷辅助完成某项任务,此时的无人车不是一个独立个体,而是整个场景指挥调度系统中的一员,与远程的调度中心系统、指挥调度员都要进行任务指令和状态交互。此时的人机交互^[7]既是一项工作,也可以帮助无人车最终解决不确定性环境感知的可靠性问题,人机协同^[8]技术在智能网联车中发挥重要作用。5G将为此提供通信支撑,2018年6月,3GPP^[9]发布了第一阶段5G通信技术国际标准,并且定义了增强移动宽带、低时延高可靠和海量大连接三大场景。相对于云计算,边缘计算^[10]具有实时性好、安全性高、网络带宽压力小的优点,依托5G的边缘计算为智能网联车工程化应用提供了有力保障^[11],同时,车联网也是ETSI^[12]发布的7种典型应用场景之一。

安防巡逻是智能网联巡逻车落地应用的最佳场景之一,具有典型低速度、高频次、刚性需求、大流量特性,同时,技术实现难度相对较低。下面将详细描述面向安防场景的智能网联巡逻车关键技术及应用。

2 安防巡逻场景需求分析

2.1 安防巡逻场景现状

据公开数据显示,和谐稳定的社会环境一般要求警察数占总人口数的比例不低于0.3%,欧美等发达国家和地区甚至达到0.4%以上,我国虽然拥有180万警力,但人均比仅为0.12%,警力缺口巨大。2013年,公安部发布5年统计数据,年均牺牲警察441人,其中,“过劳死”成首要原因,所占比例超过50%,而牺牲人数排在前两位的是派出所民警和交警。2018年年底,由中央政法委举办的

第三届平安中国“三微”比赛颁奖活动中,首度公开了5年来政法系统牺牲人数,其中,公安系统2061人,牺牲率高达千分之一,几乎每天都有民警牺牲。

作为警察“过劳死”的重灾区,派出所承担的任务十分繁重,其中,治安巡逻是一项较为突出的耗时、耗力的工作。目前,城市治安巡逻主要依靠人力完成,派出所每年投入大量的民警,且无法保证24 h全覆盖,由于巡逻警力覆盖不足导致的违法案件时有发生。同时,工业园区、景区、校区、居民社区等场所,每年需要数百万保安人员来完成安防巡逻工作,人力成本巨大,并且,传统巡更式的工作方式,巡逻效果主要依赖工作人员责任心,效率较低。

以人为主的安防巡逻,是一项典型的劳动力密集型工作,依靠大量人员投入来保证周期性覆盖,随着人口老龄化加剧及人工成本上升,安防巡逻工作的人工成本将会越来越高。相比于其他工作,巡逻工作相对乏味、枯燥,并且环境恶劣、艰苦,尤其是严寒、酷暑、雨雪、夜晚等极端场景,工作人员心理和生理都承受巨大的伤害。同时,巡逻工作的上述特点,也容易造成工作人员消极、懈怠,人员监督和管理又将额外耗费大量的管理成本。

2.2 安防巡逻场景特点

安防巡逻工作是稳定社会秩序、预防和处置违法犯罪事件的重要手段,为社会和谐、稳定和发展做出了重大贡献。安防巡逻一般是在确定的区域内,按照固定路线,周期性地巡视,及时发现和处置违法违规事件。安防巡逻的主要目的是防范和处置治安事件,但是,和普通工作不同,越是夜晚、严寒酷暑、极端自然环境,越是安防事件高发期,这无疑增加了以人为主的传统巡逻方式的工作难度。据犯罪心理学统计,46.6%罪犯优先选择便于逃跑的场景作案,因此,夜晚是明显的犯罪高发期,数据显示,54.8%的案件发生在18:00至凌晨1:00这7个小时内。

