

车联网端边云分布式协同 系统架构及验证

Architecture and Validation of Internet of Vehicles End-Edge-Cloud Distributed Collaborative System

张香云,邱佳慧,林晓伯,刘思聪,夏小涵,张 勍,乌云霄(中国联合网络通信集团有限公司,北京 100033)
Zhang Xiangyun, Qiu Jiahui, Lin Xiaobo, Liu Sicong, Xia Xiaohan, Zhang Qing, Wu Yunxiao (China United Network Communications Group Co., Ltd., Beijing 100033, China)

摘要:

针对车联网业务多样性、环境复杂性、时延强制性等特点,提出5G车联网端边云分布式协同系统架构,该架构支持多层级异构边缘计算能力灵活调度和智能编排,实现全方位点与面交通域环境协同感知和跨层级业务联动。基于该架构研发路侧多接入边缘计算单元(RS-MEC),并实现网络高可用和应用高可用能力,通过端边云协同实现跨路口目标追踪业务应用。

关键词:

车联网;端边云分布式协同;路侧多接入边缘计算单元;高可用

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2026.07.014

文章编号:1007-3043(2026)07-0077-06

中图分类号:TN915

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

To address the characteristics of service diversity, environmental complexity, and mandatory latency requirements in Internet of Vehicles services, a 5G V2X end-edge-cloud distributed collaborative system architecture is proposed. This architecture supports flexible scheduling and intelligent orchestration of multi-level heterogeneous edge computing capabilities, enabling comprehensive perception of traffic domain environments and cross-level service collaboration. Based on this architecture, a roadside multi-access edge computing unit (RS-MEC) is developed to achieve high network availability and application availability, and cross-intersection target tracking service applications are realized through end-edge-cloud collaboration.

Keywords:

Internet of vehicles; End-edge-cloud distributed collaboration; RS-MEC; Availability

引用格式:张香云,邱佳慧,林晓伯,等. 车联网端边云分布式协同系统架构及验证[J]. 邮电设计技术,2026(7):77-82.

0 引言

我国政府高度重视车联网产业的发展,出台了一系列具有前瞻性和指导性的政策,这些政策主要聚焦基础设施建设、商业化应用、新技术应用及信息安全方面。2024年,工信部、公安部等5部门发布《关于开展智能网联汽车“车路云一体化”应用试点工作的通知》,鼓励聚焦智能网联汽车“车路云一体化”协同发展。

多地政府积极响应国家号召,出台专项政策,这些政策从产业集群建设、自主创新能力提升、基础设施完善等角度全方位加快车联网规模化部署。“车路云一体化”20个应用试点城市包括北京、上海、重庆等,旨在建设成架构相同、标准统一、业务互通、安全可靠的城市级应用试点项目,为车联网产业的发展注入新的活力,形成可复制、可推广的经验。

1 车联网技术发展和面临的问题

车联网产业链日趋健全,涵盖了通信芯片、通信模组、终端设备、路侧单元(Roadside Unit, RSU)、整车

收稿日期:2026-05-28

制造等关键环节,其中路侧单元是产业链中重要的基础设施。在高密度交通流或复杂交通环境中,实时产生的多模态数据呈指数级增长,RSU技术不断向高集成、高可靠性、低功耗方向发展,以满足自动驾驶实时、准确性要求。

车联网工程实施成本高,不仅涉及路侧摄像头、雷达、RSU等基础设施的安装、云端平台的部署,还涉及路侧大量数据回传以及中心云数据下发等。在保障业务实时性和可靠性的同时,提供低成本、快速部署的方案是业务可推广的关键。

本文从业务需求^[1]和工程实施的角度出发,发挥运营商自身优势,引入路侧多接入边缘计算单元(Roadside Multi-access Edge Computing Unit, RS-MEC),提出端边云分布式协同系统架构,并提供低时延、高可靠的网络 and 低成本快速部署策略。

