

ICS 03.220.01

CCS R 85

# 团 体 标 准

T/CITSA XX-202X

## 弹性交通信息物理系统架构设计指南

Design guide on resilient transportation cyber-physical systems

(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 .....	11
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 符号和缩略语 .....	2
5 总体架构 .....	2
5.1 一般要求 .....	2
5.2 用户视图 .....	3
5.3 功能视图 .....	4
5.4 服务视图 .....	5
5.5 物理视图 .....	6
5.6 分布式云 .....	8
参考文献 .....	10

## 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设计指南

## 1 范围

本文件提供了弹性交通信息物理系统架构设计的指南，给出了弹性交通信息物理系统的总体架构，对总体架构中的用户视图、功能视图、服务视图、物理视图和分布式云进行了规定。其中，用户视图描述系统用户的组成及活动，功能视图描述系统业务应用，服务视图描述系统服务模式，物理视图描述系统设施设备，分布式云描述系统的云计算资源和服务。

本文件适用于规划部门对城市交通系统的规划与设计，以及技术部门对城市交通信息物理系统的开发与维护。

## 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 弹性 *transportation system resilience*

系统抵御、吸收、适应扰动冲击并从中快速恢复的能力。

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

基于信息物理系统（3.12），通过平行仿真和数字孪生等技术高度集成感知（3.8）、分析（3.9）、决策（3.10）和执行（3.11）过程，实现物理空间（3.4）与信息空间（3.5）高度融合的交通系统。

### 3.3 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（3.2），以状态广泛感知、运行协同调控、服务快速恢复等弹性（3.1）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交通系统。

### 3.4 物理空间 *physical space*

包含制造全流程中人、设备、物料、工艺过程/方法、环境等物理实体的空间。

### 3.5 信息空间 *cyber space*

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

### 3.6 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。

### 3.7 感知 *sensing*

通过感知设备获得物理实体形态、状态以及物理空间环境等各类数据的过程。

### 3.8 分析 *analysis*

将感知数据转化为认知信息的过程。

3.9

**决策 decision**

为达到某种目的,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。

3.10

**执行 execute**

将信息空间产生的决策转换成物理实体可以执行的命令并实现的过程。

3.11

**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。

3.12

**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]

## 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

### 5.1 一般要求

RT-CPS总体架构由用户视图、功能视图、服务视图、物理视图和分布式云组成,如图1所示。

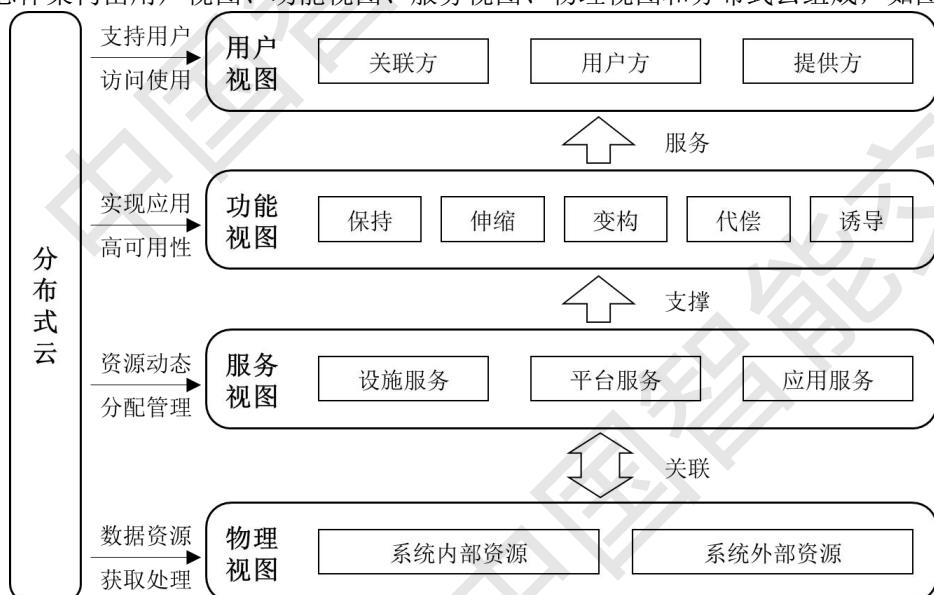


图1 RT-CPS 总体架构

5.1.1 用户视图描述系统用户的组成及活动。

5.1.2 功能视图描述的系统业务应用服务用户视图描述的系统用户组成。

5.1.3 服务视图描述的系统服务模式支撑功能视图描述的系统业务应用。

5.1.4 物理视图描述的系统设施设备与服务视图描述的系统服务模式相关联。

5.1.5 分布式云支持用户访问及使用 RT-CPS，实现 RT-CPS 应用并保证高可用性，对 RT-CPS 服务模式进行动态分配与管理，处理物理设施设备采集的数据。

