



专题：智能网联汽车与车联网

从智能网联 1.0 到智能网联 2.0：面向双智的实时数字孪生城市构建

刘思杨^{1,2}, 张云飞^{1,2}

(1. 腾讯云计算(北京)有限责任公司, 北京 100191;
2. 腾讯科技(深圳)有限公司, 广东 深圳 518054)

摘要：从智能网联(ICV)的发展现状及面临的行业挑战出发, 提出了智能网联 1.0 和智能网联 2.0 的概念以及相应的发展思路。随后介绍了如何通过泛 V2X 实现智能网联 1.0 阶段突破以及通过车城网平台实现双智, 并提出智能网联 2.0 的愿景是构建基于智能网联的交通实时数字孪生以及面向双智的实时数字孪生城市。最后, 着重介绍了面向双智的实时数字孪生城市的构建方法以及相关的创新实践。

关键词：5G V2X; 智能网联; 双智; 数字孪生; 交通实时数字孪生; 数字孪生城市

中图分类号：TP391

文献标志码：A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2023040

From ICV 1.0 to ICV 2.0: real-time digital twin city construction for the coordinated development of ICV and smart city

LIU Siyang^{1,2}, ZHANG Yunfei^{1,2}

1. Tencent Cloud Computing (Beijing) Co., Ltd., Beijing 100191, China
2. Tencent Technology (Shenzhen) Co., Ltd., Shenzhen 518054, China

Abstract: Based on the development status and industry challenges of intelligent connected vehicles (ICV), the concepts and development strategies of ICV 1.0 and ICV 2.0 were proposed. Pan-V2X which aimed to achieve the breakthrough of ICV 1.0 and the vehicle-city coordination platform which was the core platform of ICV 2.0 were introduced. The vision of ICV 2.0 was to build transport real-time digital twin based on ICV and real-time digital twin city for coordinated development of ICV and smart city. The construction methods and innovative practices of real-time digital twin city for coordinated development of ICV and smart city were finally introduced.

Key words: 5G V2X, intelligent connected vehicle, coordinated development of ICV and smart city, digital twin, transport real-time digital twin, digital twin city

0 引言

以 5G、人工智能、云计算、大数据为代表的

信息通信技术的快速发展和交通出行行业的大规模应用正在加速提升汽车、交通与城市基础设施的数字化, 促进汽车、终端、设施、平台间的高

收稿日期: 2023-02-23; 修回日期: 2023-03-09

效连接,并以数据为纽带推动智能网联汽车、智慧交通、智慧城市的深度融合。

在汽车方面,智能化、网联化已经成为继新能源之后又一个汽车产业的战略竞争领域,我国提出坚持单车智能和网联赋能并行发展路径,推动智能网联汽车产业实现高质量发展。2022年,我国L2及以上级别的智能网联车辆在国内新车中的渗透率已经超过30%^[1]。智能座舱、车路协同、自动驾驶数据闭环等B端、C端创新应用持续涌现。随着网联化、智能化进程不断加速,汽车正从单纯的交通工具向移动智能终端、数字空间转变。

在道路交通方面,我国正在大力发展智慧交通,推进交通基础设施全要素、全周期数字化。《国家综合立体交通网规划纲要》明确提出在2035年,交通基础设施数字化率要达到90%。公安部也在大力推进城市道路交通信号的联网联控,加强多源道路数据的融合应用,着力提升信号控制应用的精细化、智能化水平,推动大数据、人工智能技术在交通安全管理领域的应用。

在车路通信技术方面,交通出行是5G垂直行业应用的重要方向,除了为车载信息娱乐服务和车载数据回传提供更高效率的连接,针对车车、车路、车人等全面互联的需求,第三代合作伙伴计划(3rd Generation Partnership Project, 3GPP)专门设计了基于全球统一4G/5G蜂窝移动通信标准的车路协同通信技术C-V2X,包含LTE-V2X和NR-V2X,其中LTE-V2X基于4G技术, NR-V2X基于5G技术,目前商用和产业推广的主要是LTE-V2X。工业和信息化部(以下简称工信部)在一系列文件中均提出要加强C-V2X基础设施部署,推动5G和C-V2X协同发展,促进5G+车联网应用。

工信部、交通运输部、公安部从2018年起先后发布了国家车联网产业标准体系建设指南总体要求及相关分册,汽车、交通、通信等相关标准

组织制定并发布了近百项智能网联国家、行业、团体标准。在智慧城市方面,国家标准化管理委员会在2014年成立了国家智慧城市标准化协调推进组和总体组,推进智慧城市相关标准的制定,目前已经立项近70项、发布近40项国家标准^[2]。针对智能网联和智慧城市协同新需求,2022年,在住房和城乡建设部(以下简称住建部)的指导下,中国电动汽车百人会联合试点城市、企业、高校、科研机构等建立了智慧城市基础设施与智能网联汽车协同发展标准体系框架,随后将开展相关标准制定。

1 智能网联发展现状、挑战及思路探讨

1.1 车路通信技术发展现状

C-V2X是连接车和路的关键通信技术,也是驱动智能网联发展的关键。2018年,我国为LTE-V2X直连通信分配了20 MHz专用频率资源5 905~5 925 MHz,各地的车联网运营公司基于此频段构建了包含路侧单元(road side unit, RSU)、车载单元(on board unit, OBU)的LTE-V2X专用直连通信网络,并配套建设了路侧感知设备、路侧计算单元、V2X平台等。

基于C-V2X直连专网,可以实现各类V2V、V2I应用。目前,产业界将应用分为DAY I、DAY II两大类,DAY I主要针对辅助驾驶的安全类预警或效率类提醒应用,包括碰撞预警、道路危险状态提示、闯红灯预警、绿波车速、拥堵提醒等^[3]; DAY II主要针对高级驾驶辅助系统(advanced driving assistance system, ADAS)、高等级自动驾驶的共享、协作、引导类应用,包括感知数据共享、协作式通行、动态车道管理等^[4]。