2 端边云分布式协同系统架构

2.1 端边云分布式协同系统架构

端边云分布式协同系统架构采用RS-MEC、多接入边缘计算(Multi-access Edge Computing, MEC)^[2-4]及中心云的3层体系(见图1),基于云边、边边、端边协

同,实现对路况的点与面的全方位感知及业务联动,满足不同层级的业务场景需求^[5-6]。

a) 云边协同。中心云和MEC协同,中心云汇聚广域范围的车辆、路侧、交通控制平台等交通单元的相关信息,负责非实时统一调度和信息服务类等应用,实现协同应用管理以及设备管理等。

b) 边边协同。MEC采用运营商体系,MEC和MEC边边协同保障业务连续性。运营商MEC为用户提供自控制台和相应的镜像仓库,用户可通过镜像仓库按需选择业务,并通过镜像包的形式直接下发到相应的RS-MEC节点并自动化部署,实现车联网业务“一点创新、全国复制”的业务模式,大大提高业务的部署效率,降低部署成本。

c) 端边协同。RS-MEC和MEC端边协同以实现业务的灵活调度。RS-MEC实现感知数据前端设备接入及原生数据处理、单点融合,提高数据处理的实时性;提供统一的北向标准接口与MEC平台进行协同,通过南向接口实现雷达、摄像头等基础设施的接入。

