多接入边缘计算基础设施中汽车数据功能的生命周期管理

Mikel Seron，Angel Martin数字媒体与通信系 *Vicomtech*基金会巴斯克研究与技术联盟 西班牙圣塞巴斯蒂安，20009 邮箱：mseron@vicomtech.org，amartin@vicomtech.org

Gorka Velez智能交通系统与工程系 *Vicomtech*基金会巴斯克研究与技术联盟 西班牙圣塞巴斯蒂安，20009 邮箱：gvelez@vicomtech.org

arXiv:2303.05960v1 [cs.NI] 10 Mar 2023

摘要—汽车实时采集并生成海量数据，包括驾驶动态、周围环境以及驾驶员和乘客的活动。随着网联与自动化出行（CAM）应用不断涌现，车辆数据的价值日益提升，因为其用途已不再局限于车载系统和服务。本文提出一种架构，利用 5G 网络的多接入边缘计算（MEC）技术实现数据变现。该架构采用虚拟化框架，根据消费者需求实例化处理数据样本的数据管道，并依据服务级别协议（SLA）政策、许可条款和感兴趣区域（ROI）集群开展处理，同时采用隐私优先设计。此外，本文还指出了为汽车行业创建数据市场时需要考虑的因素，并着重介绍了超出现有科学研究和市场解决方案的设计特性。

索引项 毫秒—**汽车数据、数据管道、多接入边缘计算、虚拟化 ion**

一、引言

汽车制造商正在为车载高级驾驶辅助系统（ADAS）添加先进而复杂的传感器，以便更好地了解周围环境，帮助驾驶员提高安全性或执行复杂的驾驶操作。因此，原始设备制造商（OEM）竞相集成尖端的高级驾驶辅助系统功能。此外，制造商还加入连接设备，以提供遥测功能，以及一些最初与维护诊断和保真度相关的创新服务。创新的互联与自动化出行（CAM）应用主要侧重于协同与协调车载系统，并利用车辆传感和连接功能 [1]。

然而，汽车制造商深知，其业务前景并不仅限于驾驶辅助与支持。原始设备制造商和一级供应商明确认识到，其未来收入中很大一部分将来自对车辆环境中采集和生成的数据的利用 [2]。因此，谷歌、苹果和亚马逊等互联网巨头正试图在汽车数据市场中占据关键地位。

目前，汽车产生的数据仍是数据孤岛，由车载系统处理，或传送至制造商的云系统；但无论哪种情况，只有制造商能够访问或处理这些数据。原始设备制造商和一级供应商正面临压力，需要通过利用数字生态系统并加强合作，开发自身以数据驱动的价值主张，充分把握自动驾驶和网联出行领域之外的数据驱动型商业机会，而不仅仅是改进现有流程和功能。

为了促进汽车数据生态系统的创建，有必要提供连接数据生产者与消费者的通用数据管道。然而，处理汽车数据时，数据隐私和所有权是需要考虑的核心主题。在此，多接入边缘计算（MEC）基础设施可利用其与数据生产者距离较近的优势，在数据传输至消费者用于访问数据的平台时立即进行处理。此外，与云基础设施相比，MEC架构的毛细覆盖特性有助于实现分布式处理和本地可扩展性。

在地平线2020项目5GMETA框架下构建并在本文中介绍的平台架构考虑了多个方面，包括强制性隐私处理以删除所有个人数据；对许可模式进行标记和控制，以保留数据生产者所有权，并向满足适用条款的应用程序授予访问权限；生成锚定于虚拟化地理区域、面向特定应用程序或用户的数据流；以及管理虚拟化数据管道，以促进在多接入边缘计算中高效处理数据样本。该架构还包括多种解决方案，可在多接入边缘计算中托管基于数字孪生的服务，以满足对低延迟有要求的应用程序。此外，该平台还包含机制，用于核算自动部署的数据管道所消耗的数据量，以及在多接入边缘计算中使用的计算资源。

本文结构如下。首先，第二节重点介绍未来基于汽车数据的应用需求，以及高效处理数据所需的虚拟化解决方案。接着，第三节介绍所实现的架构，该架构提供一个云平台，用于索引和管理不同的 MEC基础设施，并可按需实例化和运行数据管道，以处理数据消费者所需的已生成数据。最后，第四节总结本文主题，并提出一些尚待探讨的问题。