1.2 智能网联1.0和智能网联2.0

本文将智能网联的发展分为智能网联1.0和智能网联2.0两个阶段。在智能网联1.0阶段,产业聚焦在通过车联网先导区开展车路协同技术验证和应用示范,重点推动路侧基础设施部署和车



载终端渗透；在智能网联 2.0 阶段，产业开始更多关注智能网联和智慧交通、智慧城市的协同融合以及商业化闭环探索。

（1）智能网联 1.0

2019 年至今，全国各地开展了众多车路协同、智能网联试点项目，探索建设模式、应用模式、运营模式，我国也批准了江苏（无锡）、天津（西青）、湖南（长沙）、重庆（两江新区）4 个国家级车联网先导区。目前已经有超过 20 个城市和多条高速公路完成了 6 000 余台 RSU 部署，实现 3 500 km 的道路智能化升级改造^[5-6]，20 余款量产车型搭载了 C-V2X 技术，包括一些全系标配的车型，如高合 HiPhi X、蔚来 ET7 等。

（2）智能网联 2.0

随着各地项目的开展，产业界发现汽车、道路的数字化、网联化、智能化对城市规划和基础设施建设提出了新需求，智能网联汽车与智慧交通、智慧城市协同发展成为必然趋势。2021 年，住建部、工信部联合启动智慧城市基础设施与智能网联汽车协同发展（以下简称双智）试点，并在 4 月和 12 月，分批确定了 6 个第一批试点城市（北京、上海、广州、武汉、长沙、无锡）以及 10 个第二批试点城市（重庆、深圳、厦门、南京、济南、成都、合肥、沧州、芜湖、淄博）。目前，试点城市已开展一系列探索，并取得阶段性建设成效。

1.3 智能网联发展挑战

随着智能网联和双智试点的不断深入，目前产业发展也面临不少挑战。

（1）“两率一感”行业挑战有待破局

“两率”即 RSU 和智能化道路覆盖率不高，OBU 车端渗透率不足；“一感”即大众体验感不强。由于两率一感的问题，目前车-路应用没有进入良性循环，从示范应用到规模推广面临较大的鸿沟。

（2）应用场景有待拓展

刚性场景有待进一步挖掘，一方面，由于大

众参与感、体验感少，大众出行应用需持续探索；另一方面，除网联车、自动驾驶车外，需拓展更多智慧交通乃至智慧城市的应用。

（3）数据价值有待提升

大量数据沉淀，但未发挥价值，甚至形成新的“数据孤岛”，未和城市其他数据有效打通，限制了向交通管理及城市管理等领域场景的拓展。

（4）平台有待服务化

目前的双智平台更多的是运维管理型平台，而非运营服务型平台，需要将其升级以将沉淀的数据和积累的能力转化为共性服务，开放给广泛的 B 端生态，共创社会价值及商业价值。

1.4 智能网联发展思路探讨

智能网联和双智发展涉及汽车、交通、通信、城市基础设施的各方各面，参与主体非常广泛，如何更高效地发展尚未达成广泛共识，本文认为：

- 智能网联 1.0 的发展关键在于如何应对上述挑战，通过泛车路协同（泛 V2X）快速破局“两率一感”挑战；
- 智能网联 2.0 的发展关键在于通过车城网平台打通数据孤岛，实现智能网联汽车与智慧交通、智慧城市的协同；更进一步地，当智能网联大规模应用之后，车路设施将与智慧交通、智慧城市深度融合，实现数字孪生城市。

下文就此开展相关探讨。

2 智能网联 1.0：基于泛车路协同破局“两率一感”行业挑战

我国拥有全球最完善的 4G/5G 网络以及最强大的 5G 生态，手机、车机的移动互联网应用广泛普及；4G/5G T-Box 在国内新车的前装渗透率已经超过 60%，预计 2025 将超过 90%^[5-7]。如果能充分利用完善的 4G/5G 基础设施和强大的移动互联网生态来推广 V2X，将部分安全性需求没那么高的 V2X 应用转化为伴随式信息服务，将迅速提升

大众体验感,助力V2X实现规模拓展。

文献[8]提出了“泛V2X”的理念,从应用出发,通过强云、泛网、富端、开放、解耦促进4G/5G公网和C-V2X直连专网的充分协同,实现车路云网人泛在连接。

- 强云:以云端平台为核心强化云端决策能力,支持轻量化终端获取服务。
- 泛网:支持C-V2X直连专网、4G/5G公网、4G/5G专网,乃至ETC-X。
- 富端:广泛支持各等级智能网联车辆、各类信息终端(如智能手机),支持专用V2X App、通用App(如地图导航App)、小程序、车载特色触达等。
- 开放:充分利用应用程序接口(application programming interface, API)/软件开发工具包(software development kit, SDK)等软能力增加灵活性与可集成度,提升特色差异化应用服务能力,提高可运营性。
- 解耦:云边端应用层充分协同,实现快速迭代,与网络松耦合,增强对网络的普适性。

从泛V2X理念出发,文献[8]进一步提出打造“5G泛V2X开放平台”以及云端决策V2X和V2X消息定向分发两大关键技术,基于中心云、边缘

云、路侧感知以及移动智能终端的云边端协同,各种类型的4G/5G移动智能终端可通过移动互联网应用从平台获取V2X伴随信息服务;平台兼容C-V2X直连专网,提供RSU、OBU以及其他设备的运维管理、数据汇聚分析等服务,泛V2X技术框架如图1所示。5G泛V2X开放平台可向丰富多样的4G/5G终端提供泛V2X服务,包括标准的安全预警、效率通行V2X服务以及特色的视频直播、孪生导航等差异化V2X服务。针对泛V2X,产业界制定了移动互联网车路协同、智能网联精准公交等相关标准^[9-11];基于4G/5G的泛V2X方案与C-V2X直连通信方案也被IMT-2020(5G)推进组C-V2X工作组发布的《车联网基础设施参考技术指南1.0》并列为两大技术路线^[12]。

