

ICS 33.040.40

CCS M10/29

团体标准

T/CITSA XX-202X

自主式交通系统数字孪生数据交互规范

Technical Specification for Digital Twin Data Interaction, of
Autonomous Transportation System

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国智能交通协会 发布

目 次

前言 II

引言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语、定义和缩略语 1

 3.1 术语和定义 1

 3.2 缩略语 1

4 总体要求 2

 4.1 系统架构 2

 4.2 通信架构 3

 4.3 执行中间件 4

5 技术要求 4

 5.1 数据要求 4

 5.2 安全要求 4

 5.3 传输时效要求 4

 5.4 响应反馈要求 4

参考文献 5

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由公安部道路交通安全研究中心提出。

本文件由中国智能交通协会归口。

本文件起草单位：公安部道路交通安全研究中心、清华大学、北京交通大学、武汉理工大学、北京航空航天大学、长安大学、中车长春轨道客车股份有限公司、北京世冠金洋科技发展有限公司、中车时代电动汽车股份有限公司、国能朔黄铁路发展有限责任公司。

本文件主要起草人：于鹏程、胡伟超、张博越、曲小波、王亮、马小平、孙士杰、吴兵、汪洋、张存保、魏邦洋、高博麟、肖业、任毅龙、关吉瑞、张桥、王建华、何宇强、张斌。

引言

为贯彻《数字交通“十四五”发展规划》对于智能交通的部署要求，提高交通管理效率，促进智能交通发展，制定了自主式交通系统数字孪生数据交互标准规范系列标准。T/CTS XXXX《自主式交通系统数字孪生数据交互与协同响应技术规范》旨在实现跨设备互联互通。

自主式交通系统数字孪生数据交互规范

1 范围

本文件规定了自主式交通系统数字孪生数据交互与协同响应技术的系统架构、通信架构及技术要求。本文件适用于自主式交通系统中数字孪生数据交互与协同响应技术的设计、开发、实施和维护等过程，为相关领域提供统一、规范的技术指导和操作标准，保障自主式交通系统的智能化发展和高效运行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 17547—1998 信息技术 开放系统互连 数据链路服务定义
IEEE 802.2/3:1985 局域网协议标准
RFC0768 UDP 协议
RFC0791 IP 协议
RFC0793 TCP协议

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

自主式交通系统 Autonomous Transportation System

通过先进的感知、决策和控制技术，能够在无需人工干预的情况下实现车辆自主运行、环境感知、路径规划、动态决策和协同控制的智能交通系统。

3.1.2

载运工具 Transport Vehicle

具备自动驾驶或部分自动驾驶能力的交通工具，包括乘用车、货车、公共交通工具、无人驾驶货运车辆及无人机等。

3.1.3

协同响应 collaborative response

多个节点或系统在面对交通突发事件或动态变化时，通过数据交互与智能协作，迅速调整运行状态的机制。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

IEEE: 电气电子工程师协会(Institute of Electrical and Electronics Engineers)
HTTP: 超文本传输协议(Hyper Text Transfer Protocol)
HTTPS: 超文本传输安全协议(HyperText Transfer Protocol Secure)
JSON: JavaScript:对象表示法(JavaScript Object Notation)
XML: 可扩展标记语言(Extensible Markup Language)
Protobuf: 数据结构序列化和反序列化框架(Protocol Buffer)
RSU: 路侧单元(Roadside Unit)
4G: 第四代通信技术(4th Generation)
5G: 第五代通信技术(5th Generation)

MQTT: 消息队列遥测传输 (Message Queuing Telemetry Transport)
TCP: 传输控制协议 (Transmission Control Protocol)
UDP: 用户数据报文协议 (User Datagram Protocol)
TRDP: 铁路车辆之间实时数据通信的协议 (Train Real-Time Data Protocol)
SNMP: 简单网络管理协议 (Simple Network Management Protocol)
SSL: 安全套接层 (Secure Sockets Layer)
TSL: 传输层安全协议 (Transport Layer Security)
IP: 网际互连协议 (Internet Protocol)
MAC: 多路访问控制 (Multiple Access Control)
LLC: 逻辑链路控制 (Logic Link Control)
RLC: 无线链路层控制协议 (Radio Link Control)
PDCP: 分组数据汇聚协议 (Packet Data Convergence Protocol)
SDAP: 服务数据适配协议 (Service Data Adaptation Protocol)
API: 应用程序编程接口 (Application Programming Interface)
IDS: 入侵检测系统 (intrusion detection system)
IPS: 入侵防御系统 (Intrusion Prevention System)