M. Seron、A. Martin 和 G. Velez，“MEC基础设施中汽车数据功能的生命周期管理”，2022年IEEE未来网络世界论坛（FNWF），加拿大魁北克省蒙特利尔，2022年，第407-412页，doi：10.1109/FNWF55208.2022.00078。**©2022 电气电子工程师学会。允许个人使用本材料。任何其他用途均须获得电气电子工程师学会的许可，包括在任何当前或未来媒体中重印或再版本材料以用于广告或宣传目的、创作新的合集作品、转售或重新分发至服务器或列表，或在其他作品中重复使用本作品的任何受版权保护部分。**

II. 用于数据处理的多接入边缘计算

本节分析了汽车行业中运行数据管道的平台需要考虑的要求，以及在多接入边缘计算中托管运行数据管道的虚拟化容器的解决方案。

A. 协同式、互联式和自动化移动出行领域的数据管道

以下列出了汽车数据平台需要提供的各项数据功能：

- 互操作性。车辆会采集各种异构数据，例如车辆属性、状态、位置和动态信息，雨量或温度等外部传感器数据、摄像头或光探测与测距（激光雷达）数据、驾驶员状态或在线数据。此处采用了不同格式，包括文本、视频和点云，如欧洲电信标准协会 [3]，3GPP [4]，5GAA [5] 和汽车通信联盟 [6]所示。有些格式是开放的，另一些则为专有格式，采用二进制格式和封装方式。因此，互操作性显然是一项重大挑战。此外，还需要采用网络时间协议（NTP）等时间同步方法，以关联来自不同数据源且使用不同车辆时钟的数据，

- 隐私。传感器可能会采集并传输一些信息，这些信息在处理或共享之前应予以删除。在这方面，多接入边缘计算（MEC）处于理想位置，能够尽可能靠近用户，在数据到达网络时立即保护隐私 [7]。在此，可以从 JSON 格式的消息中删除某些黑名单字段，并对摄像头图像中的车牌或人脸进行模糊处理。

- 服务级别协议（SLA）。多接入边缘计算中的资源分配在处理数据样本时，必须考虑约定的定价方案以及数据管道 [8] 要处理的数据类型的复杂性。SLA 还会转化为应用于数据的采样率，以提供经过降采样的数据流，这意味着主要消费者接收的数据速率和数据量会降低。

- 过滤。在汽车数据中，地理位置占有重要地位。CAM 应用会利用地理位置，更好地使应用响应与所生成数据的本地上下文相匹配 [1]。此外，作为所有者的数据生产者声明适用的许可模式，可将数据访问权限限制为满足条款与条件的消费者。因此，配置目标数据类型、符合条件的许可模式和感兴趣区域（ROI），并生成应用过滤器的数据通道，对于 CAM 应用通过处理管道专注于有效且相关的数据至关重要。

显然，在多接入边缘计算中，虚拟化处理管道的生命周期管理对于动态响应数据消费请求至关重要。自动化的管道实例化操作，是实现高效响应需求的关键。此外，能够针对通用或异构的服务级别协议和许可证，重复利用处理特定数据类型的处理管道，可显著提升多接入边缘计算的效率。

汽车产业正在探索其在生产价值链中已熟悉的技术，包括物联网消息技术，例如高级消息队列协议（AMQP）、消息队列遥测传输（MQTT）或 Apache Kafka。这些技术为其监控与数据采集系统提供数据，也适用于遥测数据和实时数据导出到车辆之外 [9]。用于索引所有数据源并管理记录的一些平台包括：亚马逊的 GreenGrass（探测驾驶员）、DynamoDB（持久化存储）和实时操作系统（处理）；Apache 的 Beam（基于容器的数据管道编程）和 Flink（实时处理）；Eclipse 的 Kuksa（清单管理和持久化存储）；以及博世的车辆管理平台。然而，就隐私而言，这些平台提供对数据生产者端点的访问；就效率而言，它们不会根据消费者需求扩展或配置处理管道，而是根据生产量进行；就所有权而言，它们不处理许可证，因为生产者和消费者通常是同一方，或由相同的管理者或运营者管理。我们的方案正是在这里发挥了不同作用。