5G泛V2X开放平台已实现了与10余家路侧硬件厂商的互联互通,支持10万辆车以上的服务规模,配套提供车路协同App、小程序等C端触达应用或供其他应用集成的SDK,已在天津、重庆、成都、襄阳等地开展了应用示范。例如,在天津,结合西青国家级车联网先导区的定位和建设目标,以5G泛开放平台为核心,打造了基础平台、引擎平台、运营平台、应用平台、运维管理体系、安全保障体系的“四平台+两体系”实施架

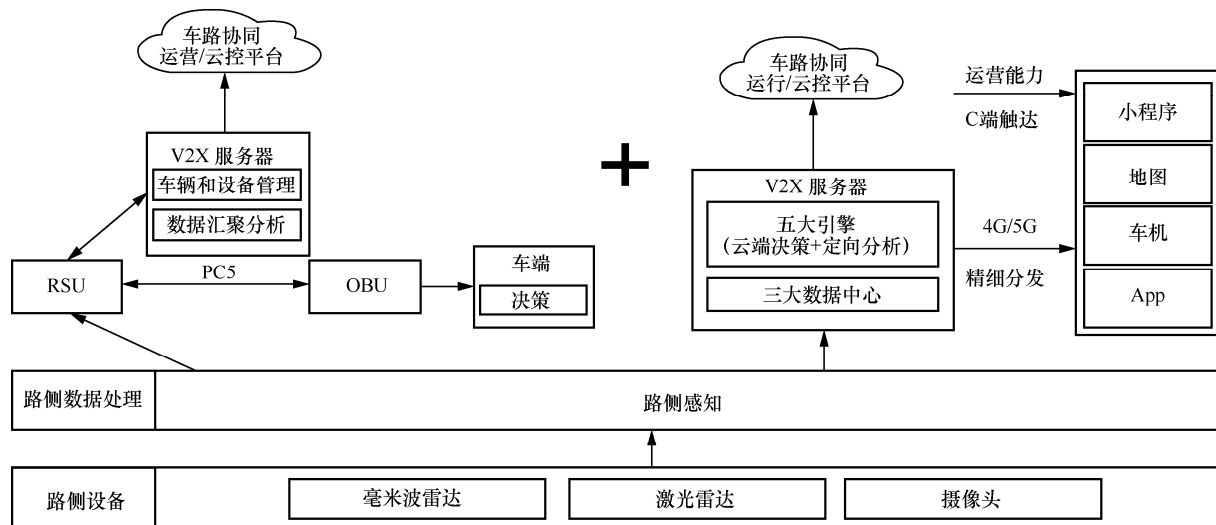


图1 泛V2X技术框架



构，天津（西青）5G 泛 V2X 开放平台整体框架如图 2 所示。

3 智能网联 2.0：构建面向双智的实时数字孪生城市

3.1 基于车域网平台实现智能网联与智慧城市协同

2022 年 12 月，在广泛征集试点城市意见的基础上，产业界厂商联合发布了《智慧城市基础设施与智能网联汽车协同发展建设指南》（以下简称《指南》），《指南》将双智总体架构分为城市智能基础设施、智能网联汽车、支撑与服务、车域网平台和场景应用 5 部分。城市智能基础设施包括感知基础设施、信息基础设施、算力基础设施、定位基础设施、能源基础设施；支撑与服务主要提供数字化支撑的云服务、物理设施支撑的管线配套、设施供电等；车域网平台是双智协同的关键，通过广泛汇聚车端和城端的动静态数据，充分挖掘车城数据价值，支撑多样化应用场景落地。

车域网平台是智能网联汽车和智慧城市基础设施协同发展的重要支撑。在 5G 泛 V2X 开放平台的基础上进一步打造统一开放、互联互通的车域网平台，可实现车城数据融合、智能联动，支

撑生态实现应用场景创新。平台向下连接设施设备和相关系统，向上服务业务应用，全方位赋能智能交通、交通管理、居民出行、物流场景、城市管理、自动驾驶等应用。车域网平台包括数字基底、智能引擎、开放平台 3 层，车域网平台整体架构如图 3 所示。

数字基底融合不同系统的专网地图数据、高精度地图数据、建筑信息模型（building information model, BIM）/城市信息模型（city information model, CIM）、物联感知数据、位置大数据、设施设备数据、规划建设数据、智能网联数据等，构建城市全要素、全时空可计算的数据底座，为车域网提供全时空统一的数字基底能力。

智能引擎强化云计算、大数据、人工智能、数字孪生、模拟仿真等先进技术，打造车路协同引擎、实时孪生引擎、AI 分析引擎、交通仿真引擎、时空分析引擎等，打造可感知、可计算、可决策的智慧车域网。

开放平台搭建一套统一、可运营的服务系统，向下连接开放引擎，向上服务业务应用。通过开发模式、建设模式、运营模式的转变，助力新业务建设快速复用已有技术积累，降低使用门槛，