2.2 多层异构算力协同

如图2所示,多层算力结构的元数据将同步至中心云,以实现异构算力及网络资源的统一调度、协同、

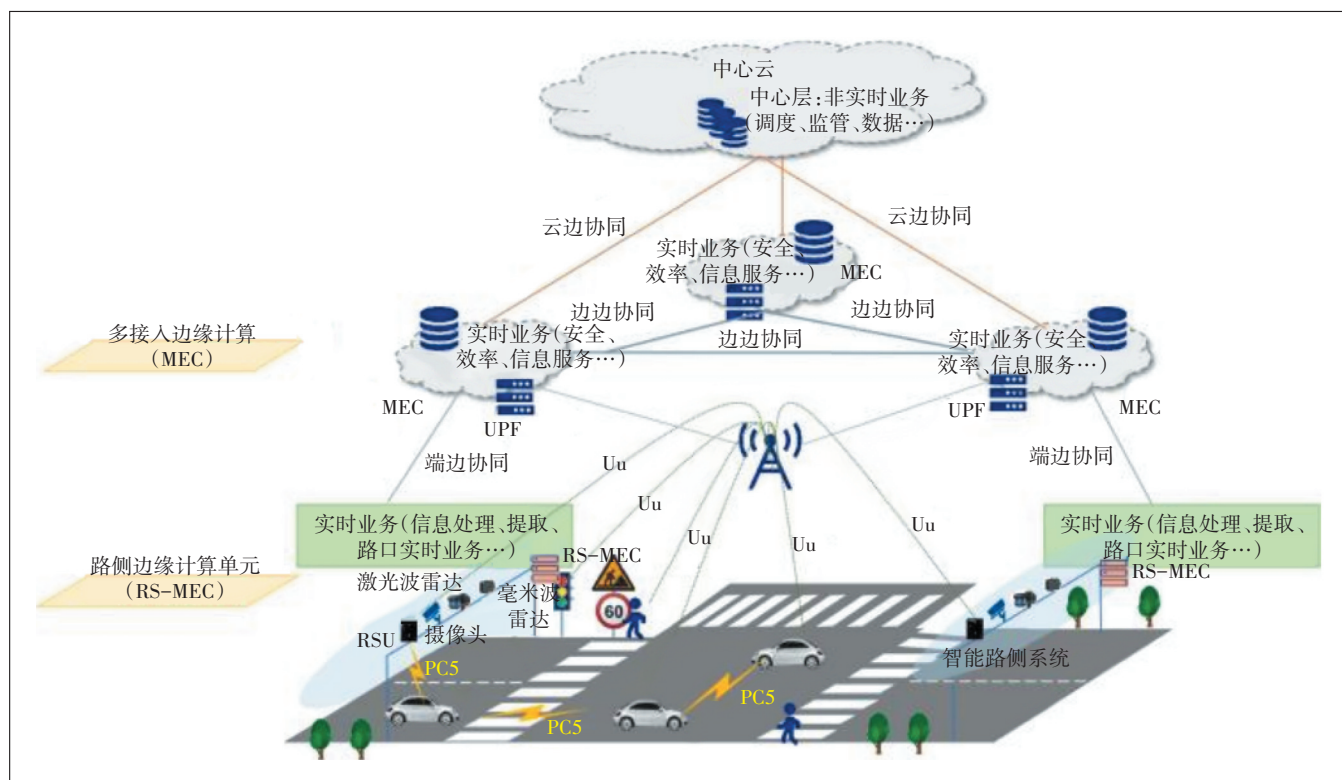


图1 端边云分布式协同系统架构

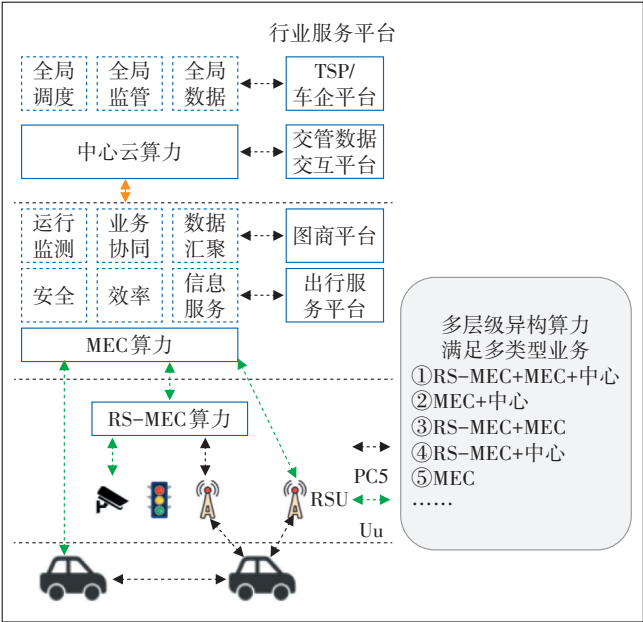


图2 多层次异构算力协同示意

监控及管理。按照业务场景弹性分配算力资源,适配多层边缘计算结构的行业应用。

a) 中心云算力。中心云算力作为全局资源池,动态编排算力节点,提供高密度算力支撑的大数据分析、模型训练等非实时业务,依据业务需求,实现全局算力统一编排、监控、运维和管理。

b) MEC算力。MEC算力作为具有网络能力的融合型边缘云网算力基础底座,用于平衡低时延需求与复杂计算能力,调度网络和算力资源,提供弹性算力支撑,适配多层边缘计算结构的行业应用孵化环境和“一点分发”能力。

c) RS-MEC算力。RS-MEC将MEC的计算节点算力进一步下沉到现场级,纵向实现RS-MEC与MEC的端边算力协同,横向实现RS-MEC与RS-MEC的端端算力协同处理。RS-MEC兼容底层异构基础设施,实现数据汇聚、协议转换及轻量化预处理等功能,提供便捷、可扩展的端侧计算服务。

3 RS-MEC技术架构及功能

3.1 技术架构

如图3所示,RS-MEC系统架构分为4层,包括设备硬件、配套基础软件(操作系统、驱动、系统服务)、云原生平台和车路协同应用程序(Application,APP)。