临时起意在治安事件犯罪动机中占有较大比

例,以网约车犯罪案件为例,2018年最高法公布的数据显示,临时起意占比高达61.11%。针对这一现象,理论上,通过实现全天候不间断巡逻,增加覆盖范围和频次,提高威慑力,可以有效减少此类治安事件的发生。但是,由于传统安防巡逻过度依赖人力,因此,在目前工作机制和效率下,难以得到明显改善。

2.3 安防场景智能网联巡逻车

随着我国城市化进程快速推进,安防巡逻覆盖不足、效率低所引发的安全问题越来越突出,向科技要警力已经成为安防领域大势所趋。针对安防巡逻场景存在的上述实际问题,目前市场上出现了一些安防巡逻产品,但是由于存在智能化程度不足、系统可靠性较低、交互效果不理想等诸多问题,暂时并未取得较好的推广应用效果。

安防巡逻场景具有路线较为固定、行驶工况相对简单、工作任务明确、速度低等工作特点,场景定制化的自动驾驶技术成熟度较高,是智能网联车的首选落地场景之一。本文提出将限定场景自动驾驶和指挥调度技术相结合,研究面向安防场景的智能网联巡逻车,通过人机协同的工作模式,重点解决人员不足、劳动强度大、巡逻效率低等痛点问题,具有响应速度快、处理效率高、全天候在线等明显优势。

另外,日常安防巡逻是极其重要的安防数据获取途径,智能网联巡逻车集成了多种传感器,同时也搭载了相关安防监测、预警、调度装备,通过对多源异构数据融合和处理,形成特定区域的结构化安防大数据,可以实现对特定目标、事件的快速检索,趋势分析等,充分发挥人工智能、大数据等技术在安防场景中的优势。

3 面向安防场景的智能网联巡逻车系统

本文面向安防场景应用需求,基于“HI(human intelligence)+AI(artificial intelligence)”基本思想,将自动驾驶和指挥调度技术相结合,



依托智能感知、5G 通信、边缘计算、V2X、数据融合等多项关键技术，研究了智能网联巡逻车，系统基本原理如图 1 所示。

如图 1 所示，智能网联巡逻车集成了激光雷达、毫米波雷达、视觉、卫星定位、惯性导航等传感器，在自主巡逻过程中实时采集数据，并在边缘计算平台进行在线处理。巡逻车通过驾驶认知获得障碍物、道路信息、自身状态等信息，并进行行为决策和轨迹规划；通过场景认知获得治安场景中的人员、车辆等目标及其行为等信息，并通过多源异构数据融合，自动生成包含人、地、事、物、组织的结构化安防大数据；通过 V2X，实现对道路车辆、路面设施、行人等目标感知。巡逻车具备人工驾驶、自动驾驶和远程人机协同驾驶 3 种模式，并根据场景认知数据，通过多机协同、人机交互等多种方式完成事件应急处理、警情上报等场景任务。指挥调度中心在安防大数

据平台支撑下，将场景认知和计算认知相结合，构建面向安防场景的云平台，既拥有丰富的安防巡逻经验，又具备强大数据处理分析的计算智能，在工作人员的远程参与下，通过 5G 无线网络实现对巡逻车的远程指挥调度和深度人机交互，由云平台向智能终端赋能。

智能网联巡逻车系统除了具备环境感知、路径规划、行动控制等自动驾驶功能，同时也具备远程指挥调度、安防目标识别分析、警情上报与应急处置等功能。

3.1 限定场景自动驾驶功能

感知、认知和执行三大系统构成了自动驾驶的基本框架，其中，全面、可靠的感知系统是自动驾驶车辆安全、稳定运行的基础和前提。智能网联巡逻车感知系统集成了 16 线激光雷达、毫米波雷达、视觉、惯性导航、卫星定位等传感器，16 线激光雷达主要实现周边道路环境、障碍物识