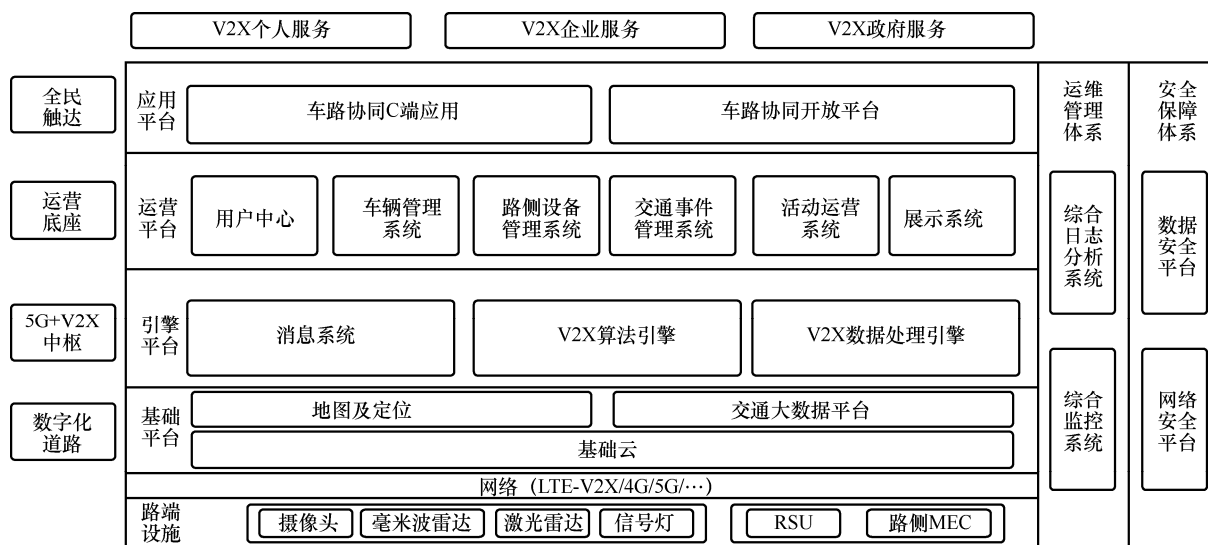


图 2 天津（西青）5G 泛 V2X 开放平台整体框架

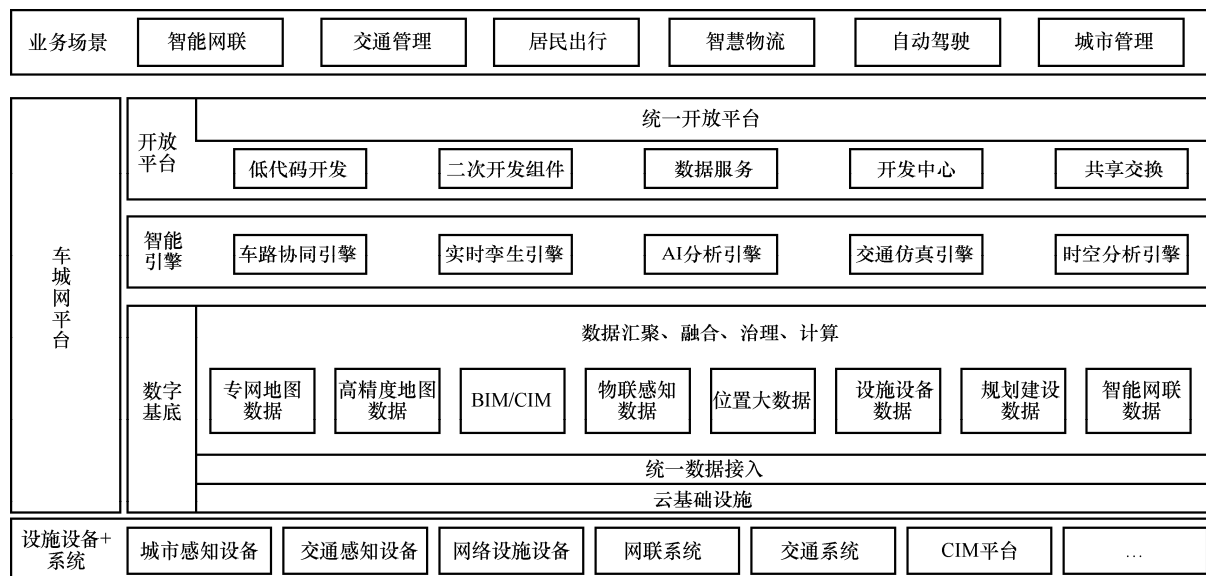


图3 车城网平台整体架构

助力车城网应用创新。

3.2 基于车城网平台构建数字孪生城市

数字孪生是近几年兴起的技术，得到产业界的广泛关注，其通过在数字空间实时构建物理世界的精准数字化映射来模拟、验证、预测物理实体的全生命周期过程，并实时反馈和优化物理世界。2018年，《河北雄安新区规划纲要》首次提出“坚持数字城市与现实城市同步规划、同步建设”，

被认为是数字孪生城市在中国的开端^[13]，随后上海、海南、北京、广东等均提出了探索建设数字孪生城市的规划。数字孪生城市将数字孪生从设备的单体维度和工业厂区、交通等垂直应用的中观维度提升到了城市级别的超大宏观维度，作为人机物泛在融合的复杂巨系统，城市给数字孪生技术的应用和实施带来了一系列挑战。数字孪生城市的整体框架如图4所示。