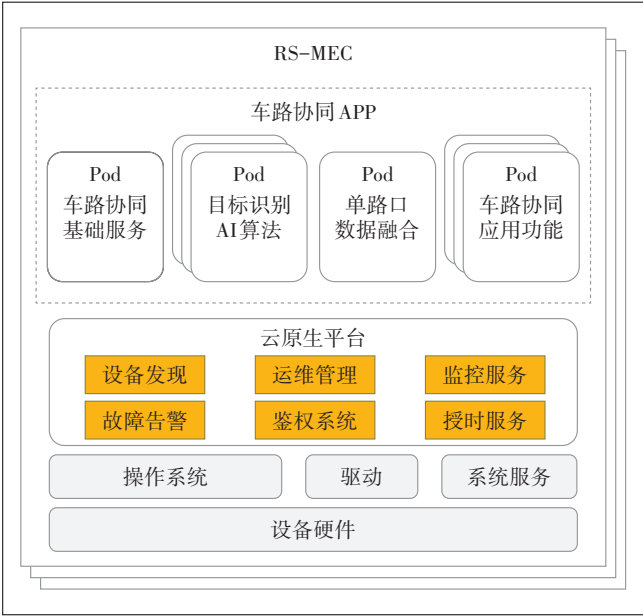


图3 RS-MEC系统架构

理实时性,更好地为安全类应用及自动驾驶相关应用提供服务。

3.2 基础能力

RS-MEC基于X86架构,提供不低于250 TOPS的算力,支持4G/5G通信、V2X通信、全球导航卫星系统、Wi-Fi/蓝牙功能等。RS-MEC具备双通道能力,可提高数据通信的稳定性和可靠性。RS-MEC的基础能力包括APP软件管理、授时服务、业务编排等功能,具体如表1所示。

表1 RS-MEC基础能力

功能	描述
APP软件	实现APP软件的部署、生命周期管理等
授时服务	实现对接入的路侧设备进行授时
业务应用	实现车联网17种典型的业务应用
业务编排	支持自定义以及管理Deployment等
故障报警	支持RS-MEC设备以及APP运行异常故障自动报警
业务监控	对APP运行状态、业务各服务资源占用进行监控
接入能力	支持同时接入20路摄像头及12路毫米波雷达

3.3 设备管理

5G车路协同网络服务平台可对RS-MEC、车载单元(On Board Unit, OBU)^[7-8]、RSU、摄像头、毫米波雷达、激光雷达等设备进行管理,实现了接入管理、拓扑管理、监控管理、版本管理、远程配置、可视化、日志管理、告警管理等功能,其中拓扑管理能够展现MEC与

