

ICS 03.220.01

CCS R 85

团体标准

T/CITSA 52-2025

弹性交通信息物理系统架构 城市交通

Architecture of Resilient Transportation Cyber-Physical Systems :
Urban Transportation

2025-01-16 发布

2025-02-10 实施

中国智能交通协会 发布

目 次

前言	II
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 符号和缩略语	4
5 总体架构	4
6 用户视图	5
6.1 交通用户方	5
6.2 交通提供方	6
6.3 交通关联方	6
7 功能视图	6
7.1 控制层级	6
7.2 系统层级	7
7.3 系统功能	7
8 服务视图	8
8.1 交通设施服务	8
8.2 交通平台服务	8
8.3 交通应用服务	8
9 物理视图	8
9.1 系统内部资源	8
9.2 系统外部资源	10
10 分布式云	10
10.1 交通边缘云	11
10.2 交通区域云	11
10.3 交通中心云	11
10.4 交通公有云	11

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专利的责任。

本文件由同济大学提出。

本文件由中国智能交通协会归口。

本文件起草单位：同济大学、深圳市城市交通规划设计研究中心股份有限公司、上海理工大学、上海金桥（集团）有限公司、招商局重庆交通科研设计院有限公司、上海市道路运输事业发展中心、北京航空航天大学。

本文件主要起草人：杜豫川、滕靖、赵聪、吴若乾、刘成龙、沈煜、曹静、蒋盛川、王金栋、俞山川、朱华勇、马晓磊、李金洋、丁德隆、汪晗。

弹性交通信息物理系统架构 城市交通

1 范围

本文件规定了弹性交通信息物理系统的总体架构，包括用户视图、功能视图、服务视图、物理视图和分布式云的技术要求。

本文件适用于城市交通信息物理系统设计阶段的规划与开发；适用于城市规划、城市交通管理、城市交通运输部门，以及城市交通规划设计、咨询、开发等技术单位。

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 40020-2021 信息物理系统 参考架构

GB/T 40021-2021 信息物理系统 术语

3 术语和定义

GB/T 40021-2021 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

物理实体 physical entity

客观存在的、具有某种属性可以加以区分的、能够被感知但不依赖感知而存在的事物。

[来源：GB/T 40021-2021 2.1]

3.2

系统构件 system component

系统内客观存在的、具有某种属性可以加以区分的、能够感知但不依赖感知而存在的事物，以及对其形态、功能、机理、运行状态等进行的数字化描述与建模。

[来源：GB/T 40021-2021 2.1及2.2，有修改]

3.3

交通物理空间 transportation physical space

包含交通运输全流程中用户、设备、基础设施、运行服务、交通环境等物理实体的空间。

[来源：GB/T 40021-2021 2.3，有修改]

3.4

交通信息空间 transportation cyber space

通过电磁频谱、电子系统、网络设施等实现交通系统信息创建、存储、修改、交换和利用的空间。

[来源：GB/T 40021-2021 2.4，有修改]

3.5

信息物理系统 cyber-physical systems

通过集成先进的感知、计算、通信、控制等信息技术和自动控制技术，构建的物理空间与信息空间中人、机、物、环境、信息等要素相互映射、适时交互、高效协同的系统。

[来源：GB/T 40021-2021 2.9]

3.6

交通系统弹性 resilience of transportation system

交通系统抵御、吸收、适应扰动冲击并从中快速恢复的能力。

3.7

交通信息物理系统 transportation cyber-physical systems

基于交通物理空间（3.3）与交通信息空间（3.4）深度融合而形成的系统。

3.8

弹性交通信息物理系统 resilient transportation cyber-physical systems

基于交通信息物理系统（3.7），以状态广泛感知、运行协同调控、服务快速恢复等交通系统弹性（3.6）目标为导向，实现常态扰动下可靠与稳定运行、异常冲击下鲁棒与快速恢复的系统。

3.9

感知 sensing

通过感知设备获得交通系统内物理实体（3.1）形态、状态以及交通物理空间环境等各类数据的过程。

[来源：GB/T 40021-2021 2.5，有修改]