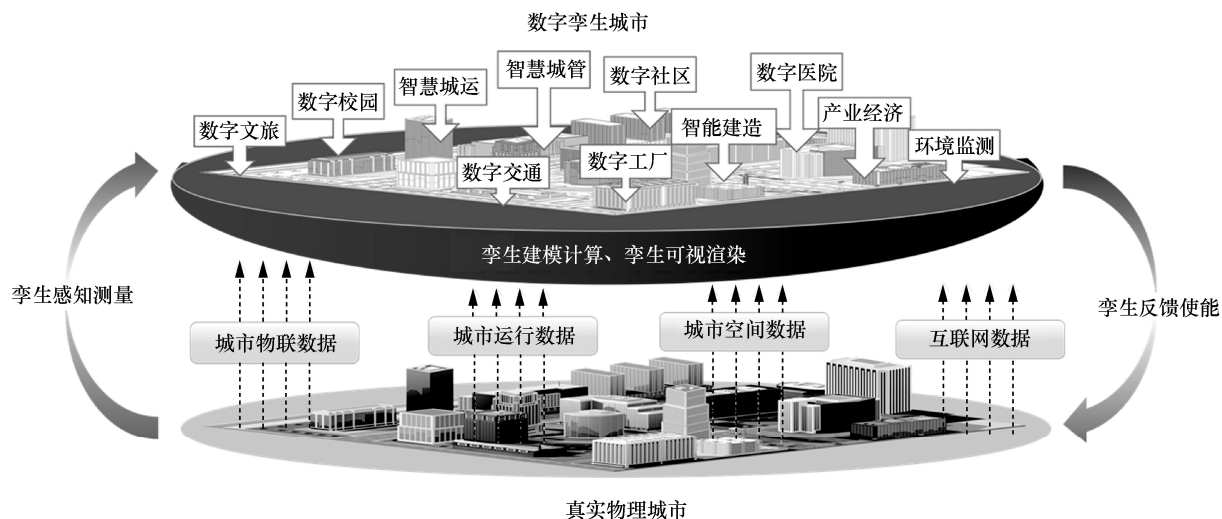


图4 数字孪生城市的整体框架



数字孪生城市的建设涉及众多关键技术的应用，其融合的超复杂性也使得孪生城市的建设不是一蹴而就的，也不可能短期内完全实现，相关标准化组织开展了相关研究，国际标准化组织（International Organization for Standardization, ISO）/国际电工委员会（International Electrotechnical Commission, IEC）联合开展了数字孪生用例、数字孪生概念和术语相关标准的制定^[14-15]，国际电信联盟电信标准化部门（ITU Telecommunications Standardization Sector, ITU-T）在2022年发布了 *Requirements and capabilities of a digital twin system for smart cities*^[16]。全国信息技术标准化技术委员会开展了《信息技术 数字孪生 第1部分：通用要求》标准制定^[17]，并针对城市孪生应用，在2022年立项了《智慧城市 城市数字孪生 第1部分：技术参考架构》标准^[18]。本文依托笔者团队的一些实践开展相关探讨。

3.2.1 泛在 OS 使能城市智慧应用

操作系统（operating system, OS）通过物理设备的虚拟化，统筹管理物理资源，使能应用高效运行，之前多用于计算机、智能设备、云服务等信息与通信技术（information and communication technology, ICT）领域。2018年，梅宏院士团队在泛在计算的概念之上提出泛在操作系统，面向新型人机物融合泛在计算，通过硬件资源虚拟化和功能可编程的核心技术路径使能小到物联终端、大到智慧城市等应用场景和计算模式，构建新型“中间件”层系统软件，向下对各类泛在物理资源进行虚拟化，管理协调虚拟资源，向上提供开发运维一体化环境，支持泛在应用开发运行^[19-21]。文献[22]提出智能城市操作系统，向下通过云基础设施管理底层数据，并且连接和调度城市中的硬件设备；向上提供公共组件和接口，支持各类智能城市应用的开发、运行和协调联动。2021年发布的《北京市关于加快建设全球数字经济标杆城市的实施方案》，也明确提出建设新一代

数字原生城市操作系统，形成城市级物联网、人工智能和5G应用的基础。

在泛在 OS 方面，产业界开展了众多实践。文献[23]的交通 OS，作为泛在 OS 的一部分，向下接入交通行业的各类硬件设备及系统，实现统一设备控制和数据接入；向上提供标准化开发接口，接入应用生态，支撑应用快速开发和上线。该系统已经在轨道交通领域获得了应用，在广州地铁18号线、22号线正开展示范运营。交通 OS 高速版可助力高速业主实现繁多异构硬件设备和数据信息的统一接入和管理，使能高速道路监测、突发事件自动预警、基础设施安全风险监测、出行诱导等各类智慧高速应用。在智慧建筑和智慧园区领域，微瓴操作系统提供一站式物联、管理与建筑和园区数字服务支持。更多领域案例可参见文献[23]。

3.2.2 城市基础设施泛在物联

城市运行状态瞬息万变，影响因子众多且关联密切。数字孪生城市除了要实现空间数据、领域统计数据、静态数据的精准表达与呈现，更要实现对城市整体运行状态的精准实时感知，城市基础设施的泛在物联不可或缺，包括通过前文所述的路侧感知以及传统的线圈、卡口、电警等数据实现路面交通流的感知；综合交通运输枢纽、轨道交通、机场港口运行状态的实时监测；水电气及相关管线管廊的状态监测；用于安全生产监管的视频、传感、消防类物联网（Internet of things, IoT）数据；气候气象类 IoT 数据等。基础设施的泛在物联更为城市孪生大脑提供了对城市关键管控设备的实时操控，基于孪生大脑对城市运行的监测、预测、仿真、推演，反馈影响并优化城市运行。

3.2.3 城市时空计算与数据智能处理

（1）多源数据驱动的城市时空计算

城市涉及众多领域，数据分散在不同的主管部门及利益主体，要实现数字孪生城市需构建全时空统一的数字基座，通过部署消息服务组件、

数据复制、抽取-转换-加载(extract-transform-load, ETL)等工具,将各类结构化数据、非结构化数据、内部数据、外部数据汇聚到数据基底,实现城市数据的统一接入管理,打造一个高效、便捷、安全的数据共享交换空间,并提供批量数据的探查、清洗、转换、加载、关联、融合的数据处理能力,以及实时数据的落地、统计、解析、分析等处理能力,满足不同部门的共性需求和差异化需求,实现数据互联互通,为各类应用赋能,支撑数据创新应用培育。