RS-MEC的拓扑关系以及RS-MEC与路侧设施(RSU、摄像头、雷达)的拓扑关系,以便端边云进行协同应用。如图4所示,MEC通过南向接口与RS-MEC协同

实现目标识别、融合算法、车路协同业务应用等,同时MEC通过北向提供与第三方云端平台对接的能力,获取交通事故、交通拥堵等信息。

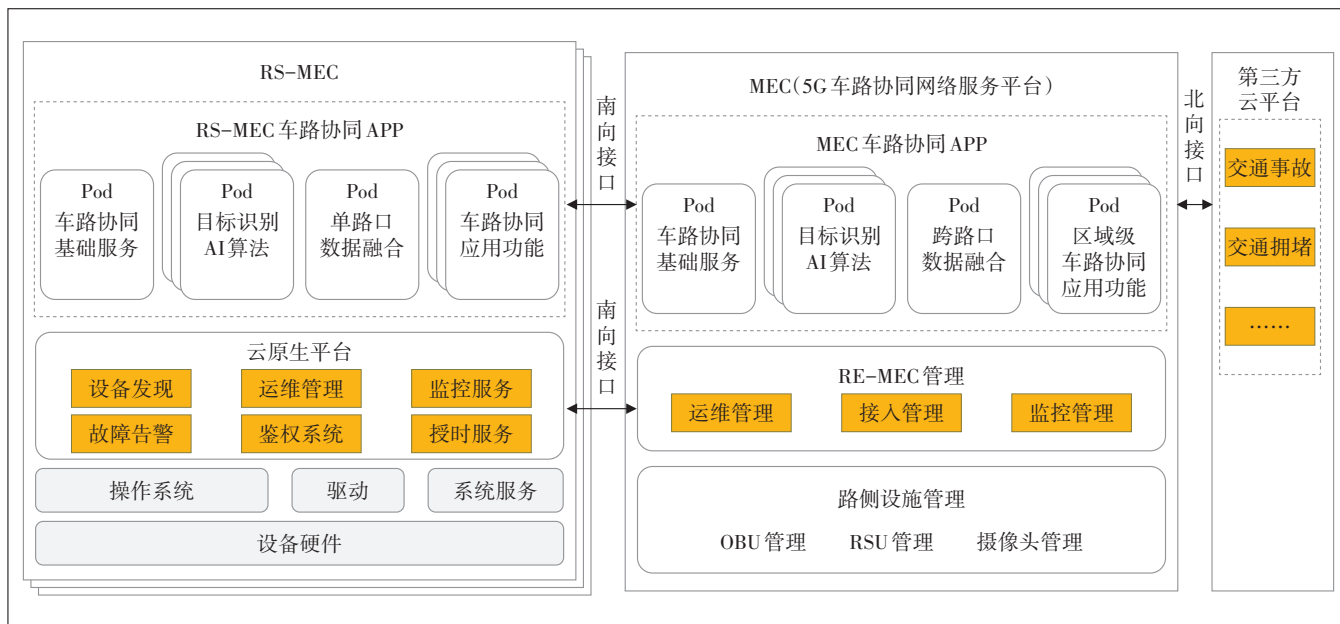


图4 RS-MEC设备管理示意

3.4 融合算法

为了提升融合的效率以及准确度,降低数据处理的时延,获得全局最优时空结构化数据,基于端边云分布式协同架构,融合算法的处理分为单点融合和全局融合,单点融合和全局融合协同处理异构数据来适应不同业务应用,如图5所示。

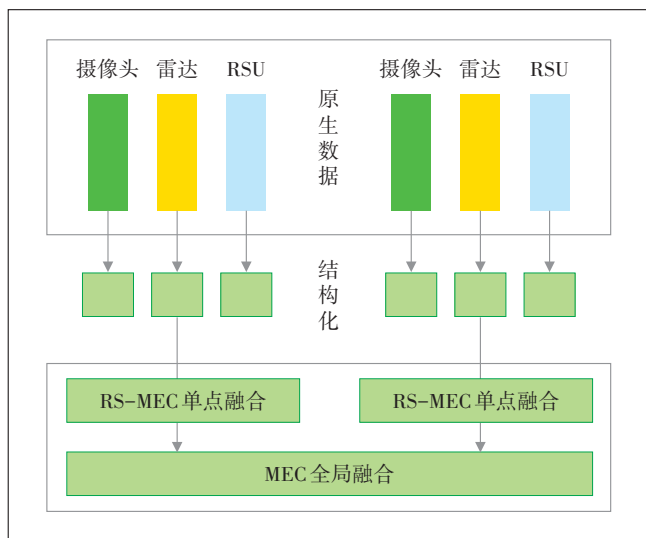


图5 融合算法示意

单点融合由部署在路侧边缘的RS-MEC负责处理单路口摄像头、雷达等原生数据,RS-MEC原生数据预处理包括时间同步、位置坐标转换、感知设备覆盖范围匹配等,然后对数据进行清洗、滤波、去噪,最终将原生数据解析为各种目标特征的结构化数据,并将结构化数据上报MEC。