B. 用于数据管道的虚拟网络功能

MEC平台应借助网络功能虚拟化（NFV）架构中部署的虚拟网络功能（VNF）所承载的数据隐私、互操作性、计算和安全功能，支持为汽车采集和生成的数据提供实时数据管道。

在网络功能虚拟化出现之前，通常需要使用专用的专有硬件和软件来部署网络应用和服务，这些硬件和软件只能用于特定的安装环境，系统缺乏灵活性。网络功能虚拟化克服了诸多挑战，例如降低资本支出和运营支出，以及满足日益增长的移动服务需求。借助网络功能虚拟化，软件和服务可以部署在任何环境中，从而实现虚拟化。网络功能虚拟化管理与编排（NFV MANO）是释放网络功能虚拟化全部潜力的关键基础设施。最具代表性的实现包括由欧洲电信标准协会托管的开源管理与编排（OSM），以及由Linux基金会支持的开放网络自动化平台（ONAP）。

此外，微服务可用于构建虚拟网络功能。微服务架构是一种独特的软件开发方法，通过构建具有明确定义的接口和操作的单一功能模块，开发轻量级软件。这种架构能够以模块化方式快速、频繁且可靠地交付大型复杂应用程序。微服务可以运行共享同一操作系统（OS）的小型软件组件。这称为操作系统虚拟化，与传统虚拟化技术类似；传统技术会将一台物理服务器拆分为多个较小的组件，即虚拟机（VM）。然而，微服务比虚拟机更高效，因为它们共享一个操作系统，而每台虚拟机都需要自己的操作系统，会消耗更多资源。与微服务一样，容器也日益成为灵活架构中不可或缺的组成部分。容器是将应用程序及其所有依赖项打包

为一个软件包，从而无论所处环境如何，都能快速且一致地部署。容器和微服务包括 Docker 和 Linux 容器等特定方法，这些方法主要由它们推广普及。

要全面运行基于容器的微服务架构，需要使用编排工具。编排器可自动执行容器的部署、管理、扩缩和网络配置。管理容器的生命周期至关重要。容器编排工具提供了一个框架，用于大规模管理容器和微服务架构，也能确保每项服务具备可扩展性。许多容器编排工具都可用于容器生命周期管理，例如 Kubernetes 和 Docker Swarm。

自动化运行需要监控，以触发预设的执行策略和规则。因此，鉴于防止错误和系统故障的重要性，必须对基础设施进行监控。此外，获取已部署应用的指标和日志，是实时衡量其性能、状态或速度，并针对特定事件自动做出响应的关键。容器编排器有多种监控和可视化工具可供选择，例如 Prometheus/Grafana 和 Elasticsearch/Logstash/Kibana（ELK）套件。监控框架及其工作负载，有助于调度服务器资源，为数据管道预留一部分中央处理器（CPU）和内存资源，并满足所要求的服务级别协议。

这些先进技术也可应用于欧洲电信标准协会提出的多接入边缘计算标准，通过将计算和存储能力推近数据源，在提供数据服务时最大限度地降低时延。得益于多接入边缘计算，穿越核心网的原始数据流量得以减少，从而也减轻了远程云基础设施的压力。此外，协同式自动驾驶必然需要处理密集型、低延迟的计算和通信服务。由于这些因素，云连接往往无法满足需求。对于许多对时间要求严格的协同式自动驾驶服务而言，远程数据处理和存储既不可靠也不够迅速，因此多接入边缘计算是合适的解决方案。

在网络边缘以虚拟网络功能的形式部署微服务，可为数据管道部署提供高度通用且灵活的框架，同时借助高带宽连接和极低时延促进实时数据处理。

C. 面向汽车数据的多接入边缘计算

利用多接入边缘计算技术提升协同式自动驾驶服务的响应能力，或增强汽车数据处理能力，是一个新兴研究领域；已有一些研究探讨了车载通信中的边缘计算。

提出了一种面向蜂窝车联网系统的多接入边缘计算架构和一些应用程序编程接口（应用程序接口），并在 [10], 中检查在多接入边缘计算中托管协同式自动驾驶用例的可行性。 [11] 中介绍的工作更进一步，描述了一个基于 Docker 且符合欧洲电信标准协会规范的多接入边缘计算平台，并利用微服务范式。得益于微服务的模块化特性，研究提出了一种服务迁移流程。