当前,不同部门间和不同领域间的数据融合共享存在较大挑战,大量的数据格式不统一,频率和数据量不匹配。以数据格式为例,不同行业不同厂商由于各自的发展路径和商业利益,在各领域甚至各公司形成了独特的数据格式,从城市整体角度,就形成了繁杂多样的数据种类,例如,对于空间数据,常用的数据种类就有倾斜摄影数据、点云数据、数字高程模型(digital elevation model, DEM)/数字正射影像图(digital orthophoto map, DOM)等地理信息系统(geographic information system, GIS)类数据,三维模型数据,城市白模数据, BIM 数据,涉及 max/ifc/dwg/rvt/dgn/ifc/fbx 等几十种数据格式。如何进行有效的数据分析和治理,并兼顾不同的强实时、实时、准实时、非实时需求,建设实现数据融通的数字基底需要在实践中不断探索。

(2) 海量数据智能处理

面向智慧城市管理需求,结合业务场景构建 AI 算法与 AI 工具双轮驱动的全栈式人工智能开发服务平台,致力于打通包含从数据获取、数据处理、算法构建、模型训练、模型评估、模型部署到 AI 应用开发的全流程链路,快速创建和部署城市 AI 应用。一是 AI 开发全流程支持,提供从数据标注、数据处理、模型训练、自动学习、模型评估到模型发布部署的全流程支持;提供模型优化、服务管理、应用服务编排、云边端调度

等功能,快速接入模型、数据和智能设备,从而构建智能应用。二是可视化便捷开发,提供可视化拖拽式建模工具,交互式代码开发环境,训练软件开发包等不同使用门槛的建模工具。预置丰富的可视化算子与框架,支持结合业务场景灵活组合预置算子组件从而快速构建训练流程,支持与模型服务对接。三是结合智慧交通、智慧园区、智慧政务、智慧旅游等孪生城市业务场景,构建丰富的 AI 场景算法。

3.2.4 BIM/CIM 城市一张图打造可视底板

BIM 是建筑设施物理和功能特征的三维数字化表达,其使得建筑设计从传统的二维计算机辅助设计(computer aided design, CAD)拓展到三维空间,实现了建筑工程的可视化分析,并提供碰撞检测、漫游、施工模拟等新型 BIM 应用。完善的 BIM 连接了建筑项目生命周期不同阶段的数据、过程和资源,实现对工程对象的完整描述,一方面,在规划建设阶段被规划方、决策方、设计方、建设方用于提高协同效率、节约成本、缩短工期;另一方面,在超过 80%生命周期的运营维护阶段供运营方实现数字化运营管理,降低运维成本,提高运维效率。

BIM 更多是单体建筑全生命周期的数据和信息管理,在城市层面属于微观尺度。在城市宏观角度,随着 BIM 在建筑工程领域的广泛使用, BIM、GIS 与 IoT 技术开始融合,诞生了 CIM 的理念。CIM 结合了 BIM 丰富的建筑语义信息、GIS 强大的宏观空间表达和空间分析计算能力、IoT 的实时动态数据供给能力,意在通过整合多维度、多尺度信息模型数据和物联感知数据,实现城市全生命周期管理以及治理模式从二维到三维的转变,支持城市规划、建设、管理、服务应用,包括多规合一、多维管控、城市治理、应急处置等。

从数字孪生的角度讲, BIM 和 IoT 的融合在某种程度上实现了单体建筑的孪生; CIM 是在城市规建管控角度从建筑数字孪生到城市数字孪生



的扩展,但由于城市运行的超复杂性,如何在城市交通、管网、政务、医疗、能源、工业、商业等垂直领域实现数字孪生融合有待进一步研究,也涉及很多技术和工程实现问题,包括 BIM/CIM 轻量化(数模分离、三维几何数据的轻量化处理等)、BIM 与标准精度/高精度地图数据和 IoT 数据的高效融合、CIM 大范围三维模型动态加载、云渲染等。

3.2.5 构建基于智能网联的交通实时数字孪生,助力双智数字孪生城市

随着智能网联汽车等新型智能终端融入城市,物理实体终端与城市基础设施、数字虚拟城市如何更有效地互动值得持续地深入探索。相较于城市的其他应用,基于智能网联的数字孪生更强调实时性,即交通“实时”数字孪生,在如第 4.2 节所述的一些场景中,端到端时延要求达到 200 ms 左右。

基于 5G 智能网联的车路云网人泛在连接一方面使得交通实时数字孪生可以获得更实时、更精确的交通流数据。另一方面,在数字空间的优化决策指令可以通过 5G、C-V2X 的实时连接通道反馈使能智能网联车辆、智能终端,从而改善交通运行状况,促进交通安全。交通实时数字孪生的构建也包括全息融合感知、实时时空计算、高精度孪生渲染、交通仿真推演。

全息融合感知通过对摄像头、毫米波雷达、激光雷达等路侧感知设备采集的多源异构数据进行融合计算,实现了对道路机动车、非机动车、行人、异常交通事件的实时监测和全方位感知。实时时空计算基于统一的时空数字基底支持各种类型海量时空数据的实时处理,实现人、车、路、城的时空态势分析,并基于二三维标准精度和高精度地图实现道路交通各要素的采集、展示及管理。高精度孪生渲染基于大规模自动化场景构建技术,快速低成本地构建物理世界向数字孪生世界的静态场景映射;对全息融合感知获得的实时交通监测数据,通过与模型库中的机动车、非机

动车、行人模型进行匹配来实时还原动态交通流,形成实时数据驱动的孪生场景。大规模城市级交通仿真推演通过对道路出行的流量、密度、速度等运行状态的实时仿真,实现对交通出行个体、城市出行运行规律还原,支持交通管理者根据业务场景实现仿真参数定义,以多维度地评价指标,让交通管理者全面、提前掌握路网交通状态,辅助业务决策。相关技术的详细介绍可参见文献[8]。

2021 年,ITU 牵头开展了国际上首个智能交通数字孪生标准的制定工作,主要研究智能交通系统数字孪生的需求与能力框架,其中,基于泛 V2X 的 C 端实时数字孪生已列入该标准的典型用例^[24]。