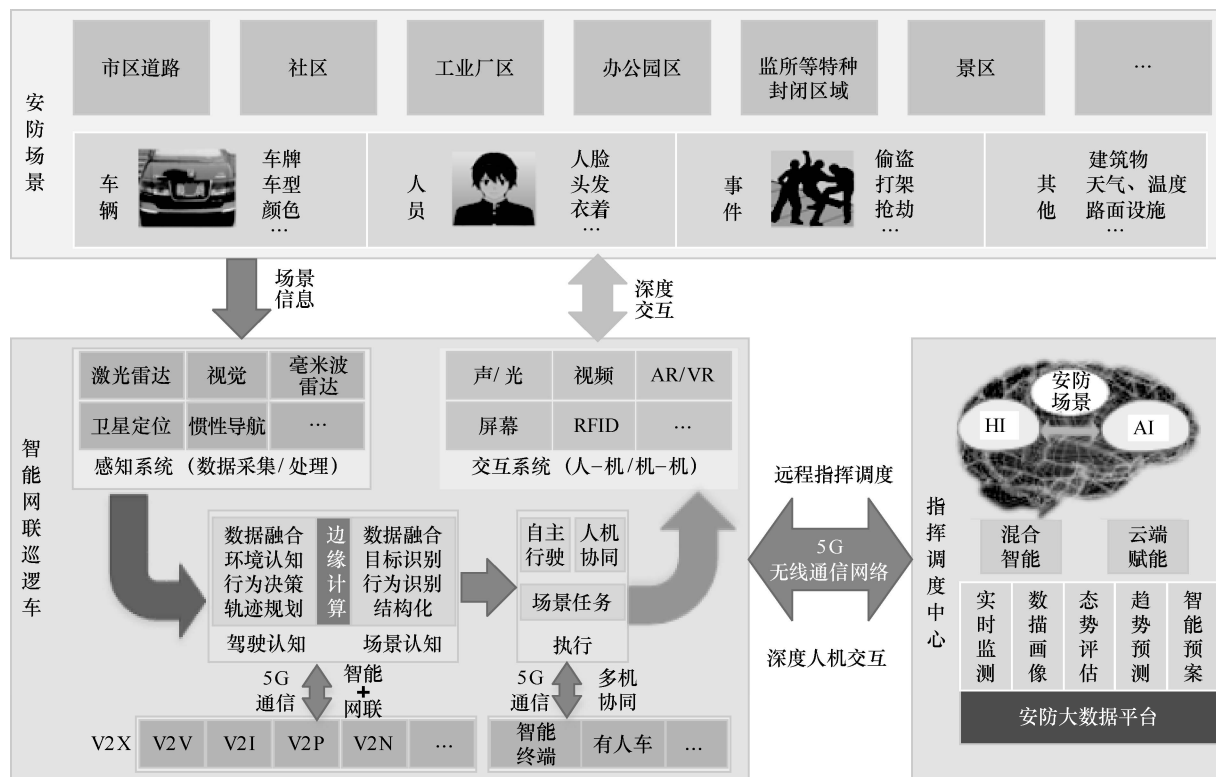


图 1 智能网联巡逻车系统基本原理

别；毫米波雷达主要实现车辆等动态障碍物识别；视觉主要实现交通标志、车道线、行人等目标识别；惯性导航、卫星定位传感器主要实现车辆自身位置、速度、姿态等参数测量。不同传感器之间，测量范围、物理特性、更新频率等参数各不相同，优缺点并存，单一传感器难以实现对目标的准确识别，本文研究的巡逻车感知系统通过对多种不同类型传感器时空标定、多源异构数据特征级深度融合，实现对周围环境和自身状态的稳定可靠感知。