MEC实现全局融合,针对单点融合数据进行缓存、时间切片、范围匹配等,同时结合地图数据对感知数据进行二次融合分析,包括时间切片、范围匹配、融合处理、置信度评估等,最终输出多维度的目标信息,包括时间、位置、轨迹、类型、大小、速度、方向、置信度。RS-MEC与MEC精准的AI识别算法和融合计算,支持对行人、机动车、非机动车等交通参与者类型的识别,支持识别目标数量不少于300个;目标检测与跟踪准确率大于97%,召回率大于97%,感知距离不小于220m;提升感知的准确率,降低人因事故率。

3.5 网络高可用

网络高可用主要实现RS-MEC与MEC之间多链路间的高可用备份,在出现异常情况时,网络为业务提供可靠的服务,主要功能包括网络质量监控、链路切换等。网络质量监控分为可扩展伯克利报过滤器

(Extended Berkeley Packet Filter, eBPF)探测点添加和主动探测,eBPF探测点添加是指在业务数据报文中通过添加字段进行链路质量检测;主动探测是指当没有业务数据时,由应用主动发送探测报文进行检测。链路切换是报文选择路由时根据链路优先级及链路质量进行选择。

3.6 应用高可用

MEC和RS-MEC任务调度协同实现应用高可用,可应用于同路口场景和跨路口场景。

MEC任务管理实现全局的任务信息存储、策略管理以及不同RS-MEC之间的任务分发、回收、重分发;当集群中某个RS-MEC节点挂掉时,MEC根据RS-MEC节点能力,选取最优RS-MEC节点进行任务分发,提高任务处理的可靠性。

RS-MEC任务调度服务用于RS-MEC任务监控、调度,融合算法服务的任务消费组件和实例绑定接收任务信息。RS-MEC节点出现异常时,MEC根据调度策略将任务下发至RS-MEC任务调度服务,由任务消费组件竞争任务,并将任务数据同步至对应业务侧,使融合算法服务可在不同节点间迅速切换,结构化数据持续推送至页面,视频持续播放,保障业务应用连续性,从而实现融合感知的高可用。

4 路侧多接入边缘计算单元业务应用部署

4.1 路侧多接入边缘计算单元测试验证

基于端边云分布式协同系统架构在实验室进行测试环境搭建^[9],测试环境包括5G车路协同网络服务平台、RS-MEC、MEC、摄像头等。在MEC部署5G车路协同网络服务平台,完成设备管理、融合算法、网络高可用、应用高可用等功能测试验证以及网络高可用链路切换和应用高可用切换等性能测试验证,如图6所示。

在网络高可用链路切换测试中,RS-MEC通过链路1和链路2连接MEC,且链路1的优先级高于链路2,感知结构化数据通过链路1发送至MEC。断开RS-MEC链路1后,RS-MEC迅速切换到链路2,且发送感知结构化数据至MEC,链路切换时延为2.8 s。

在应用高可用切换测试中,RS-MEC1和RS-MEC2都连接MEC,其中RS-MEC1负责处理摄像头视频并上报感知结构化数据至MEC。断开RS-MEC1后,MEC应用高可用模块进行任务回收和切换,并将摄像头的处理任务下发到RS-MEC2。切换后,RS-