鉴于蜂窝网络用户固有的移动性，不同多接入边缘计算服务器之间的切换受到了广泛关注。 [12] 研究了为支持车辆应用而在多个多接入边缘计算服务器之间维持服务连续性以及相关数据同步的问题，并为此提出了一种架构。

文献 [13] 和[14]提出了两种将大数据分析与车载边缘计算相结合的不同框架。这些框架根据异构需求，从可用方案中选择卸载基础设施。另一种方法则提出了一种面向多接入边缘计算的分层资源管理模型，以满足时延和能效要求 [15]。

研究基于边缘计算平台和蜂窝网络的车辆数据共享领域时，有两个至关重要的主题：隐私和效率。就隐私问题而言，为防止未经授权共享二手数据，需要安全的点对点数据共享系统，例如 [16] 中提出的基于区块链的系统。就处理和通信效率而言，提出了一种分层边缘框架，通过计算卸载和内容缓存，最大限度地减少重复任务的网络通信开销 [17] 。

所有已介绍的工作都忽略了车辆数据平台在连接数据传感器与未来 CAM 应用方面的关键问题。这些工作着重处理所有产生的数据，却缺乏一种机制，无法在出现消费需求时触发多接入边缘计算中的数据处理卸载。所有经过处理却未被消费的数据都会造成巨大的开销，也意味着方法效率低下。此外，这些工作在分配计算资源时忽略了服务级别协议等级，并将商业模式置之不理。

III。面向数据驱动型协同式自动驾驶应用的多接入边缘计算 IONS

下一节将介绍在欧盟资助的地平线2020项目 5GMETA [18] 中开发的数据处理平台的实现架构。

A. 面向数据管道的经济高效型多接入边缘计算

我们设计的平台具备以下功能：i) 根据消费者需求在多接入边缘计算中执行数据处理；ii) 根据地理位置和数据类型进行过滤，仅获取相关数据；iii) 为不同的资产分配配置应用不同的服务级别协议等级。

如图1所示，所述框架是一个面向协同式自动驾驶服务和应用的开放式数据中心型物联网实时消息平台，其安全性、隐私、可扩展性、互操作性和许可功能由在边缘执行的5G网络功能提供，从而实现零时延、毛细覆盖和地理驱动网络。该参考架构包含四层：

- 传感器和设备（例如，光探测与测距（激光雷达）、摄像头）。它们用于生成道路数据，无论是安装在车辆上，还是安装在车辆周围不同位置的路侧单元（RSU）上。它们都通过 5G连接接入多接入边缘计算基础设施。

• 5配备多接入边缘计算基础设施的 G 网络。该层代表 5G 核心功能、5G 新空口以及平台的 MEC 系统。该层主要基于 5G 特性，使数据能够以最低时延路由至边缘平台。它还提供与 5G 基础设施基站相连的虚拟化基础设施。该层与云平台直接相连。

• 云平台。此层负责数据管理和变现相关的方面与要求，允许用户订阅不同的许可类型。它还集成第三方 API，根据预定义的 SLA 类型路由用户订阅的数据。它记录了所有已注册的 MEC。

• 第三方服务。拥有数据访问授权的应用程序所在位置。

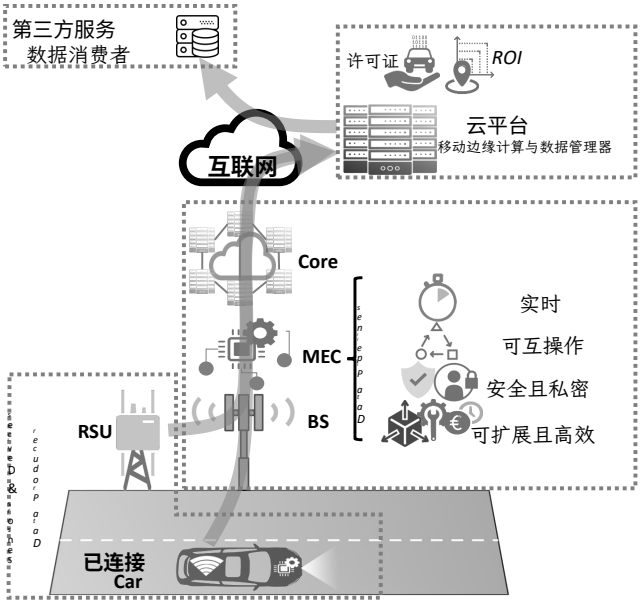

图 1. 汽车数据工作流。

关于数据工作流和允许的方向，我们同时考虑上传和下载方向。

• 上传：这是主要的数据流，将数据从传感器、车辆和路侧单元传送至 CAM 服务。当 CAM 应用选择一种数据类型和一个感兴趣区域时，便会在选定的 MEC 中部署处理该特定数据类型的数据管道处理容器。只有当 CAM 服务从服务 MEC 中选定一种特定数据类型后，数据才会在多接入边缘计算中处理，并转发至云。