3.10

分析 analysis

将交通系统内感知数据转化为认知信息的过程。

[来源：GB/T 40021-2021 2.6，有修改]

3.11

决策 decision

为提升交通系统弹性（3.6），根据积累的经验、分析的信息等，在一定的条件约束下、在不同的方案中做出的选择结果。

[来源：GB/T 40021-2021 2.7，有修改]

3.12

执行 execute

将交通信息空间（3.4）产生的决策转换成交通系统内物理实体（3.1）可以执行的命令并实现的过程。

[来源：GB/T 40021-2021 2.8，有修改]

3.13

系统之系统 system of systems

由多个相对独立的系统组成，通过协作和互联，共同实现更复杂的功能或目标的系统。

4 符号和缩略语

下列缩略语适用于本标准：

CPS 信息物理系统（cyber-physical systems）

RT-CPS 弹性交通信息物理系统（resilient transportation cyber-physical systems）

SoS 系统之系统（system of systems）

5 总体架构

RT-CPS总体架构应具有图1所示的基本结构，具体要求如下：

- （1）RT-CPS总体架构应由用户视图、功能视图、服务视图、物理视图和分布式云组成；
- （2）用户视图描述系统用户的组成及活动；
- （3）功能视图描述系统业务应用，应服务用户视图；
- （4）服务视图描述系统服务模式，应支撑功能视图；
- （5）物理视图描述直接实现感知、执行功能的物理资源，应与服务视图相关联；
- （6）分布式云描述跨越多个物理位置的云计算资源和服务的集成与协同工作，应支持用户视图的用户访问及使用，实现功能视图的应用并保证高可用性，对服务视图的服务模式进行动态分配与管理，处理物理视图内物理资源采集的数据。

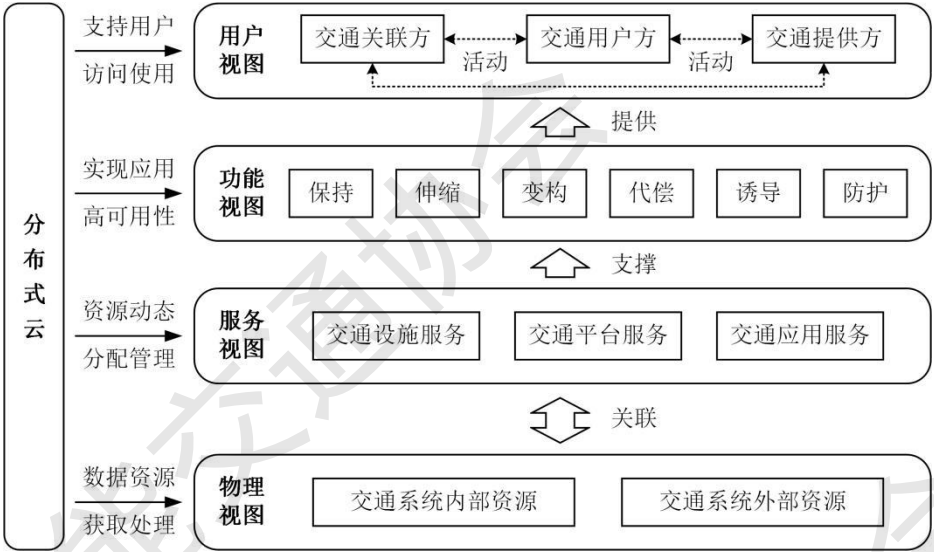


图 1 RT-CPS 总体架构

6 用户视图

RT-CPS应能满足服务对象在交通信息获取、处理和应用方面的需求，包括使用系统的终端用户、提供系统服务的供应商，以及与系统相关联的各方利益相关者。RT-CPS架构的用户视图应能描述系统用户及相关活动，应包括交通用户方、交通提供方、交通关联方三种角色，如图2所示。