4 总体要求

4.1 系统架构

自主式交通系统数字孪生数据交互与协同响应系统架构分为接入层、通讯层、平台层和应用层，关系见图1。

4.1.1 接入层支持道路交通、铁路交通、水运交通和低空交通四种交通方式的载运工具、交通数据采集及控制设备的接入。

4.1.2 通讯层具备统一的通讯架构，支持数据和控制指令的传输。

4.1.3 平台层包含支持物理空间和孪生空间交互的执行中间件、支持上层应用的孪生模型库、孪生地图及数据中台，相互之间通过 API 接口进行交互。

4.1.4 应用层为自主式交通系统的各种场景应用，通过 API 接口与执行中间件交互。

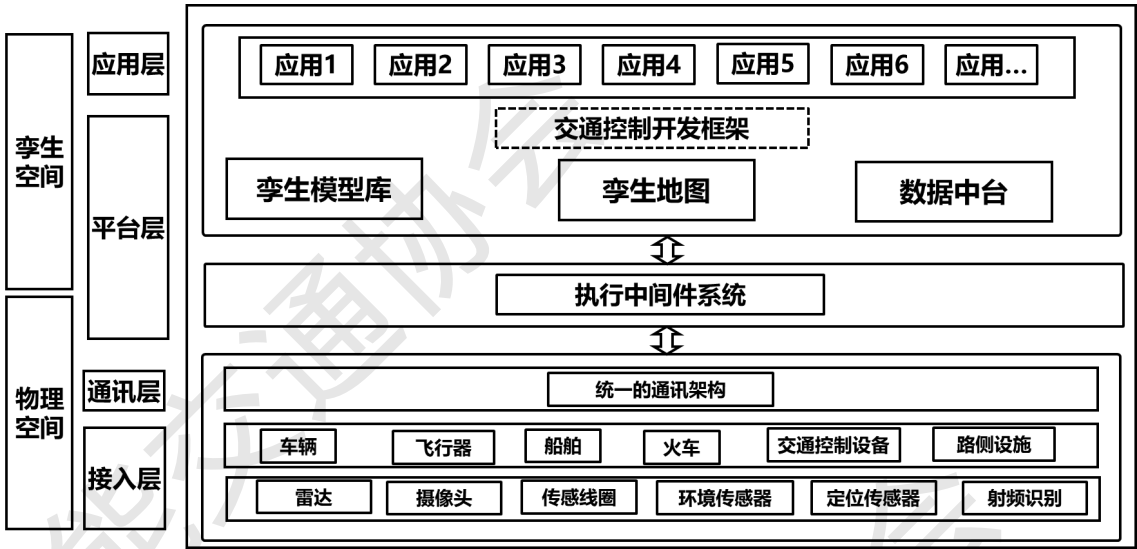


图 1 系统架构

4.2 通信架构

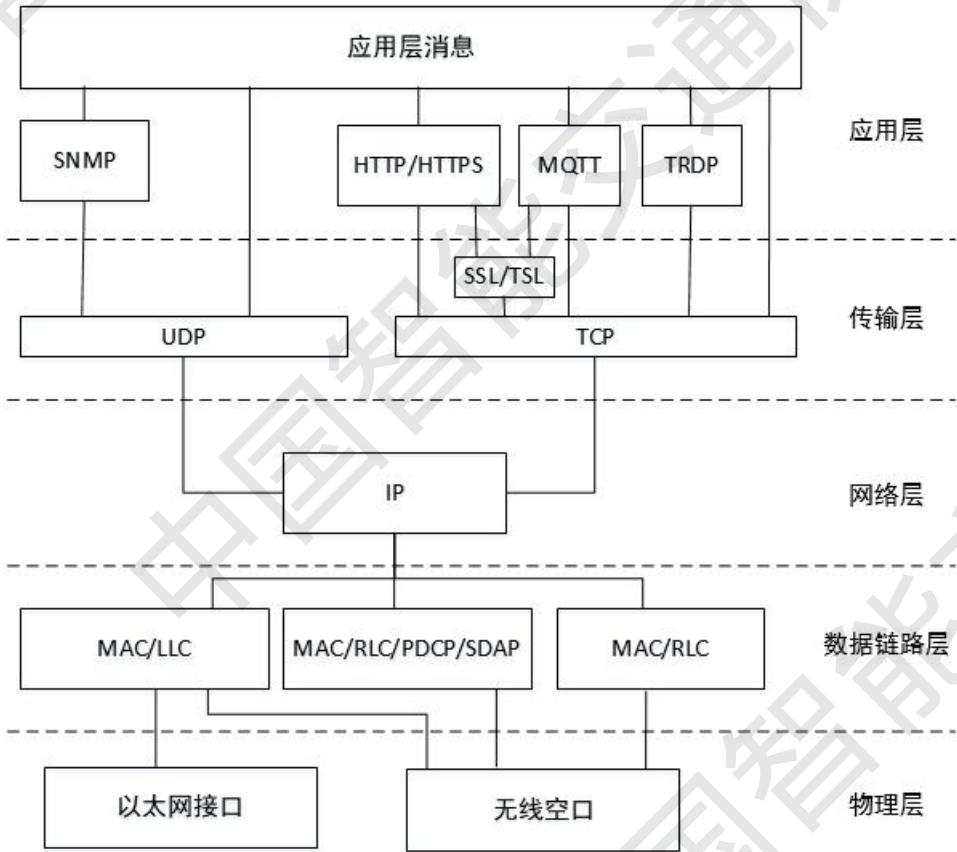


图 2 通信架构

本通信架构适用于系统中接入层和平台层间的交互通信。除应用层外，符合本标准的协议至少实现从上到下的一个相容协议栈。图2中的连线表示相连的协议间兼容关系。

图中UDP协议应按照RFC0768标准中相关要求，图中IP协议应按照RFC0791标准中相关要求，图中TCP协议应按照RFC0793标准中相关要求。图中各层之间链路关系应符合GB/T 17547—1998标准要求

4.3 执行中间件

执行中间件通过标准化接口和协议实现多源异构数据的统一接入和分发，应具备设备接入、设备管理、应用层接口、协议管理和系统管理等功能。

4.3.1 设备接入功能应具备处理设备控制指令与设备采集信息的上传下达、进行原始协议解析并数据转发、对上层应用指令进行协议转换的功能。

4.3.2 设备管理功能应具备设备信息录入、设备协议信息流转、设备访问权限管理、设备状态管理的功能。

4.3.3 应用层接口功能应具备根据设备种类，向上提供统一的标准应用程序编程 API 接口的功能。

4.3.4 协议管理功能要求执行中间件应具备抽象的设备接口，能够对各类设备协议按类别进行统一管理和自动注册的功能。