## 5.2 用户视图

### 5.2.1 一般要求

RT-CPS 旨在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 架构的用户视图用以描述系统用户，包括用户方、提供方、关联方三种角色及相关活动，如图 2 所示。

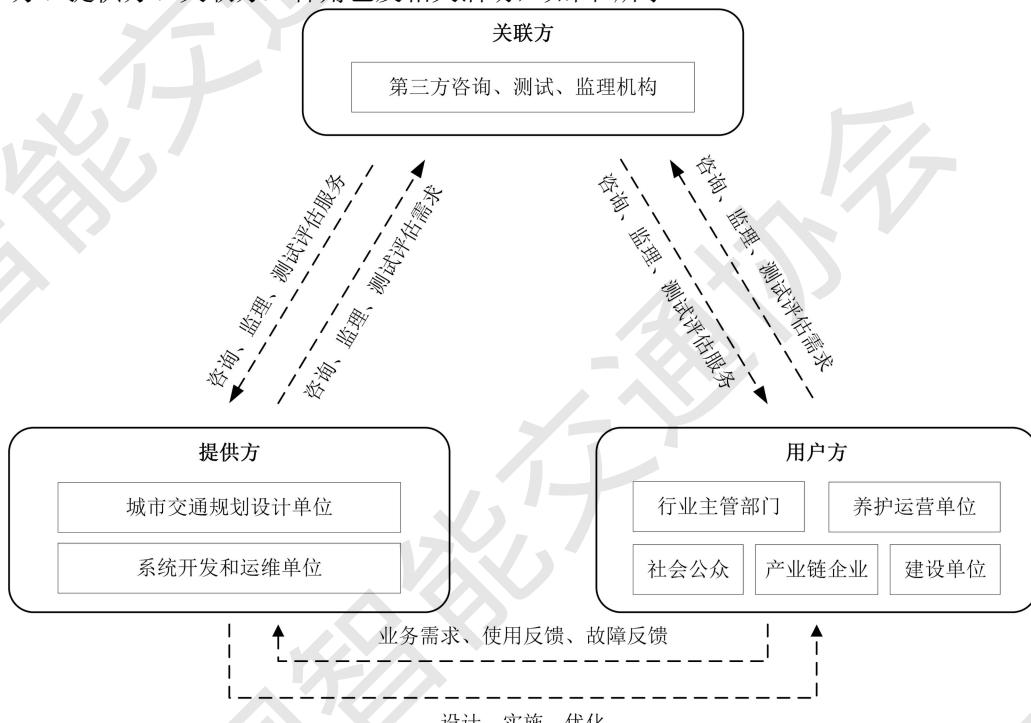


图 2 RT-CPS 架构用户视图

### 5.2.2 用户方

5.2.2.1 RT-CPS 用户方以城市交通管理部门、城市交通运输企业为主体，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。

5.2.2.2 RT-CPS 用户方向 RT-CPS 提供方提出 RT-CPS 业务需求和使用中、故障后的信息反馈，并向关联方提出 RT-CPS 咨询服务和建设过程监理需求。

### 5.2.3 提供方

5.2.3.1 RT-CPS 提供方以城市交通规划设计单位、系统开发和运维单位为主体，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。

5.2.3.2 RT-CPS 提供方根据用户方需求，完成 RT-CPS 设计、实施和优化，并交付给用户方使用，同时配合关联方完成 RT-CPS 建设的监理工作。

### 5.2.4 关联方

5.2.4.1 RT-CPS 关联方以第三方咨询、测试、监理机构为主，负责提供咨询服务、RT-CPS 功能及性能等测试评估服务、RT-CPS 成本及进度等监督管理服务。

5.2.4.2 RT-CPS 关联方为 RT-CPS 用户方和提供方提供咨询、监理、测试评估服务。

### 5.3 功能视图

#### 5.3.1 基本定义

5.3.1.1 单元级信息物理系统 (unit level cyber-physical systems) 指为实现感知、分析、决策和执行的闭环、具备不可分割性的信息物理系统最小单元，简写为单元级 RT-CPS。