• 下载：CAM 应用以广播消息的形式，向订阅通知数据类型的传感器和设备发送自发、离散且轻量级的警报和通知。这意味着无需特定功能或容器来传递下载消息。

因此，上传方向提供持续的实时数据流，而后者主要用于向多接入边缘计算中的所有订阅系统广播通知和更新。

第三方应用程序对平台内可用数据的访问级别可能因应用程序需求而异。云平台会统计消耗的数据量，并分配所需的计算资源，以供处理管道在边缘处理来自传感器和设备的原始数据，再将处理结果转发至云。

然而，如果某个特定应用对时延有严格要求，则可在实时模式下直接从多接入边缘计算平台获取数据。在这种情况下，应用的费用将根据云基础设施中的多接入边缘计算服务所申报的已生成数据量计算。

平台的另一个方面是在多接入边缘计算中托管协同式自动驾驶服务的可能性，例如需要实时处理和执行控制的数字孪生应用。

处理管道在多接入边缘计算中的部署由数据消费者触发：(i) 数据消费者有兴趣处理和使用特定位置 (ii) 的特定数据类型。当协同式自动驾驶应用选择一种数据类型，且该应用的服务级别协议支持所需资源时，处理特定数据类型的数据管道的容器将部署在相应的多接入边缘计算节点中 (iii)。数据访问也将受到限制，以符合数据所有者定义的许可证条款。只有当协同式自动驾驶服务从服务 MEC 中选择了特定数据类型时，数据才会在多接入边缘计算节点中处理并转发到云；否则，推送到多接入边缘计算节点的数据会立即被丢弃。

B. 汽车数据的多接入边缘计算架构

本节旨在介绍一种支持网络功能虚拟化的架构，用于部署封装在虚拟化网络功能中的数据管道，以处理汽车生成的数据。该架构如图 2 所示。

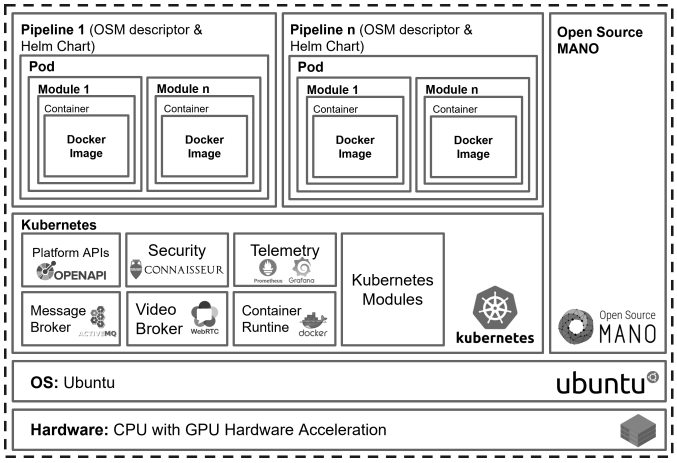

图 2. 多接入边缘计算平台架构。

首先，关于多接入边缘计算中数据功能的生命周期管理，不同的行业解决方案构建了平台技术栈。

Kubernetes 和 Docker 分别作为容器编排器和运行时，OSM 作为编排框架，用于部署边缘虚拟化网络功能。Kubernetes 是一个开源的容器即服务平台（CaaS），用于管理容器化工作负载和服务。它负责将工作负载调度到计算集群中的节点上，主动管理工作负载，并简化容器化应用的管理与部署。Kubernetes 支持水平和垂直自动扩缩，使数据管道的资源始终能够根据所选的服务级别协议等级进行扩缩。