4.3.5 系统管理功能应具备系统运行、访问和使用的相关配置与管理的工作，包括授权机制、用户管理、权限管理、字典管理等功能。

5 技术要求

5.1 数据要求

5.1.1 数据格式应支持多种字符编码方式，支持结构化数据（数据帧、JSON、XML、Protobuf）和非结构化数据，兼容多种行业协议数据格式。

5.1.2 数据结构应明确规定字段名称、字段类型、字段含义等，确保数据的一致性和可读性。

5.1.3 数据传输应遵循传输协议要求，可进行数据压缩处理，应对敏感数据进行脱敏处理。

5.1.4 数据兼容应覆盖数据格式、协议及语义等方面，并满足以下要求：

- a) 支持多源异构数据接入，具备数据标准化与转换机制；
- b) 支持跨系统与跨平台的兼容交互；
- c) 支持实时数据与历史数据的兼容。

5.2 安全要求

数据交互过程中应满足数据安全、传输安全、隐私保护、身份认证与访问控制、系统防护与物理安全和应急响应与容灾的要求。

5.2.1 数据本体优先推荐采用国家密码局认定的国产密码算法（SM4）进行加密，根据需求也可以采用其它商用或自定义算法。

5.2.2 数据传输通过 TLS 协议和 SSL 协议进行加密。

5.2.3 数据不应出现涉及单位、个人隐私的信息。

5.2.4 数据交互应支持设备身份认证、多因素认证和零信任架构认证等功能。

5.2.5 系统应具备网络层防护功能，部署防火墙与 IDS/IPS，同时具备关键设备防篡改设计，保证物理设备安全。

5.2.6 系统应具备安全事件响应功能和冗余容灾设计，设备故障时能够进行紧急自治。

5.3 传输时效要求

自主式交通系统中从物理空间载运工具或交通控制设备发出数据到孪生空间应用收到数据的时间间隔不超过80毫秒。

5.4 响应反馈要求

5.4.1 自主式交通系统需具备指令执行的闭环控制功能，载运工具或交通控制设备收到上层应用控制指令并执行后，应反馈状态信息，上层应用比照控制指令前后状态数据，形成指令控制闭环。