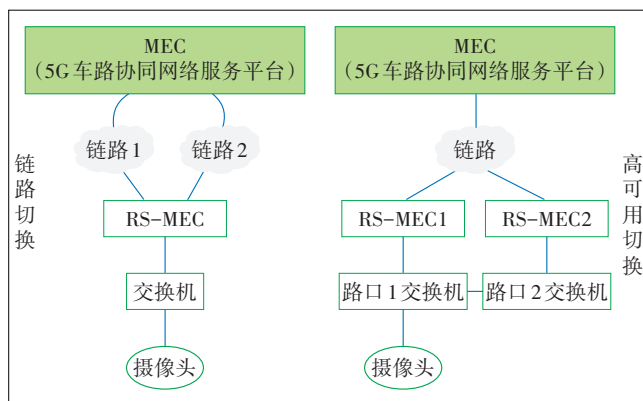


图6 RS-MEC测试验证

MEC2可正常处理摄像头视频,并上报感知结构化数据至MEC,视频播放在7 s内恢复,保障业务应用的连续性。

4.2 路侧多接入边缘计算单元部署建议

RS-MEC可部署于十字路口、丁字路口等^[10],根据现场情况在路口部署1个或者多个,并通过网线与摄像头、激光雷达、毫米波雷达、RSU等进行互联(见图7)。RS-MEC上行数据通过5G Uu口至智能城域网,再通过用户平面功能(UPF)分流至MEC,MEC将数据进行融合计算处理;下行消息通过MEC SPINE、防火墙、智能城域网、基站,最终通过Uu口或PC5口下发至车端OBU。RS-MEC支持典型的17种车联网业务场景,例如绿波通行、前方碰撞预警、异常车辆提醒、盲区检测、限速预警、车速建议、道路危险状况提醒、闯红灯预警、流量预警、协作式变道、协作式车辆汇入、协作式交叉路口随行、动态车道等。

RS-MEC、MEC、中心云应用协同主要包括紧急车辆避让、拥堵分析、双模协作信息服务、跨路口目标追踪等功能。以跨路口目标追踪应用为例,描述基于RS-MEC、MEC、中心云3层架构,通过端边、边边、云边协同实现跨路口目标追踪应用,具体流程如下。