5.3.1.2 系统级信息物理系统 (system level cyber-physical systems) 指多个单元级信息物理系统通过网络等实现集成、交互和协作的系统，简写为系统级 RT-CPS。

5.3.1.3 系统之系统级信息物理系统 (system of system level cyber-physical systems) 指多个系统级信息物理系统通过云平台等实现协同、优化的系统，简写为 SoS 级 RT-CPS。

#### 5.3.2 一般要求

RT-CPS架构的功能视图描述系统业务应用，如图3所示，包括：

- (1) 五类系统功能：保持、伸缩、变构、代偿、诱导；
- (2) 三级控制层级：目标控制、集控控制、嵌入控制；
- (3) 三级系统层级：面向设施设备的单元级RT-CPS、面向路段层面的系统级RT-CPS面向路网层面的SoS级RT-CPS。

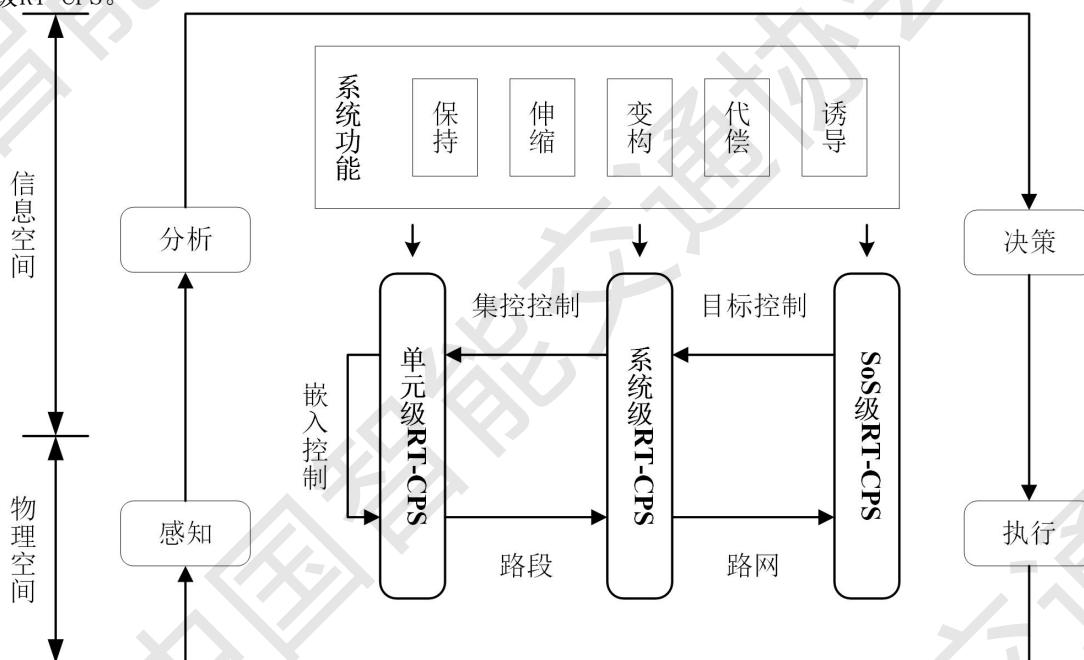


图3 RT-CPS 架构功能视图

#### 5.3.3 系统功能

##### 5.3.3.1 一般要求

以弹性为导向的系统功能宜覆盖RT-CPS在扰动冲击场景下抵御、吸收、适应并从中快速恢复的基本响应逻辑，涉及保持、伸缩、变构、代偿、诱导五类。

##### 5.3.3.2 保持

“保持”功能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，通过调节系统构件的服务属性使得系统内的某些属性水平维持在一定的区间内。

##### 5.3.3.3 伸缩

“伸缩”功能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，延伸或收缩系统构件服务的时空范围。

##### 5.3.3.4 变构

“变构”功能在不引入新的系统构件的条件下，通过改变系统构件的运行规则，从而抵御系统的扰动冲击并从中恢复。

#### 5.3.3.5 代偿

“代偿”功能关注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，引入外部系统构件进行替代或者补充。

#### 5.3.3.6 诱导

“诱导”功能从需求侧进行非强制性的调节，可以应用于包括常态扰动和非常态冲击等各种情形，通常是配合保持、伸缩、变构、代偿四类功能组合实施。

### 5.3.4 控制层级

#### 5.3.4.1 一般要求

RT-CPS的控制层级宜包括嵌入控制、集控控制、目标控制三级。

#### 5.3.4.2 嵌入控制

嵌入控制面向单元级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。

#### 5.3.4.3 集控控制

集控控制面向路段范围内的出行效益，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。

#### 5.3.4.4 目标控制

目标控制面向路网范围内的出行效益，以全局出行效益最优为目标，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。