5.4.2 自主式交通系统需具备对控制指令的协同响应功能，能够实现相关载运装备和交通控制设备的自动化协同指令生成及执行。

参 考 文 献

- [1] GB 25280—2016 道路交通信号控制机
 - [2] 美国国家智能运输系统通信协议 (NTCIP)
 - [3] 英国城市交通管理与控制 (UTMC) 通信协议
 - [4] 美国加州 AB3418 标准 Standard Communications Protocol for Traffic Signals in California
 - [5] T/ITS 0117-2022 合作式智能运输系统RSU与中心子系统间数据接口规范
 - [6] T/CCSA 455-2023 车联网平台与路侧设备 数据接口通信协议技术要求
 - [7] T/CCSA 456-2023 车路协同路侧通信设备 (RSU) 运维管理平台技术要求
 - [8] T/ITS 0117-2022 合作式智能运输系统RSU与中心子系统间数据接口
-

中国智能交通协会团体标准
《自主式交通系统数字孪生数据交互规范》
编制说明

标准编制组

2025 年 4 月

目 录

一、 工作简况	1
二、 编制原则	6
三、 标准内容的起草	6
四、 标准水平分析	12
五、 采标情况	12
六、 与我国现行法律法规和有关强制性标准的关系	13
七、 标准性质的建议	13
八、 贯彻标准的要求和建议	14

一、工作简况

1. 任务来源

随着智能交通技术的快速发展，自主式交通系统（Autonomous Transportation System, ATS）作为未来交通系统的重要组成部分，逐渐成为全球交通领域的研究热点。《“十四五”交通领域科技创新规划》中提出了“创建自主式交通系统技术体系”的要求，ATS是一种高度智能化且具备综合能力的交通运输系统，集成了交通系统发展所需的先进技术，仅需少量或无需外部干预，能通过反馈机制持续适应环境变化，依靠实时收集的交通状态信息并结合既有知识进行分析处理，从而在不同交通场景下可独立自主地制定出符合当下交通状况的最佳行动计划与响应策略，最终凭借执行单元落实相应的交通行动以完成交通任务，实现交通高效、安全、智能运行的智能交通系统。

信息物理系统（Cyber-Physical Systems, CPS）作为信息化与工业化融合的综合技术体系，驱动着物理世界与信息世界的融合发展与创新应用，为制造业高质量发展带来了全新的发展机遇。在世界主要国家纷纷发布制造业转型升级、“再工业化”战略的驱动下，发展CPS已成为支撑和引领全球制造业新一轮技术革命和产业变革的重要举措。《中国制造2025》提出，“基于信息物理系统的智能装备、智能工厂等智能制造正在引领制造方式变革”，要围绕控制系统、工业软件、工业网络、工业云服务和工业大数据平台等，加强信息物理系统的研发与应用。《国务院关于深化制造业与互联网融合发展的指导意

见》明确提出，“构建信息物理系统参考模型和综合技术标准体系，建设测试验证平台和综合验证试验床，支持开展兼容适配、互联互通和互操作测试验证。”

当前，面对信息化和工业化深度融合进程中不断涌现的新技术、新理念、新模式，迫切需要研究信息物理系统的背景起源、概念内涵、技术要素、应用场景、发展趋势，以凝聚共识、统一认识更好的服务于制造强国建设。自主式交通系统通过信息物理系统的深度融合，实现了交通系统的智能化、自动化和协同化。然而，当前国内外在自主式交通系统信息物理系统（ATS-CPS）的标准规范方面仍存在空白，缺乏统一的架构设计和技术要求，制约了该领域的进一步发展。

本标准依托国家重点研发计划《自主式交通系统数字孪生数据交互与协同响应执行技术》课题（项目编号：2023YFB4301803），项目旨在针对道路、铁路、水路及低空等多种交通系统自主运行时跨尺度映射、分等级响应和实时精准交互需求，设计自主式交通系统载运装备与孪生系统交互与响应技术框架；研究自主式交通系统载运装备物理与信息空间多源数据可信映射、数据实时稳定交互、精准响应控制技术；在云边端数字孪生系统硬件架构下，研究有限资源的多目标驱动动态调度与分配算法，形成信息交互与接口技术规范，搭建自主式交通系统数字孪生交互与协同响应执行中间件系统。

2024年，公安部道路交通安全研究中心联合清华大学、北京交通大学、武汉理工大学、北京航空航天大学、长安大学、中车长春轨道客车股份有限公司、北京世冠金洋科技发展有限公司、中车时代电动