通过感知系统和边缘计算硬件平台，巡逻车可以在线获取丰富的车道线、停止线、道路边界、隔离栏、绿化带、障碍物、交通标志、车辆、行人等信息。依托 V2X 通信单元构建的车路协同系统，巡逻车获取周边车辆、交通信号灯、交通标志以及周围建筑物等路面信息。基于融合感知和车路协同获取的信息，由巡逻车搭载的自动驾驶控制器完成认知计算。首先，控制器从道路中划分出可行驶区域及路面目标属性，构建驾驶态势图；然后，通过与场景任务、高精度地图、车辆定位等信息结合，控制器在线进行行为决策，并完成全局和局部路径规划；再进一步，控制器根据车辆自身状态和局部路径规划进行轨迹跟踪，并计算得到横向和纵向跟踪参数。在感知、认知基础上，巡逻车自动驾驶控制器结合本体自身动力学特性、道路环境和运行状态，将横向和纵向跟踪参数转化为驱动、制动和转向命令，并发送给执行机构，通过闭环反馈提高系统的准确性和稳定性。

在限定低速场景中，本文研究的智能网联巡逻车具备轨迹规划、障碍物识别、车道保持、道路施工及障碍物场景动态避障、自动泊车、交通标志识别、礼让行人等多种功能。另外，面向安防场景实际应用需求，研究了任务调度功能，根据指挥中心下发的巡逻任务，巡逻车可在规定时间沿指定路线工作，自动启停，实

现无人值守自主巡逻。

3.2 目标行为智能识别与分析功能

智能网联巡逻车主要面向安防场景，因此，除了具备自动驾驶能力外，车辆、人员等目标及行为识别与分析，也是必备的功能之一。本文所提出的巡逻车不但研究了车牌识别、车型和颜色识别、人脸及特征识别等功能，还针对车辆违章、持械袭击、投掷物品、打架斗殴、非法入侵、攀爬、聚集、徘徊、摔倒等多种行为进行了深入研究。经大量数据测试，在限定场景中，可见光和红外两种光源目标及行为识别准确度均可达到90%以上。

另外，针对安防场景海量数据处理难题，巡逻车基于边缘计算、5G、云计算、大数据等关键技术，研究了多源异构安防数据结构化和大数据平台。首先，每台巡逻车均配备了边缘计算平台，可对视频监控、烟雾探测、温度探测等多种安防传感器数据进行在线处理和智能识别，获取目标及行为、治安事件等信息，并进一步结合自动驾驶感知数据中的位置和相对距离信息，形成包含人、地、事、物、组织的结构化安防数据。其次，所有在线工作的巡逻车，通过5G无线通信技术，持续不断地将不同地域的安防数据传输至指挥中心，形成安防大数据平台。根据现有安防数据和遍布各地的移动式边缘计算平台建立的安防大数据平台，将会更加立体、丰富和完整，同时，实时性更强、可信度更高，基于此，大幅提高智能预警、事件检索、趋势预测、数据分析等工作的效率。

3.3 警情上报与应急处置功能

智能网联巡逻车配备的边缘计算单元嵌入了人工智能算法和软件，在线对多种传感器数据进行处理和识别，获取位置、速度、时间、天气、温度、人员特征及行为、车辆特征、路面设施等安防数据。同时，基于安防场景认知，对目标特征及其行为进行分析，及时发现感知范围内的违



法违规事件，并通过 5G 无线通信，将视频、图像等警情上报到指挥中心，根据指挥中心的指令进行警情处置工作。

对于正在发生的违法犯罪、突发事件、人员求助等紧急情况，巡逻车进行警情上报的同时，会进行路边停车、视频留证、声/光警告、语音交互等应急措施。然后，在指挥中心工作人员干预下，通过远程人机协同的方式完成大部分安防事件的处置。对于部分远程交互无法解决的重大警情或情况复杂的治安事件，指挥中心通过紧急情报分析和态势研判，就近派遣警力赴现场协助解决，同时，通过融合通信、多机协作、云计算等手段，为一线执行人员提供通信、情报、大数据等保障服务。