a) 中心云部署5G车路协同网络服务平台的车辆管理模块,导入需要检测的车辆信息,并将目标追踪命令下发至边缘MEC,目标追踪命令包含车辆车牌号信息。

b) MEC部署5G车路协同网络服务平台的信息分发模块,信息分发模块将追踪的车辆车牌号下发至边缘RS-MEC。

c) RS-MEC A目标识别检测车辆的大小、车牌号码等信息,同时并将目标追踪结果上报给MEC。另

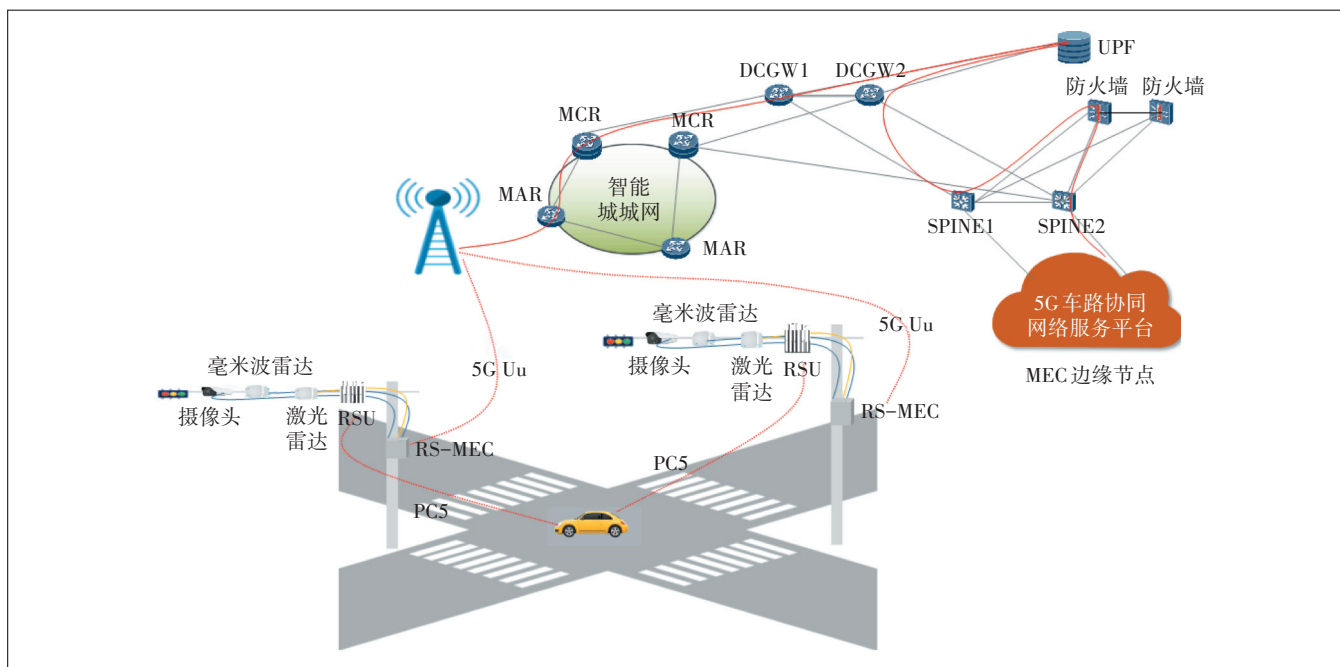


图7 RS-MEC部署参考位置

外,RS-MEC A目标识别检测车辆的意图(左转、右转、直行),将车辆的行驶意图上报MEC。

d) MEC预测目标归属RS-MEC,向路口RS-MEC B下发目标追踪命令信息,信息包含车牌号码、位置等。

e) 路口RS-MEC B关联车牌号,目标识别检测车辆的大小、车牌号码等信息,将目标信息追踪结果上报至区域边缘云、中心云。

f) 中心云页面刷新呈现车辆经过时间和图片,实现跨路口追踪。

5 总结

本文主要研究车联网端边云分布式协同系统架构,边缘云采用运营商MEC体系,实现一点分发、全国复制的业务模式,大大提高了业务部署效率,同时通过端边、边边、云边协同适配多层异构计算能力,实现算力和网络资源的编排和灵活调度,RS-MEC作为端边协同关键基础设施支持网络高可用和应用高可用,为业务应用提供可靠性能力。

参考文献:

- [1] ETSI TS 122 185:Service requirements for V2X services[S].
- [2] 徐亚楠,邱佳慧,董紫森,等.野外场景下多层异构边缘计算架构及算力调度策略[J].邮电设计技术,2025(4):87-92.

- [3] 中国联通.中国联通边缘计算平台v3.0架构升级及创新行业场景应用白皮书[R/OL].<https://www.docin.com/p-4664129768.html>.
- [4] 杨秋霞,赵斌,栗霖,等.云原生边缘计算产品与项目分析[J].信息技术,2021,15(4):71-78.
- [5] T/CSAE 53-2017 合作式智能运输系统 车用通信系统应用层及应用数据交互标准[S].
- [6] T/CSAE 157-2020 合作式智能运输系统 车用通信系统应用层及应用数据交互标准(第二阶段)[S].
- [7] 3GPP TR 22.885:Study on LTE support for vehicle to everything (V2X) services[S].
- [8] 3GPP TR 22.886:Study on enhancement of 3GPP Support for 5G V2X Services[S].
- [9] 林晓伯,郑圣,邱佳慧,等.5G+MEC承载车联网业务传输性能测试与验证[J].现代电子技术,2024,47(3):171-178.
- [10] 中国联通.5G+MEC+V2X车联网解决方案白皮书[R/OL].<https://www.docin.com/p-4503608371.html>.

作者简介:

张香云,高级工程师,硕士,主要从事车联网、5G网络等研究和产品研发工作;邱佳慧,正高级工程师,博士,主要从事车联网、5G通信、高精度定位等工作;林晓伯,高级工程师,硕士,主要从事车联网、5G、MEC、IP等工作;刘思聪,高级工程师,硕士,主要从事通信网络技术研究、应用和技术标准等相关工作;夏小涵,工程师,硕士,主要从事云原生相关工作;张勃,高级工程师,硕士,主要从事移动网络新技术研究和新产品研发工作;乌云霄,高级工程师,硕士,主要从事无线网络数字化运营产品研发工作。