OSM 是一种管理与编排软件栈，遵循为网络功能虚拟化技术制定的标准，负责编排特定的数据管道，并负责安排与网络功能虚拟化服务生命周期相关的操作。

Kubernetes 和 Docker 都是广泛应用于科研和商业环境中的行业标准。它们也兼容商业基础设施即服务（IaaS）平台，例如 Amazon 弹性 Kubernetes 服务（EKS）。因此，在云端使用中央管理器管理分布式多接入边缘计算基础设施时，也可以在平台中使用常见的虚拟化技术。此外，5GPPP 项目已将它们作为编排平台的首选方案，因此 OSM 已支持这些技术 [19]。

Kube-prometheus 用于平台监控，是一套预配置解决方案，可从所有 Kubernetes 组件收集指标。它包含一系列 Kubernetes 清单、Grafana 仪表板和 Prometheus 规则，并结合文档和脚本，利用 Prometheus 和 Grafana 工具实现易于运维的端到端 Kubernetes 集群监控。

随后，使用生命周期管理器自动实例化或释放数据处理管道。每条管道都封装在一个虚拟网络功能中。其名称与待处理的数据类型相关联，这意味着要订阅消息代理中的特定主题，以使用待处理的数据；同时，还要指定消息代理中用于发布已处理数据的特定主题。

不同虚拟网络功能使用的所有容器镜像均托管在商业云存储库中，例如 DockerHub，可从任何联网基础设施访问。为确保多接入边缘计算平台中容器镜像的完整性和来源可追溯性，本文使用 Connaisseur。这个准入控制器会在部署任何工作负载之前，验证每个镜像签名和信任固定。

数据管道会从物联网框架中读取原始数据样本。ActiveMQ 是平台的核心物联网消息技术，是一种开源的多协议消息代理。它得到现有传感器和物联网框架的普遍支持；作为一种轻量级协议，它支持分层数据聚合的可扩展性。数据生产者通过 AMPQ 或 MQTT 协议将数据推送到多接入边缘计算基础设施中。消息代理在传感器、设备和云之间交换数据，以便上传和下载数据流。对于视频数据，平台采用网页实时通信（WebRTC）发送视频，这是 3GPP 第 18 版为实时通信指定的技术 [20]。

对于感兴趣区域和地理位置的处理，采用微软的必应地图瓦片系统，其中每个区域都由一个形状和大小相同的瓦片表示，并使用四叉树键进行地理索引 [21]。四叉树键是一个一维数组，包含缩放级别、列和行信息，可唯一标识一个瓦片位置。通过瓦片和四叉树键过滤，数据消费者可以浏览并快速筛选出正在生成数据的位置。每个 MEC 还会注册其所在的瓦片，并将该信息提供给数据生产者，以便它们找到服务 MEC 基础设施，并在车辆移动时在各服务 MEC 之间进行切换。

另一个关键方面是设计通用且一致的接口。应用程序接口按照 OpenAPIs 3.0 规范实现；这是一种与语言无关的表述性状态转移（REST）应用程序接口规范。它满足快速集成、文档编写、访问控制和基于 Web 的测试等重要需求。此外，还实现了开放授权（OAuth）2.0 授权协议，以限制应用程序接口对用户数据的访问权限。授权在云层进行。

介绍完所有技术组件后，下面将介绍编排流程。

多接入边缘计算中的处理管道由有意处理和使用特定数据类型的数据消费者触发部署。如果数据由传感器和设备推送，第三方会浏览可用位置，并请求其中适用于特定相关数据类型的数据流。该请求会转发至选定的多接入边缘计算基础设施，由代理接收数据并启动流水线处理。编排器根据签订的服务级别协议等级分配资源。确认资源可用后，系统会从代码仓库下载相应容器并检查签名有效性，随后部署目标数据类型的处理管道。处理管道部署完成后，代理接收并由处理管道处理的数据会通过云交付给消费者。

每种数据类型都需要不同的计算资源，以应对传入流量。分配给处理管道的资源数量取决于适用的服务级别协议。例如，多接入边缘计算可通过 GPU 虚拟化提供 GPU 服务级别协议，以支持实时视频处理和优化能力。对于需要低延迟、存储在多接入边缘计算中且运行计算机视觉等繁重任务的第三方协同式自动驾驶应用，GPU 虚拟化具有很高的价值。