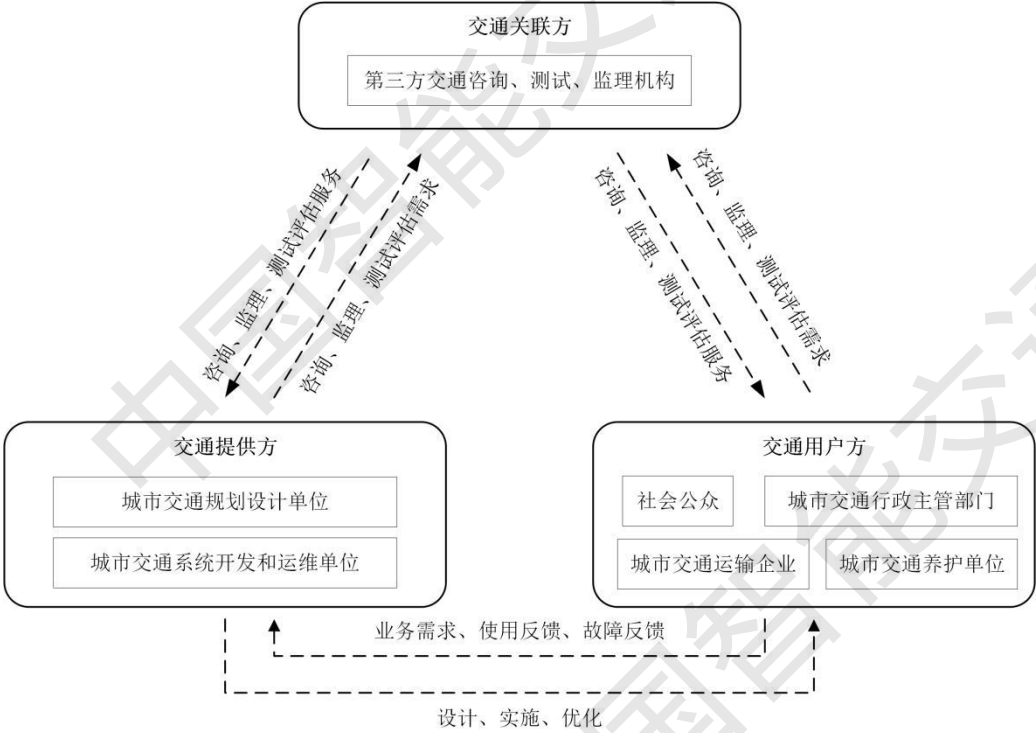


图 2 RT-CPS 架构用户视图

6.1 交通用户方

RT-CPS交通用户方应包含社会公众、城市交通行政主管部门、城市交通运输企业、城市交通养护单位等，负责提出提升城市交通系统弹性的业务需求，并进行业务决策。

RT-CPS交通用户方应向RT-CPS交通提供方提出RT-CPS业务需求和使用中、故障后的信息反馈，并应向交通关联方提出RT-CPS咨询服务和建设过程监理需求。

6.2 交通提供方

RT-CPS交通提供方应以城市交通规划设计单位、城市交通系统开发和运维单位为主体，应提供满足用户需求的RT-CPS架构设计方案、系统集成方案、运维方案，以满足RT-CPS全业务活动集成需求。

RT-CPS交通提供方根据交通用户方需求，应完成RT-CPS设计、实施和优化，并交付给交通用户方使用，同时配合交通关联方完成RT-CPS建设的监理工作。

6.3 交通关联方

RT-CPS交通关联方应以第三方交通咨询、测试、监理机构为主，负责提供咨询服务、RT-CPS功能、性能及安全等测试评估服务、RT-CPS成本及进度等监督管理服务。

RT-CPS交通关联方应为RT-CPS交通用户方和交通提供方提供咨询、监理、测试评估服务。

7 功能视图

RT-CPS架构的功能视图应能描述如图3所示的系统业务应用，应包括：

- (1) 两个系统空间：交通信息空间、交通物理空间；
- (2) 四个基本过程：感知、分析、决策、执行；
- (3) 三级控制层级：嵌入控制、集控控制、目标控制；
- (4) 三级系统层级：面向设施设备的单元级RT-CPS、面向路段或局部区域的系统级RT-CPS、面向交通系统整体的SoS级RT-CPS；
- (5) 六类系统功能：保持、伸缩、变构、代偿、诱导、防护。