3.4 远程指挥调度功能

指挥调度广泛应用于智能交通、工业生产、能源管理、城市综合治理、抢险救灾、大型活动等多种行业，和人们的生活息息相关。尤其是安防领域，是指挥调度的重要应用场景，在社区治理、日常巡逻、突发事件处置等工作中有重要应用。

在安防场景，智能网联巡逻车作为一个移动的边缘智能平台，和指挥调度相互补充，相互促进。首先，指挥调度是自动驾驶的重要补充，基于“自动驾驶+指挥调度”搭建的“人在回路”架构，引入指挥中心云平台赋能和人的主观认知，通过远程交互，很大程度上弥补了自动驾驶智能化程度不足的缺陷，有效解决感知、认知瓶颈难题；其次，自动驾驶是指挥调度的拓展和延伸，智能网联巡逻车不但是情报采集和执行力量的移动智能终端，同时也是一个移动的指挥调度节点，既可以作为一线智能巡逻终端，又可以成为一个边缘指挥中心。

目前公共安全领域的指挥调度系统已经从技术上整合了音视频等数据、网络通信，具备了可视化指挥、视频会议、集群对讲、网络视频监控等功能，实现了音视频实时交互平台。在此基础

之上，融合高带宽、高可靠、低时延的 5G 通信，指挥中心对巡逻车进行远程指挥调度。

4 智能网联巡逻车关键技术与应用

基于智能网联巡逻车平台，本文研究了人机融合、混合智能、指挥调度、人机交互、5G、V2X、边缘计算等关键技术在安防场景中的应用。

4.1 基于“人在回路上”架构的人机混合控制技术应用

本文研究的是基于“人在回路上”架构的智能网联巡逻车。“人在回路上”是相对于“人在回路中”和“人在回路外”的一种人机混合控制模式，巡逻车自主运行过程中，工作人员可随时介入车辆控制，且具有最高优先级，自动驾驶、手动驾驶、远程遥控驾驶 3 种控制权自由切换。

安防场景中，巡逻车人机混合控制逻辑如下：前端巡逻车根据场景环境和自身的认知能力，自主完成路径规划，循线行驶、动态避障、自身状态检测、自适应切换导航模式、目标及行为识别、警情处置与上报等部分能够保证高可靠度的工作任务；巡逻车遇到复杂警情、极端道路环境等无法完成的任务时，请求后台接管控制权；工作人员在指挥中心，通过音视频交互系统对前端智能车进行远程监视，根据实际情况需要，随时接管车辆控制权，进行远程指挥与控制。

针对治安场景的具体任务，人、机分工协助机制为：巡逻车主要负责情报采集和现场执行，后台工作人员主要负责认知决策和远程交互。巡逻车作为具有自动驾驶能力的移动平台，通过搭载的多种传感器和边缘计算平台，实现对治安场景情报信息的在线感知、认知，同时，针对违章停车、可疑人员、试图闯入等一般性非紧急普通治安事件，具备现场处置能力。后台工作人员主要完成巡逻车难以处理的复杂事件的认知决策和指挥控制，例如抢劫、偷盗、打架斗殴等复杂治安事件，在 5G 通信的支撑下，后台工作人员通过

巡逻车感知系统获取现场情报,进行决策、指挥控制以及和目标人员进行音视频交互。

4.2 场景认知和计算认知相结合的混合智能技术应用

安防场景的智能网联巡逻车,虽然运行区域和路线相对固定,但是丰富多样的治安事件不可穷举,复杂多变的天气和光照无法精确预测,这些复杂因素给深度学习带来了极大挑战,单纯依靠人工智能难以实现目标及行为的准确识别。本文提出场景和计算认知相结合的混合智能技术在安防场景中的应用。