按照处理管道的相同方法，在本例中，来自第三方、准备部署到多接入边缘计算环境中的容器，还需要经过进一步验证，才能被信任并部署到基础设施中。验证分为两个方面。首先，检查容器是否仅订阅其声明的数据类型对应的主题。其次，检查推送到已订阅主题中的合成数据量是否如实申报。通过这两项测试，可以在服务部署到特定的多接入边缘计算基础设施之前，建立一定程度的信任。如果其中任何一个步骤未通过，容器就会被禁止，且不会部署到任何其他多接入边缘计算基础设施中。

IV. 结论与未来工作

协同、互联与自动化出行应用将受益于 5G 蜂窝网络所承诺的性能、可靠性和容量。此外，网联汽车数据有望为传统参与者和新进入者带来新的业务，并推动创新的协同、互联与自动化出行应用的发展。在此，多接入边缘计算架构可助力构建一个共享数据市场，让数据所有者生产并共享数据，而数据服务则使用可用数据，并要求在多接入边缘计算环境中运行处理管道，以处理互操作性、隐私和效率问题。本文提出了一种经过设计与实现的架构方案，旨在促进数据所有权的托管，并筛选来自特定感兴趣区域的数据。此外，与市场上的解决方案相比，所提出的架构还具备一些新颖特性：通过专用物联网主题分离数据生产者与消费者，处理管道从中读取原始样本并写入处理后的数据；根据数据消费需求分配相应的计算资源；并在多接入边缘计算基础设施中托管需要低延迟的服务，同时将基于容器的处理管道生命周期管理应用于第三方服务，例如基于数字孪生的应用。

该平台正在地平线2020项目 5GMETA 涉及的三个不同试点站点部署和运行。因此，所提出的多接入边缘计算基础设施已在法国（萨托里）、意大利（都灵）和西班牙（圣塞巴斯蒂安）试点站点引入并测试。在这些站点，服务器可通过 5G 无线技术访问，使 UE 设备能够以极低时延使用相关服务。

在效率方面，要充分利用运行中处理管道所使用的计算资源，还有许多工作要做；例如，针对不同服务级别协议、部分重叠的感兴趣区域以及共同适用的许可证，让不同应用以不同采样率重复利用已处理的数据，同时防止未经授权地访问数据。

此外，在所提出的架构和数据工作流中应用网络切片技术，可以为特定应用隔离不同的数据流。具体而言，应用 RAN 切片技术对于优先保障安全相关的协同式自动驾驶应用的数据通信至关重要，这类应用应优先于对实时性要求较低的应用。

致谢

本研究由欧盟地平线2020研究与创新计划资助，资助协议编号为957360（5GMETA项目）；同时获得西班牙工业技术发展中心（CDTI）以及经济、工业和竞争力部的资助，资助编号/项目为*CER-20191015 /* 面向智能网络的开放式虚拟化技术演示平台（*Open-VERSO*）。

参考文献

[1] G. Velez、A. Martin、G. Pastor 和 E. Mutafungwa，《面向跨境场景下互联自动驾驶出行的 3GPP Release 15 之后的 5G》，载于《Sensors》，2020 年，第 22 卷。doi:10.3390/s20226622