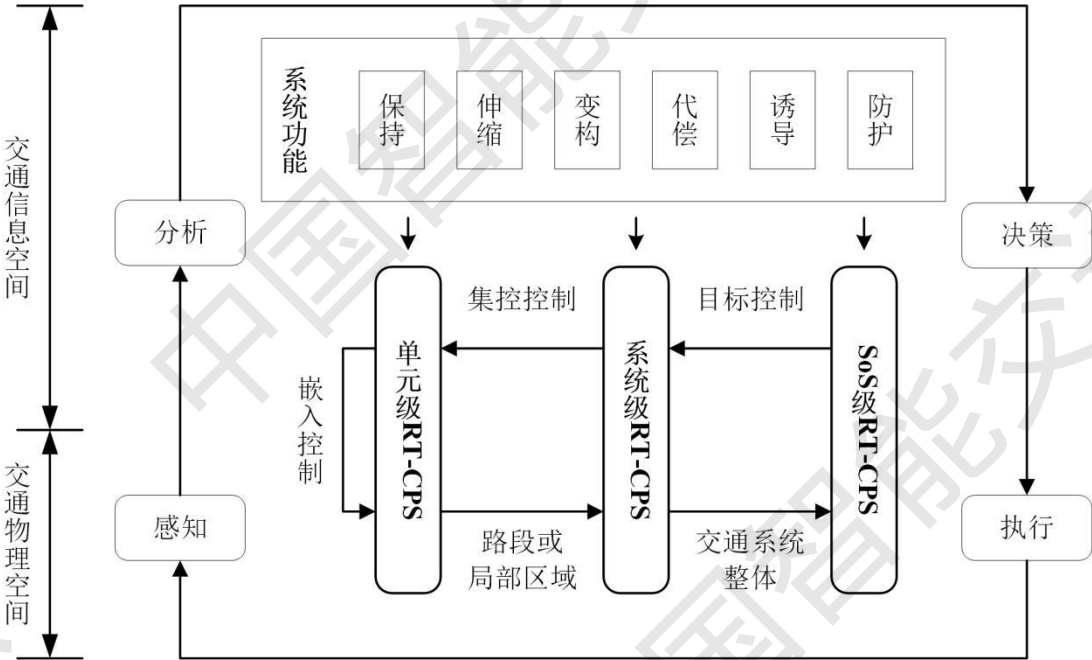


图3 RT-CPS 架构功能视图

7.1 控制层级

RT-CPS的控制层级应包括嵌入控制、集控控制、目标控制三级。

7.1.1 嵌入控制

嵌入控制应面向单元级RT-CPS，在接受集控控制的基础上，通过嵌入式软件对属于某一空间、方式和种类的单一系统构件进行局部控制。

7.1.2 集控控制

集控控制应面向路段或局部区域范围内的出行与运输效益，在接受目标控制的基础上，对局部空间内的多方式物理实体进行控制，从而在扰动冲击条件下维持局部系统的性能水平。

7.1.3 目标控制

目标控制应面向交通系统整体出行与运输效益，以全局出行与运输效益最优等为目标，对跨空间、方式、种类的物理实体进行控制，从而提升系统整体应对扰动冲击的鲁棒性和恢复力。

7.2 系统层级

RT-CPS的系统层级宜包括单元级、系统级、SoS级三级，各级RT-CPS都应能覆盖交通信息空间和交通物理空间两个系统空间，以及感知、分析、决策、执行四个基本过程。

7.2.1 单元级 RT-CPS

单元级RT-CPS是具有不可分割性的RT-CPS最小单元，应能通过感知和自动控制设备及工业软件构成“感知-分析-决策-执行”的数据闭环，面向单一物理实体的运行性能维持与提升进行嵌入控制，形成交通物理空间和交通信息空间的融合交互。

7.2.2 系统级 RT-CPS

系统级RT-CPS是一个路段或局部区域内单元级RT-CPS以及一些非RT-CPS的感知和控制设备单元通过工业网络的集成，形成具有某些功能的整体，一方面应能基于集控控制对路段或局部区域内不同方式和种类的物理实体进行协同控制，另一方面也可以接受来自SoS级RT-CPS面向交通系统整体的目标控制。