巡逻工作人员具有丰富的行业经验,基于巡逻车边缘计算硬件平台,将人类群体智慧结晶形式化的 HI,可以为 AI 场景应用提供强大辅助,同时,融合定位、高精度地图、RFID 等多种信息,构建安防场景智能决策知识图谱,将极大地提高巡逻车安防事件识别与处置行为决策准确度。在智能决策知识图谱中,依托 HI,将 AI 识别到的目标信息和辅助信息相结合,将会呈现出全新的含义,例如,银行门口固定人员周期性徘徊、敏感区域人员目标、深夜人员聚集、深夜陌生人员进入等,为决策的准确性提供了很大帮助。

另外,当智能网联巡逻车遇到复杂任务无法准确识别和决策时,通过远程交互系统向指挥中心请求援助,问题被工作人员远程干预解决后,巡逻车自动进行学习和更新,通过不断迭代,持续提高知识图谱智能决策能力。

4.3 基于 5G 通信的远程指挥控制和深度交互技术应用

远程指挥控制和深度交互是人机混合控制的重要基础,是提高巡逻车运行稳定性的重要手段,是将指挥中心和远程智能端融为一体的重要途径,其中,深度交互不仅包括指挥中心和巡逻车、周围人员和巡逻车之间的人机交互,还包括指挥中心和终端目标之间的人—人交互、巡逻车之间的机—机交互等。

安防场景中,远程指挥控制主要指的是指挥中心工作人员根据前端实际环境实现对智能车驾驶系统、任务系统等的操纵,并根据闭环反馈控制实现既定目标。其中,前端环境信息获取主要通过传感器信息回传、VR、AR 等技术实现,因此,该功能在实际应用过程中高度依赖大量音视频等数据在线传输,目前的 4G 网络在实时性、可靠性、安全性等方面均不能满足自动驾驶应用毫秒级时延要求。依托行业标准、基础设置、关键技术、通信终端等相关环节研发和应用的快速推进,5G 通信技术将会为智能网联巡逻车提供高带宽、高可靠、低时延数据传输网络,支撑远程指挥控制的落地应用。

4.4 基于 V2X 通信协议的多数据交互技术与应用

尽管智能网联巡逻车集成了激光雷达、毫米波雷达、视觉、惯性导航等多种传感器,但是由于传感器器件和智能感知技术瓶颈难题仍未解决,多传感器数据融合仍然难以满足高频、刚需、大流量场景对性能的高度可靠要求。基于车载无线网络和智能终端的 V2X 通信系统,通过 V2V (vehicle to vehicle)、V2I (vehicle to infrastructure)、V2P (vehicle to pedestrian)、V2N (vehicle to network),构建智能车与周围车辆、路面基础设施、行人佩戴智能终端、云平台之间的信息交互网络,将复杂的感知难题转化为通信和认知问题,并可获取超视距感知信息,极大地提高了智能车环境感知的可靠性。

面向安防场景,V2X 通信系统有效促进了智能网联巡逻车车与车协同、车与路协同等技术的实现和落地应用。通过无线网络,系统可以实现智能车之间、智能车与传统车之间的车与车协同,个体之间自身状态、控制命令、任务信息、感知信息等在线交互,充分发挥群体智能优势,在安防场景中单机效能大幅提升。同时,系统通过 V2X 通信实现智能车与路面监控设备、交通标志、建筑设施等之间的信息交互,构建车路协同体系,



结合高精度地图和定位信息, 有效提高系统的环境感知及认知水平。

随着 5G 通信技术的发展, 5G-V2X 将是 V2X 发展的重要方向^[13]。借助于 5G 高速率 (10 Gbit/s)、低时延 (0.5 ms)、广连接 (100 万个/km² 设备接入) 通信网络^[14], V2X 将会实现更大量级数据交互, V2X 与边缘计算相结合将会发挥巨大优势。

5 结束语

本文深入分析了安防场景的现状和特点, 结合当前智能网联车技术状态, 研究了面向安防场景的智能网联巡逻车。本文所提出的巡逻车不仅具有自动驾驶、目标行为识别与分析、警情上报与应急处置等多种功能, 还基于人机混合控制架构, 融合了指挥调度、混合智能、5G 通信、V2X、边缘计算等多项关键技术。随着传感器、线控底盘以及各项关键技术的落地应用和日趋成熟, 智能网联巡逻车将在不久的将来实现产品化和产业化, 并通过大规模推广应用, 在安防场景中发挥重要作用。