[2]M. Bertoncello、C. Martens、T. M¨oller 和 T. Schneiderbauer，《释放互联汽车数据的全生命周期价值》，麦肯锡，2021 年 2 月。在线：[https://www. mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/ unlocking-the-full-life-cycle-value-from-connected-car-data][3] 欧洲电信标准协会，《智能交通系统（ITS）；车载通信；基本应用集；定义》，ETSI TR 102 638 V1.1.1 (2009-06)。在线： [https://www.etsi.org/deliver/etsi tr/102600 102699/ 102638/01.01.01 60/tr 102638v010101p.pdf][4] 3GPP，《第三代合作伙伴计划；技术规范组服务与系统方面；V2X 服务的服务要求；第 1 阶段（ Release 16）》，3GPP TS 22.185 V16.0.0 (2020-07)。[5] 5GAA，《蜂窝车联网用例和服务级别要求第一卷》，5G汽车联盟，2020 年。在线： [https://5gaa.org/wp-content/uploads/2020/ 12/5GAA T-200111 TR C-V2X Use Cases and Service Level Requirements Vol I-V3.pdf][6] Car 2 Car，《第 2 天及后续路线图指南》，Car 2 Car，2019 年。在线： [https://www.car-2-car.org/fileadmin/documents/General Documents/C 2 2072 2] CCC WP [7] RoadmapDay AndBeyond.pdf R. Soua、I. Turcanu、F. Adamsky、D. Fuhrer 和 T. Engel，《面向车载网络的多接入边缘计算：立场文件》，载于《2018 年电气电子工程师学会 Globecom Workshops（GC Wkshps）》，2018 年，第 1–6 页，doi: 10.1109/GLOCOMW.2018.8644392。[8] A. Belogaev、A. Elokhin、A. Krasilov、E. Khorov 和 I. F. Aky- ildiz，《多接入边缘计算辅助智能交通系统中的经济高效 V2X 任务卸载》，载于《IEEE Access》，第 8 卷，169023，2020 年，169010 10 1109 2020 3023263 pp. - doi: . /ACCESS. . . [9] A. Lazidis、K. Tsakos、E. G.M. Petrakis，《物联网与云的发布—订阅方法：开源系统的功能和性能评估》，载于《物联网》，第 19 卷，2022 年。doi: 10.1016/j.iot.2022.100538。[10] Y. Wang、J. Wang、Y. Ge、B. Yu、C. Li 和 L. Li，《蜂窝车联网系统架构的多接入边缘计算支持》，《2019 年电气电子工程师学会第 19 届国际通信技术会议（ICCT）》，2019 年，第 1375–1379 页，doi: 10.1109/ICCT46805.2019.8947060。，[11] C. Campolo、A. Iera、A. Molinaro 和 G. Ruggeri，《通过 Docker 容器为 5G-V2X 用例提供多接入边缘计算支持》，《2019 年电气电子工程师学会无线通信与网络会议（WCNC）》，2019 年，第 1–6 页，doi: 10.1109/WCNC.2019.8885515。[12] T. Ojanper¨a、H. van den Berg、W. IJntema、R. de Souza Schwartz 和 M. Djurica，《互联车辆场景中多个多接入边缘计算服务器之间的应用同步》，《2018 年电气电子工程师学会第 88 届车载技术会议（VTC-Fall）》，2018 年，第 1–5 页，doi: 10.1109/VTC- Fall.2018.8691039。[13] Q. Zhang 等，《OpenVDAP：面向联网自动驾驶汽车的开放式车载数据分析平台》，《2018 年电气电子工程师学会第 38 届分布式计算系统国际会议（ICDCS）》，2018 年，第 1310–1320 页，doi: 10.1109/ICDCS.2018.00131。[14] Z. Zhou、H. Yu、C. Xu、Z. Chang、S. Mumtaz 和 J. Rodriguez，《BEGIN：大数据赋能的高能效车载边缘计算》，载于《电气电子工程师学会通信杂志》，第 56 卷，第 12 期，第 82–89 页，2018 年 12 月，doi: 10.1109/MCOM.2018.1700910。[15] W. Duan、X. Gu、M. Wen、Y. Ji、J. Ge 和 G. Zhang，《智能车载边缘计算网络的资源管理》，载于《电气电子工程师学会智能交通系统汇刊》，第 23 卷，第 7 期，第 9797–9808 页，2022 年 7 月，doi: 10.1109/TITS.2021.3114957。[16] J. Kang 等，《区块链赋能的车载边缘计算与网络安全高效数据共享》，载于《电气电子工程师学会物联网期刊》，第 6 卷，第 3 期，第 4660–4670 页，2019 年 6 月，doi: 10.1109/JIOT.2018.2875542。[17] Z. Qin、S. Leng、J. Zhou 和 S. Mao，《车载网络中的协同边缘计算与缓存》，《2020 年电气电子工程师学会无线通信与网络会议（WCNC）》，2020 年，第 1–6 页，doi: 10.1109/WCNC45663.2020.9120600。[18] 5GMETA 项目，在线： [https://5gmeta-project.eu/，访问日期：15-July-2022][19] 5GPPP，《面向 5G 网络的边缘计算》，5GPPP，2021 年，第 1–96 页，doi: 10.5281/zenodo.3698117。[20] 3GPP，《WebRTC 沉浸式实时通信增强研究》，3GPP TS 26.930 V18.0.0 (2022-03)。[21] 必应地图瓦片系统。在线： [https://docs.microsoft.com/en-us/ bing maps/articles/bing-maps-tile-system，访问日期：15-July-2022]