7.2.3 SoS 级 RT-CPS

SoS级RT-CPS是多个路段或局部区域的系统级RT-CPS的有机组合，基于SoS级的目标控制，应能面向交通系统整体的全局出行效益最优提供以弹性为导向的功能，并可对跨空间、方式、种类的交通物理空间实体进行调节控制，以提升系统在各类扰动冲击场景下的弹性。

7.3 系统功能

以弹性为导向的系统功能宜覆盖RT-CPS在扰动冲击场景下准备、抵御、吸收、适应并从中快速恢复的基本响应逻辑，应涉及保持、伸缩、变构、代偿、诱导、防护六类。

7.3.1 保持

“保持”功能可在保持系统构件的运行规则和服务时空范围不变的前提下，通过嵌入控制或集控控制调节系统构件的服务属性，使得单元级或系统级RT-CPS内的某些属性水平维持在一定的区间内。

7.3.2 伸缩

“伸缩”功能可在不引入新的系统构件的条件下，维持既有系统构件的运行规则，通过集控控制或目标控制在系统级或SoS级RT-CPS层面延伸或收缩系统构件服务的时空范围。

7.3.3 变构

“变构”功能可在不引入新的系统构件的条件下，通过集控控制或目标控制改变系统构件的运行规则，从而在系统级或SoS级RT-CPS层面抵御系统扰动冲击并从中恢复。

7.3.4 代偿

“代偿”功能可基于不同系统构件之间的协同，在内部构件失效或者能力欠缺时，可通过目标控制引入外部系统构件，在SoS级RT-CPS层面进行构件的替代或补充。

7.3.5 诱导

“诱导”功能从需求侧进行非强制性的调节，可应用于包括常态扰动和非常态冲击等各种情形，可基于目标控制在SoS级CPS层面配合保持、伸缩、变构、代偿四类功能组合实施。

7.3.6 防护

“防护”功能强调对侵入、攻击、破坏等扰乱RT-CPS正常运行的恶意行为的准备和预防，可通过在各级RT-CPS对跨空间、方式、种类的交通物理空间实体进行监控、调节、控制，保障系统设备及环境的物理安全、数据传输及存储的基础安全、业务流程连续合规的业务安全。

8 服务视图

RT-CPS架构的服务视图应能展示支持交通系统运营的核心服务模式，应包括交通设施服务、交通平台服务以及交通应用服务，如图4所示。这些服务可共同确保交通系统的高效、安全和弹性运营。

8.1 交通设施服务

交通设施服务应能通过虚拟化技术对交通系统的物理资源进行抽象，以供交通系统的高效运营使用。该服务应支持系统运营所需硬件资源的灵活调配与高效利用，为不同交通运营场景下的资源需求提供基础保障。

8.2 交通平台服务

交通平台服务应能提供RT-CPS业务应用的开发和部署平台，负责交通系统物理资源的调度，并通过加密、访问控制等措施确保用户数据的安全。在设备互联层面，平台服务应能通过标准通信总线提供分级交通运行管理数据库和计算平台，确保设备数据的可靠传输和互操作性；在计算模型层面，应能通过标准模型体系提供数据汇聚、数据清洗、分析等服务，支持智能化决策和优化交通系统运营。

8.3 交通应用服务

交通应用服务应能提供与RT-CPS实际运营直接相关的软件应用，支持设备控制、实时监控、数据融合等多种操作，实现对交通系统的动态管理和优化。交通应用服务的典型形式可包括移动端、电脑端、网页端等，用户可通过这些应用实时调度和监控RT-CPS系统，以确保交通系统在不同环境下的高效运行，并能够应对各种突发事件和异常情况。