汽车股份有限公司、国能朔黄铁路发展有限责任公司，启动了《自主式交通系统数字孪生数据交互规范》的编制工作。本次申请的标准旨在提出自主式交通系统数字孪生数据交互与协同响应技术的系统架构、通信架构及技术要求。本标准主要运用于自主式交通系统中数字孪生数据交互与协同响应技术的设计、开发、实施和维护等过程，为相关领域提供统一、规范的技术指导和操作标准，保障自主式交通系统的智能化发展和高效运行。

2. 起草单位情况

本标准由公安部道路交通安全研究中心牵头编制，联合清华大学、北京交通大学、武汉理工大学、北京航空航天大学、长安大学、中车长春轨道客车股份有限公司、北京世冠金洋科技发展有限公司、中车时代电动汽车股份有限公司、国能朔黄铁路发展有限责任公司共同参与编制工作。

公安部道路交通安全研究中心（以下简称“道研中心”）系公安部在京直属科研事业单位，2011年9月经中央编办批准成立。主要承担全国道路交通管理规划研究、交通法规标准研究、机动车辆和驾驶人安全研究、道路安全研究、宣传教育研究、数据统计及相关信息化建设工作。道研中心联合清华大学、同济大学、东南大学等研究机构建立了多个交通安全实验室，联合江苏省公安厅交通警察总队、四川省公安厅交通警察总队、湖北省公安厅交通警察总队、深圳市公安局交通警察局建立了公安交通管理执法规范化建设研究基地，与美国、欧洲、日本等10多个发达国家、地区相关机构和组织建立了良

好的交流合作关系。自成立以来，道研中心共承担了 18 项国家级项目，主持和参与了 25 项省部级科研项目、136 项中央财政资金支持项目的攻关工作，获得公安部科学技术奖一等奖 1 项、二等奖 1 项、三等奖 2 项，参与编制国家标准 4 项、主持行业标准 20 项，先后获得国家专利 20 余项，软件著作权 50 余项，出版专著 42 部，发表学术文章 400 余篇。各项专题研究成果得到公安部领导认可，并部署全国公安机关交通管理部门推广应用。

清华大学、北京交通大学、武汉理工大学、北京航空航天大学、长安大学、中车长春轨道客车股份有限公司、北京世冠金洋科技发展有限公司、中车时代电动汽车股份有限公司、国能朔黄铁路发展有限责任公司均为本领域国内技术领先、产品领先、队伍优良的科研和生产单位，拥有一流的国家和省部级科研基地，同时具有良好的软硬件条件、丰富的数据资料和前期积累，此外，在智慧交通领域也有丰富的工程实践和标准编制经验。

3. 主要起草人及其所做的工作

介绍本标准的主要起草人、工作单位及主要工作，如下表所示。

主要起草人	工作单位	主要工作
于鹏程	公安部道路交通安全研究中心	统筹协调；制定标准的总体思路 and 结构；组织召开讨论会
胡伟超	公安部道路交通安全研究中心	执行中间件内容编制
张博越	公安部道路交通安全研究中心	需求调研及需求架构设计
曲小波	清华大学	对标准进行总体设计
王亮	清华大学	术语定义部分内容编制
马小平	北京交通大学	术语定义部分内容编制

孙士杰	长安大学	系统架构进行编制
吴兵	武汉理工大学	通信架构进行编制
汪洋	武汉理工大学	通信架构进行编制
张存保	武汉理工大学	系统架构进行编制
魏邦洋	清华大学	技术要求进行编制
高博麟	清华大学	数据要求进行编制
肖业	中车时代电动汽车股份有限公司	安全要求进行编制
任毅龙	北京航空航天大学	传输时效要求进行编制
关吉瑞	中车长春轨道客车股份有限公司	响应要求进行编制
张桥	北京世冠金洋科技发展有限公司	响应要求进行编制
王建华	国能朔黄铁路发展有限责任公司	标准参考规范查询
何宇强	国能朔黄铁路发展有限责任公司	标准参考规范查询
张斌	国能朔黄铁路发展有限责任公司	标准参考规范查询

4. 主要工作过程

本标准编制过程如下：

(1) 起草阶段

2025年1月，在标准立项前，标准编制组调研、查阅相关国内外文献资料，广泛搜集自主式交通系统、信息物理系统的相关标准、理论及交通领域中的应用情况，同步调研不同交通利益相关方、交通领域对于自主式交通系统的交互需求。同时，基于国家重点研发计划《自主式交通系统数字孪生数据交互与协同响应执行技术》课题的研究进展，初步构思标准的框架结构。