4 智能网联和面向双智的实时数字孪生城市创新实践

4.1 智能网联泛 V2X 应用

基于泛 V2X 技术路线构建的智能网联应用,用户无须在车上安装 OBU 或进行复杂改造,只需在手机、车机等 4G/5G 移动智能终端上使用车路协同 App、小程序或使用集成了车路协同服务的通用 App(如地图导航 App)等,便可获得低时延 V2X 伴随式信息服务,包括红绿灯信号同步、绿波通行、路侧事件同步、弱势交通参与者预警服务等标准化的 V2X 服务以及前方道路视频直播等特色的差异化 V2X 服务,显著提高用户获得感。泛 V2X 应用如图 5 所示。

在天津、重庆等国家级车联网先导区以及成都、襄阳等地,用户可通过专用的车路协同 App、小程序获得相关服务,外部开发者也可通过集成泛 V2X SDK 进一步整合 C 端服务,例如,在成都、重庆,泛 V2X SDK 被集成进 5G 网联一体化出行即服务(mobility as a service, MaaS)系统。腾讯地图已经与北京市高级别自动驾驶示范区的云控基础平台打通,提供红绿灯倒计时等车路协同服务。在长沙,基于 5G 智能网联的精准公交可有效提升公共交通运行效率,相比普通公交提升



(a) 基于泛V2X的标准化V2X服务: 弱势交通参与者碰撞预警



(b) 基于泛V2X的差异化V2X服务: 前方道路视频直播

图 5 泛 V2X 应用

行程效率(通勤时间)约 30%, 相比私家车提升行程效率约 20%。具体内容可参见文献[8]。

4.2 实时数字孪生赋能智慧交通与出行

基于 5G 智能网联的实时数字孪生通过对道路静动态要素的实时渲染实现了道路的全时全量多维精准监测, 构建了全息孪生道路, 进一步结合交通仿真、大数据分析并与智慧交通管理业务深度融合后, 将解决长期困扰交通管理的痛点, 例如, 可自动感知交通事故, 通过精准车辆轨迹研判事故责任, 生成证据链视频, 节约出警时间, 减少此类事故; 提供精准车道级数据, 全面分析交通运行状态, 打通路侧感知与信控机的隔阂, 实时优化红绿灯配时方案。

高速公路出行者希望能够在不同气象条件下

有选择地使用高速通行服务, 当出行者驶入雨、雾、雪等恶劣气象环境路段时, 通过相关出行诱导服务, 出行者能够清晰分辨道路轮廓、道路走向, 安全通行。目前, 在成都市第二绕城高速公路的部分路段已实现了 C-V2X 和 5G 链路的 C 端实时数字孪生, 部署在路侧的传感器感知道路交通车辆, 云端平台将路侧感知结果通过 C-V2X 专用通信网或 5G 网络传送给车载终端, 车载终端对路侧感知数据进行数字孪生渲染并与 V2X 伴随信息服务、导航进行融合, 在 C 端实现了逼真的物理世界到数字交通世界的映射, 以主车视角或“上帝视角”引导公众出行, 支持高速全天候出行。融合 V2X 伴随信息服务的智能孪生导航如图 6 所示。



图6 融合 V2X 伴随信息服务的智能孪生导航

4.3 实时数字孪生赋能城市各行各业

在瑞泰马钢工厂,文献[23]的微瓴操作系统通过将新型传感器、智能控制系统、工业机器人、自动化成套设备及产品生命周期管理 (product lifecycle management, PLM)、企业资源计划 (enterprise resource planning, ERP)、生产管理系统 (production management system, PMS) 等相关信息化系统进行统一连接和深度融合,同时利用数字孪生、动态 3D 大数据可视化、AI 数据应用技术等,支持实现产品从设计、工艺、制造、服务到退役全生命周期数据和商业智能分析的透明化,“透明工厂”的实现让瑞泰马钢的生产能耗降低了 10%,效率提升了 12%。

南京市的紫云智慧广场构建了全要素数字孪生互联的园区综合体,实现物联网智慧综合体“一图全面感知、一体运行联动、一屏智享生活”,使智慧综合体的业主、企业商家及终端用户获得便

捷、安全、低碳、舒适及高效的园区场域使用体验,具体可参见文献[23]。

重庆市住房和城乡建设委员会基于数字孪生技术打造了智能建造平台,以工程建设管理规程为基准,连接项目各参建方及政府监管部门,实现项目级施工管理行为数字化、施工作业行为数字化,打通工程项目精细化、无纸化管理的“最后一公里”,从而解决建筑产业协同、“毛细血管”数据沉淀等问题,为智慧城市数字孪生体的构建奠定坚实的基础,具体可参见文献[25]。

广州某区政府打造了基于数字孪生的雨洪模拟系统,实现在雨洪灾害时的智能决策和科学响应,优化防洪救灾的决策,具体可参见文献[25]。

5 结束语

本文探讨了智能网联 1.0 和智能网联 2.0 的发展思路,介绍了智能网联 1.0 阶段的泛车路协同,

以及在智能网联 2.0 阶段构建基于智能网联的交通实时数字孪生和面向双智的实时数字孪生城市。城市是人机物泛在融合的复杂巨系统,实时数字孪生城市的建设涉及众多技术的融合和应用,也面临一系列挑战,智能网联与城市基础设施的协同也不完全成熟,面向双智的实时数字孪生城市的构建需要全产业链的广泛实践和持续不断的探索。

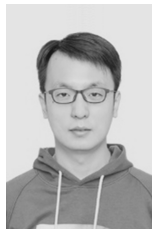
参考文献:

- [1] 中国汽车工程学会, 国家智能网联汽车创新中心, 中国智能网联汽车产业创新联盟. 中国智能网联乘用车市场分析报告[R]. 2022.
China SAE, CICV, CAICV. China intelligent and connected passenger vehicle market analysis report[R]. 2022.
- [2] 中国电子技术标准化研究院. 智慧城市国家标准应用实施报告(1.0版)[R]. 2022.
CESI. Smart city national standard application and implementation report (1.0)[R]. 2022.
- [3] 中国汽车工程学会. 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(第一阶段): T/CSAE 53—2020[S]. 2020.
China SAE. Cooperative intelligent transportation system vehicular communication: application layer specification and data exchange standard (phase I): T/CSAE 53-2020[S]. 2020.
- [4] 中国智能网联汽车产业创新联盟. 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): T/CSAE 157—2020[S]. 2020.
CAICV. Cooperative intelligent transportation system vehicular communication: application layer specification and data exchange standard (phase II): T/CSAE 157—2020[S]. 2020.
- [5] 中国信息通信研究院. 车联网白皮书(2021年)[R]. 2021.
CAICT. Internet of vehicles white paper (2021)[R]. 2021.
- [6] 中国信息通信研究院. 车联网白皮书(2022年)[R]. 2022.
CAICT. Internet of vehicles white paper (2022)[R]. 2022.
- [7] 高工智能汽车研究院. 高工智能汽车研究院监测数据[R]. 2022.
Gaogong Intelligent Automobile Research Institute. Gaogong intelligent automobile research data[R]. 2022.
- [8] 刘思杨, 张云飞. 泛 V2X 的理念、框架、应用及实践研究[J]. 移动通信, 2022, 46(11): 76-83.
LIU S Y, ZHANG Y F. Pan-V2X: concept, framework, application, and practice[J]. Mobile Communications, 2022, 46(11): 76-83.
- [9] 中国通信标准化协会. 基于移动互联网的车路协同应用场景及技术要求: YDCPZT1583-2022[S]. 2022.
CCSA. V2X applications and technique requirements based on mobile internet: YDCPZT1583-2022[S]. 2022.
- [10] 中国智能交通产业联盟. 合作式智能公交系统 第1部分: 总体架构及应用: T/ITS 0191.1-2022[S]. 2021.
China ITS Industry Alliance. Cooperative intelligent bus system part 1: general architecture and application: T/ITS 0191.1-2022[S]. 2021.
- [11] 中国智能交通产业联盟. 合作式智能公交系统 第2部分: 数据接口规范: T/ITS 0191.2-2022[S]. 2021.
China ITS Industry Alliance. Cooperative intelligent bus system part 2: data interface: T/ITS 0191.2-2022[S]. 2021.
- [12] IMT-2020(5G)推进组 C-V2X 工作组. 车联网基础设施参考技术指南 1.0[R]. 2022.
IMT-2020 (5G) Promotion Group C-V2X Working Group. Internet of vehicles infrastructure reference technical guide[R]. 2022.
- [13] 周瑜, 刘春成. 雄安新区建设数字孪生城市的逻辑与创新[J]. 城市发展研究, 2018, 25(10): 60-67.
ZHOU Y, LIU C C. The logic and innovation of building digital twin city in Xiong'an new area[J]. Urban Development Studies, 2018, 25(10): 60-67.
- [14] ISO/IEC. Digital twin - use cases: 30172[S]. 2018.
- [15] ISO/IEC. Digital twin - concepts and terminology: 30173[S]. 2018.
- [16] ITU-T. Requirements and capabilities of a digital twin system for smart cities: Y.4600[S]. 2022.
- [17] 全国信息技术标准化技术委员会. 信息技术 数字孪生 第1部分: 通用要求: 20213298-T-469[S]. 2021.
NITS. Information technology - digital twin - part 1: general requirements: 20213298-T-469[S]. 2021.
- [18] 全国信息技术标准化技术委员会. 智慧城市城市 数字孪生 第1部分: 技术参考架构: 20221808-T-469[S]. 2022.
NITS. Smart city - city digital twin - part 1: technical reference architecture: 20221808-T-469[S]. 2022.
- [19] MEI H, GUO Y. Toward ubiquitous operating systems: a software-defined perspective[J]. Computer, 2018, 51(1): 50-56.
- [20] 陈海波, 贾宁, 钱桔杨. 面向 2030 的操作系统架构与演进思考[J]. 中国计算机学会通讯, 2022, 18(12): 65-72.
CHEN H B, JIA N, QIAN Z Y. Thoughts on operating system architecture and evolution for 2030[J]. Communications of the CCF, 2022, 18(12): 65-72.



- [21] 郭耀, 曹东刚, 梅宏. 泛在操作系统[J]. 中国计算机学会通讯, 2023, 19(1): 86-87.
GUO Y, CAO D G, MEI H. Ubiquitous operating system[J]. Communications of the CCF, 2023, 19(1): 86-87.
- [22] 郑宇. 智能城市操作系统[J]. 中国计算机学会通讯, 2020, 16(12): 39-44.
ZHENG Y. Smart city operating system[J]. Communications of the CCF, 2020 16(12): 39-44.
- [23] 北京大学, 腾讯. 泛在操作系统实践与展望研究报告[R]. 2022.
Peking University, Tencent. Ubiquitous operating system practice and prospect research report[R]. 2022.
- [24] ITU-T. Requirements and capability framework of digital twin for intelligent transport system: Y.dt-ITS[S]. 2021.
- [25] 腾讯. 腾讯数字孪生云白皮书[R]. 2022.
Tencent. Tencent digital twin cloud white paper[R]. 2022.

[作者简介]



刘思杨 (1984-), 男, 博士, 腾讯云计算(北京)有限责任公司智慧交通专家研究员、智能网联首席专家, 在车联网、卫星互联网、移动互联网、无线通信等多个领域拥有丰富的研究经验。



张云飞 (1977-), 男, 博士, 腾讯科技(深圳)有限公司未来网络实验室主任、智慧交通首席科学家, 中国公路学会“国际公路交通科技领军人才”, 主要研究方向为5G网络及在其智慧交通中的应用、分布式系统、音/视频传输和流媒体等。