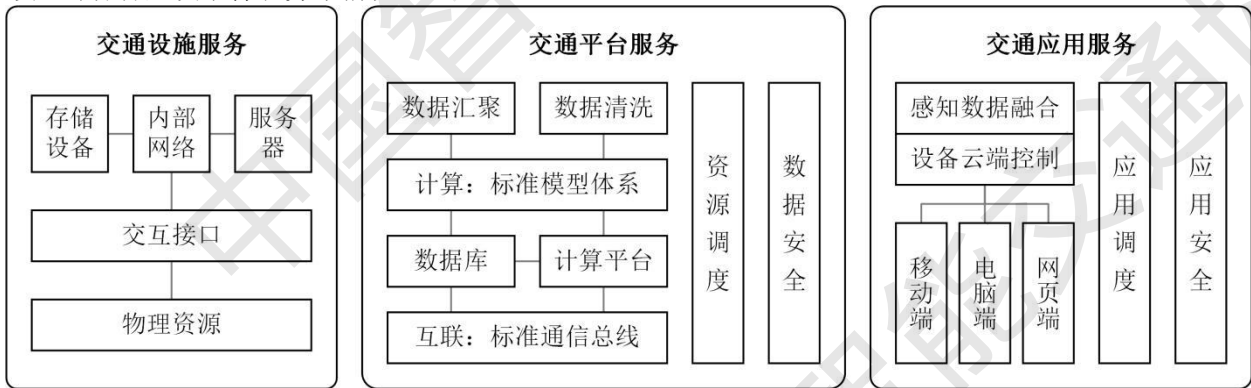


图4 RT-CPS 架构服务视图

9 物理视图

RT-CPS物理视图应描述直接实现感知、执行功能的物理资源，为分析、决策提供数据基础与计算支撑，应分为系统内部资源与系统外部资源。

9.1 系统内部资源

RT-CPS系统内部资源应包括交通移动终端、交通沿线设施、交通分布式云设施，如图5所示。

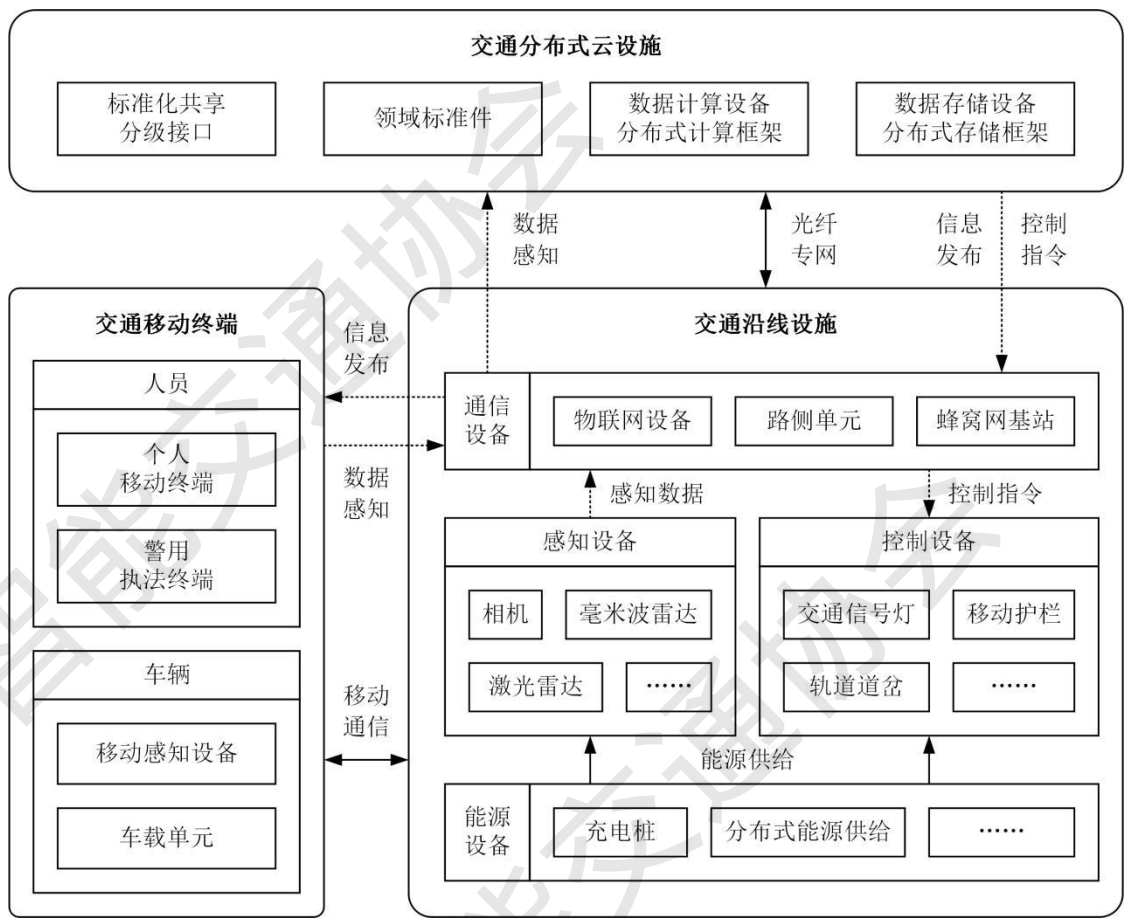


图5 RT-CPS系统内部资源

9.1.1 交通移动终端

RT-CPS交通移动终端应至少包括人员终端和车辆终端，与分布式云设施间通过沿线设施的通信设备基于C-V2X、DSRC等技术进行通信。RT-CPS移动设备宜至少具有从沿线设施接收信息发布的功能。RT-CPS移动设备采集感知数据并通过沿线设施的通信设备上传分布式云设施，实现RT-CPS部分的感知功能。

9.1.1.1 人员终端

RT-CPS人员终端应包括但不限于个人移动终端、警用执法终端。

9.1.2 交通沿线设施

RT-CPS交通沿线设施应可通过光纤专网等技术与分布式云设施进行通信，宜至少包括通信设备、感知设备、控制设备和能源设备。RT-CPS沿线设施应能采集并向分布式云设施上传感知数据，从分布式云设施获取控制指令。

9.1.2.1 通信设备

RT-CPS通信设备应能实现沿线设施与分布式云设施间、沿线设施与移动设备间的通信与移动设备与分布式云设施间的通信，可包括但不限于物联网设备、路侧通信单元和/或蜂窝网基站。

9.1.2.2 感知设备

RT-CPS感知设备应能采集感知数据，通过通信设备向分布式云设施发送感知数据，实现RT-CPS主要的感知功能，可包括但不限于激光雷达、毫米波雷达和/或相机。

9.1.2.3 控制设备