2025年2月-3月，标准编制组开始进行详细的自主式交通系统数字孪生数据交互规范设计，包括基本术语定义、总体要求、技术要求等，同步起草标准的具体条款。标准编制组经过多次会议研讨，反复

斟酌修改，完成标准初稿。

2025年3月底，标准编制组提交申报中国智能交通协会团体标准。

二、编制原则

科学性：标准编制应以科学理论和技术研究为基础，充分参考国内外相关领域的最新研究成果和技术发展趋势，确保标准内容的科学性和严谨性。本标准基于信息物理系统的理论框架，结合自主式交通系统的特点，构建科学合理的交互规范，确保术语定义、总体要求和技术要求符合科学规律。

先进性：标准参考国内外先进标准，能体现自主式交通系统数字孪生交互的最新技术发展方向，具有一定的前瞻性，能够引领行业技术进步。考虑未来技术演进和应用场景扩展，确保标准的灵活性和可扩展性。

合理性：标准内容基于实际调研，符合现场对于自主式交通系统的应用需求，兼顾技术可行性和经济性，避免过度设计或脱离实际。本标准适应性强、可操作性高。

可操作性：标准便于实施和推广，标准文档结构清晰、语言简洁，避免过于复杂的技术描述，提供详细的架构帮助用户理解和应用，确保各交通运输领域以及各利益相关方能够理解和执行标准内容。

三、标准内容的起草

1. 主要技术内容的确定和依据

（1）自主式交通系统数字孪生数据交互规范核心技术调查

本标准旨在规范规定了自主式交通系统数字孪生数据交互技术的系统架构、通信架构及技术要求。通过融合自主式交通系统中数字孪生数据交互技术的设计、开发、实施和维护等过程，为相关领域提供统一、规范的技术指导和操作标准，保障自主式交通系统的智能化发展和高效运行。构建具备自主决策、动态适应与全局优化能力的交通数据交互系统标准体系。标准适用于载运装备、基础设施、管控系统的设计、测试与集成，覆盖智能驾驶、车路协同、交通流优化等应用场景。了解核心技术的适用条件与场景、运行机理、应用现状、优缺点等。

该部分调查内容主要以系统性文献分析与技术实践调研为主，梳理自主式交通数据交互系统核心技术的内在运行逻辑与外部约束条件。结合交通系统动态演化特性，分析“人—载运装备—基础设施”交互过程中的涌现行为及其交互关系。同时对比研究国内外技术标准在功能安全、信息交互、伦理规范等维度的异同，着重解析技术路线差异背后的方法论特征，形成具有前瞻性与包容性的标准架构设计思路。

（2）检索、收集、消化、吸收国内外的相关研究成果

通过系统梳理国内外关于自主式交通系统（Autonomous Transportation System, ATS）、数字孪生（Digital Twin, DT）及数据交互标准的研究成果，发现该领域已形成从基础架构设计到智能化协同应用的完整技术链。从自主式交通系统的演进与数据需求来看，自

主式交通系统依托多智能体协同、边缘计算及车路云一体化技术，实现了从单机自主决策到群体智能优化的跨越。其数据交互需求涵盖高精度环境感知（如LiDAR、摄像头多源融合）、实时动态路径规划（基于强化学习与博弈论）及分布式控制（V2X通信）⁸¹⁰。研究显示，数据交互的实时性与一致性是保障系统自主性的关键，需解决异构设备（如路侧单元、车载OBU）间的协议兼容性问题。从数字孪生技术在交通领域的标准化实践而言，数字孪生通过“物理-虚拟”双向映射构建交通系统的动态镜像，其数据交互规范聚焦于：多源数据融合：整合GIS、BIM、IoT传感器数据，通过轻量化建模与云渲染技术实现低时延同步（如美象科技的EVR孪生底座与EDT数据模块）；统一数据架构：参考国际标准如ISO/IEC 23093（数字孪生互操作性框架）及国内《数字孪生能力成熟度模型》（北航陶飞团队），提出分层数据模型（物理层、传输层、应用层）；安全与隐私保护：采用同态加密（如重庆交通大学提出的轻量级算法）确保车联网数据在传输与处理中的隐私性。国内外数据交互规范的对比与融合来看，美国NIST发布的《数字孪生互操作性白皮书》强调数据语义化描述（如OWL本体）与API标准化；欧盟“GAIA-X”项目通过数据主权框架规范跨境交通数据共享，中国交通强国试点项目（如智慧港口、全息路口）已形成基于数字线程技术的实时数据交互方案，逸迅科技等企业推出行业解决方案，覆盖铁路、公路等场景的60%市场份额