参考文献:

- [1] FULTON J, JOANNE P. DARPA grand challenge a pioneering event for autonomous robotic ground vehicles[J]. Industrial Robot, 2004, 31(5): 414.
- [2] PATTERSON D A. Robots in the desert: a research parable for our times[J]. Communications of ACM, 2005, 48(12): 31.
- [3] MONTEMERLO M, BECKER J, BHAT S, et al. Junior: the Stanford entry in the urban challenge[J]. Journal of Field Robotics, 2008, 25(9): 569-597.
- [4] HINTON G E, OSINDERO S, TEH Y W. A fast learning algorithm for deep belief nets[J]. Neural Computation, 2006, 18(7): 1527-1554.
- [5] SAE International. Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles[S]. Warrendale: SAE International, 2018.
- [6] 方箭, 冯大权, 段海军, 等. V2X 通信研究概述[J]. 电信科学, 2019, 35, (6): 102-112.
FANG J, FENG D Q, DUAN H J, et al. An overview of V2X communications[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(6): 102-112.
- [7] 范向民, 范俊君, 田丰, 等. 人机交互与人工智能: 从交替浮沉到协同共进[J]. 中国科学: 信息科学, 2019(49): 361-368.
FAN X M, FAN J J, TIAN F, et al. Human-computer interaction and artificial intelligence: from competition to integration[J]. Science China Information Sciences, 2019(49): 361-368.
- [8] 胡云峰, 曲婷, 刘俊, 等. 智能汽车人机协同控制的研究现状与展望[J]. 自动化学报, 2019, 45(7): 1261-1280.
HU Y F, QU T, LIU J, et al. Human-machine cooperative control of intelligent vehicle: recent developments and future perspectives[J]. ACTA Automatica Sinica, 2019, 45(7): 1261-1280.
- [9] 3GPP. Technical specification group services and system aspects; service requirements for the 5G system, stage1 (Release 16): 3GPP TS22.261 V16.4.0[S]. 2018.
- [10] 施巍松, 张星洲, 王一帆, 等. 边缘计算: 现状和展望[J]. 计算机研究与发展, 2019, 56(1): 69-89.
SHI W S, ZHANG X Z, WANG Y F, et al. Edge computing: state-of-the-art and future directions[J]. Journal of Computing Research and Development, 2019, 56(1): 69-89.
- [11] 马洪源, 肖子玉, 卜忠贵, 等. 5G 边缘计算技术应用与展望[J]. 电信科学, 2019, 35(6): 114-123.
MA H Y, XIAO Z Y, BU Z G, et al. 5G edge computing technology and application prospects[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(6): 114-123.
- [12] ETSI. Mobile edge computing (MEC) service scenarios[Z]. 2016.
- [13] 3GPP. Study on enhancement of 3GPP support for 5G V2X services: TR22.886, v.15.1.0[S]. 2017.
- [14] 陈山枝, 胡金玲, 时岩, 等. LTE-V2X 车联网技术、标准与应用[J]. 电信科学, 2018, 34(4): 1-11.
CHEN S Z, HU J L, SHI Y, et al. Technology, standards and applications of LTE-V2X for vehicular networks[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(4): 1-11.

[作者简介]



刘玉超 (1980-), 男, 博士, 一体化指挥调度技术国家工程实验室主任、高级工程师, 主要研究方向为人工智能、智能驾驶、指挥调度。



李子月 (1986-), 男, 一体化指挥调度技术国家工程实验室技术总监, 南京航空航天大学自动化学院导航研究中心博士生, 主要研究方向为智能驾驶、数据融合、组合导航。