RT-CPS控制设备应能通过通信设备从分布式云设施接收控制指令，实现RT-CPS的执行功能。

9.1.2.4 能源设备

RT-CPS能源设备应能为感知设备与控制设备供给能源，可包括但不限于充电桩及分布式能源供给设备等。

9.1.3 交通分布式云设施

RT-CPS交通分布式云设施应能实现RT-CPS的分析、决策功能，宜至少包括标准化分级共享接口、领域标准件、数据计算设备、数据存储设备。

9.1.3.1 标准化共享分级接口

RT-CPS标准化共享分级接口基于领域标准件的服务能力，面向不同系统用户，应能以通用接口与标准化方式提供平台能力输出服务。

9.1.3.2 领域标准件

RT-CPS领域标准件应基于数据计算设备与数据存储设备，应能为不同时延要求的弹性系统服务提供分析与决策，支撑服务可包括但不限于超视距感知、交通疏堵诱导、驾驶行为与交通事故分析。

9.1.3.3 数据计算设备

RT-CPS数据计算设备应完成分布式云设施的数据处理任务，应能支撑领域标准件的构建，可采用计算框架包括但不限于Hadoop、HBase、Spark、Flinkt。

9.1.3.4 数据存储设备

RT-CPS数据存储设备应完成分布式云设施的数据存储任务，应能支撑领域标准件的构建，可采用存储框架包括但不限于HDFS、Swift、Ceph。

9.2 系统外部资源

RT-CPS系统外部资源应包括但不限于自然资源、消防、医疗、公安交管。

10 分布式云

RT-CPS架构的分布式云应能描述跨越多个物理位置的云计算资源和服务的集成与协同工作，应能通过网络将分布在不同地理位置的计算、存储和网络资源连接起来，可支撑用户视图、功能视图、服务视图和物理视图的各项需求。RT-CPS系统分布式云应对应7.3定义的RT-CPS系统层级，分为交通边缘云、交通区域云、交通中心云及交通公有云，如图6所示。