（3）研究自主式交通信息物理系统的发展趋势

研究自主式交通系统数字孪生数据交互规范的发展趋势，需聚焦

跨域数据融合与标准化体系建设，总结支撑虚实协同的关键数据要素，涵盖交通流动态仿真、基础设施全息感知、多智能体决策优化、安全可信交互协议等核心维度。当前技术趋势显示，实时孪生建模、多源异构数据智能融合、联邦学习驱动的隐私计算正推动数据交互向高精度、低时延、强协同方向演进，其中动态数据一致性保障、跨平台协议兼容性、AI驱动的自我适应交互成为突破重点。关键建设内容包括：多模态数据融合标准、自我适应交互协议、安全可信机制和智能演进框架等。

以未来5—10年技术为基准，需重点制定动态数据质量评估体系、边缘—云端协同计算规范及AI模型轻量化部署指南，破解当前数据孤岛、协议碎片化等核心瓶颈，推动自主式交通数字孪生从“局部映射”向“全域协同智能”跨越。

（4）调研自主式交通系统数字孪生数据交互的实际应用

① 水路：智能航运与无人货物运输船

在航运领域，数字孪生数据交互规范支撑了无人货物运输船的自主航行与远程管控。例如，海航科技集团基于CPS架构构建“一硬（船载感知系统）、一软（自主航行系统）、一网（异构通信网络）、一平台（工业云平台）”的标准化数据交互体系，实现船舶环境感知数据（AIS、雷达、视觉）、航行决策指令（路径规划、避碰策略）与云端运维数据的实时同步。通过数字孪生模型对船舶动力系统、载货状态进行动态仿真，结合ISO 19848标准实现船-岸数据交互时延<500ms，在上海港至宁波港的示范航线中降低燃油消耗8%，事故率

下降60%。

② 铁路：重载列车智能运维与调度

朔黄铁路应用数字孪生数据交互规范实现两万吨重载列车的全生命周期管理。通过统一数据接口整合列车PHM数据（牵引电机振动、制动缸压力）、线路拓扑信息（坡度、曲率）与实时运行状态（北斗定位、速度曲线），构建毫秒级更新的列车孪生体。基于IEEE 1474标准的数据交互协议，实现机车故障预测准确率提升至92%，并在黄大线无人驾驶试验中达成纵向冲动降低15%的突破，验证了"感知-决策-控制"数据闭环的工程可行性。

③ 航空：无人机城市物流配送

顺丰丰翼科技的无人机配送网络依托数字孪生数据规范实现空域数字化管理。系统集成飞行器状态数据（电池电量、GPS坐标）、气象信息（风速、降水）及禁飞区动态数据，通过轻量化JSON交互协议完成每30秒一次的态势同步。在深圳-东莞航线中，数字孪生平台对400余架无人机的起降、避碰、应急返航等指令进行标准化编码，使配送时效较传统陆运提升80%，2024年累计安全飞行超百万架次，形成可复用的低空物流数据交互模板。

④ 公路：智能网联汽车协同驾驶

北京亦庄车路云一体化项目采用数字孪生数据交互规范实现"上帝视角"交通管控。通过C-V2X协议标准化路侧单元（RSU）与车载OBU的数据交互，将激光雷达点云（10Hz更新）、信号灯相位（0.5s时延）及群体驾驶意图（博弈论模型输出）映射至孪生平台，支持50

辆自动驾驶汽车在复杂路口无冲突通行。参照ETSI TS 103 257标准构建的数据质量评估体系，使协同决策准确率达到99.99%，验证了多智能体系统中数据规范化的基础性作用。

从水陆空铁四类场景可见，自主式交通系统数字孪生数据交互规范已形成"采集标准化（传感器数据）-传输结构化（通信协议）-应用场景化（运维/调度）"的实施路径，其核心价值在于破解多源异构数据融合难题，为不同交通模态的数字化转型提供可互操作的基准框架。未来需重点突破跨模态数据互认（如船舶AIS与无人机UTM系统对接）、边缘计算轻量化封装等关键技术。