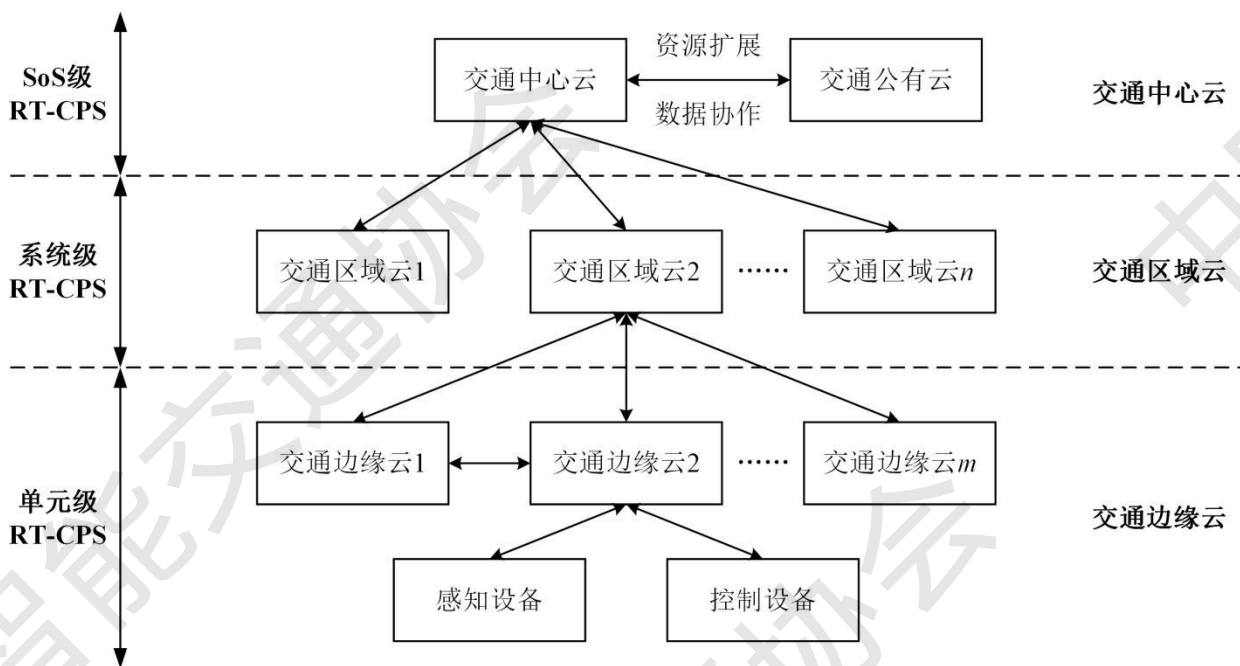


图6 RT-CPS 分布式云架构

10.1 交通边缘云

面向单元级RT-CPS的交通边缘云采集由感知设备提供的高频度、细粒度动态交通相关数据，宜面向靠近数据源的控制设备实现高可靠、低时延的协同决策和控制服务。

10.2 交通区域云

面向系统级RT-CPS的交通区域云获取来自边缘云及相关支撑系统的动态交通相关数据，应能支撑区域级的交通融合感知、数据存储、协同决策、协同控制、交通管控服务需求，宜主要面向弱实时性服务。

10.3 交通中心云

面向SoS级RT-CPS的交通中心云汇聚各区域云的交通相关数据，应能对全局数据进行汇聚、存储与管理，利用云计算和分布式架构设计实现业务数据高效交互、共性基础能力分级共享，宜面向非实时性服务。

10.4 交通公有云

面向SoS级RT-CPS的交通公有云应能通过互联网提供广泛的计算和存储资源，与交通中心云双向关联，实现资源的弹性扩展和共享。公有云可整合外部交通相关数据，支持数据的开放与协作，提升系统的整体处理能力和资源利用率，宜面向资源共享和非实时性服务。