（5）调研结果与针对性研究相结合，确定自主式交通系统数字孪生数据交互的基本要求

结合系统性调研成果，围绕自主式交通系统数字孪生数据交互的核心功能与演化需求，明确架构设计的基础原则与关键约束。通过整合国内外技术现状与发展趋势，重点解析数据驱动的协同机制、标准化接口规范及动态适应能力在系统设计中的逻辑关联，提出涵盖数据全生命周期管理、跨域交互协议统一、功能模块解耦与集成等维度的框架要求。需聚焦主数据体系的构建，定义面向多源异构数据的分类层级、语义一致性规则及动态更新机制，确保数据模型具备可扩展性与跨平台兼容性。同时应建立基于系统韧性目标的冗余设计准则，平衡实时性与可靠性需求，并融入伦理约束与安全验证机制，形成兼顾技术先进性与实践可行性的架构设计指南。最终通过标准化建模方法与动态迭代策略的协同，支撑自主式交通系统从理论验证向规模化落

地的平稳过渡，实现全局优化与自主演进能力的持续增强。

2. 标准中英文内容的汉译英情况

本标准中标题、术语和定义的英文由标准编制组翻译。经过编制组的核对，认为汉译英内容能准确表达原条款的真实意思，翻译语句通顺，符合英文习惯。

四、标准水平分析

1. 国内标准比较

经调研分析，与本标准相关的现有国家标准主要有：GB/T 17547—1998《信息技术 开放系统互连—数据链路服务定义》和IEEE 802.2/3:1985《局域网协议标准》，本标准是信息物理系统在自主式交通系统交互领域的应用和延伸。

本文件规定了自主式交通系统数字孪生数据交互与协同响应技术的系统架构、通信架构及技术要求，适用于自主式交通系统中数字孪生数据交互与协同响应技术的设计、开发、实施和维护等过程，为相关领域提供统一、规范的技术指导和操作标准，保障自主式交通系统的智能化发展和高效运行。

2. 国际标准比较

本标准无对应的国际标准或国外先进标准。

五、采标情况

本标准未采用国际标准或国外标准。

六、与我国现行法律法规和有关强制性标准的关系

本标准无相关法律法规和强制性标准。

七、标准性质的建议

本标准聚焦于特定领域，即 ATS（自主交通系统）与 DT（数字孪生）融合的范畴，且针对城市道路、轨道交通、水路交通、低空交通等特定场景下交通系统数据交互的设计、开发、测试、部署和运营等环节。其主要技术内容涵盖自主式交通系统数字孪生数据交互与协同响应技术的系统架构、通信架构及技术要求等多个方面，旨在规范数字孪生数据交互技术的设计、开发、实施和维护等过程，为相关领域提供统一、规范的技术指导和操作标准，保障自主式交通系统的智能化发展和高效运行。

从本标准的实际情况和行业需求来看，自主式交通系统数字孪生数据交互属于新兴领域，技术复杂且发展迅猛。本标准精准定位自主式交通数据交互领域特定技术系统，在行业内展现出显著的引领性和技术先进性。在标准制定过程中，充分参考了大量国内外相关标准，严格遵循科学合理的制定程序，为标准的高质量提供了坚实保障。

鉴于上述特点与优势，建议将本标准定位为行业标准。行业标准具有更高的权威性和通用性，能够在更大范围内对行业内各方发挥全面的指导作用，进一步规范行业内的各项实践活动，有力保障行业整体的高质量发展，促使自主式交通系统信息物理系统相关技术在行业内得到更广泛、更规范的应用。

八、贯彻标准的要求和建议

《自主式交通系统数字孪生数据交互规范》适用于城市道路、轨道交通、水路交通、低空交通等场景下的交通系统，旨在为数据交互等环节提供规范指导。该标准主要围绕系统架构、通信架构及技术要求等展开，明确各部分组成、要求及关系，为构建相关系统提供技术依据，实施对象为参与上述交通系统全流程的相关单位和机构。

为确保标准有效贯彻落实，提出以下要求和建议：

标准制定方面：持续跟踪技术发展趋势和行业需求变化，定期组织专家对标准进行审查和修订。依据《标准化法》中对标准时效性的要求，及时将新的技术成果和实践经验纳入标准，确保其技术先进性和适应性。

标准宣传方面：利用多种渠道广泛宣传标准。借助智能交通行业协会组织的研讨会、论坛等活动，邀请标准制定专家进行解读，增强行业内对标准的理解和重视。依据相关政策对标准化宣传工作的鼓励，提高标准的知晓度，推动行业共同学习和应用标准。

标准实施方面：相关单位应将标准纳入内部培训体系，组织技术人员、管理人员深入学习，确保准确理解标准要求。