### 5.3.5 系统层级

#### 5.3.5.1 一般要求

RT-CPS的系统层级宜包括单元级、系统级、SoS级三级。

#### 5.3.5.2 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，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，形成物理空间和信息空间的融合交互。

#### 5.3.5.3 系统级 RT-CPS

系统级RT-CPS是一个路段范围内单元级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，一方面基于集控控制对路段范围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面向路网范围的目标控制。

#### 5.3.5.4 SoS 级 RT-CPS

SoS级RT-CPS是多个路段的系统级RT-CPS的有机组合，基于SoS级的目标控制，面向路网范围的全局出行效益最优提供保持、伸缩、变构、代偿、诱导五类功能，对跨空间、方式、种类的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。

### 5.4 服务视图

#### 5.4.1 一般要求

RT-CPS架构的服务视图描述系统服务模式,如图4所示,包括设施服务、平台服务以及应用服务三种服务模式。

#### 5.4.2 设施服务

设施服务通过虚拟化技术分离用户需要的RT-CPS物理资源,包括存储设备、内部网络、服务器、感知设备等。

#### 5.4.3 平台服务

平台服务向用户交付RT-CPS业务应用开发与部署平台,完成RT-CPS物理资源的调度,保障用户平台数据的安全:在设备互联层面,通过标准通信总线提供分级交通运行管理数据库、计算平台;在计算模型层面,通过标准模型体系提供数据汇聚、数据清洗等服务。

#### 5.4.4 应用服务

应用服务向用户交付RT-CPS应用软件,完成RT-CPS业务应用的调度,保障用户应用数据的安全,实现感知数据融合以及设备云端控制,应用类型包括:APP应用、PC端应用、小程序等。

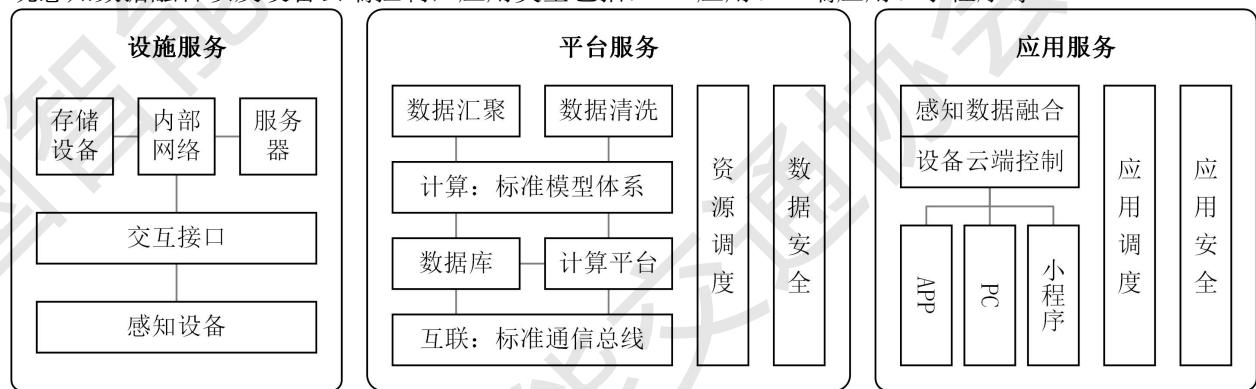


图4 RT-CPS 架构服务视图

### 5.5 物理视图

#### 5.5.1 一般要求

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

#### 5.5.2 系统内部资源

##### 5.5.2.1 一般要求

RT-CPS系统内部资源包括移动设备、沿线设施、分布式云设施,如图5所示。



### 5.5.2.3.3 感知设备

RT-CPS感知设备采集感知数据,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,包括但不限于激光雷达、毫米波雷达或/和相机。

### 5.5.2.3.4 控制设备

RT-CPS控制设备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。

### 5.5.2.3.5 能源设备

RT-CPS能源设备为感知设备与控制设备供给能源,可提供环境照明,包括但不限于充电桩、分布式能源供给设备、智能化照明设备。

## 5.5.2.4 分布式云设施

### 5.5.2.4.1 一般要求

RT-CPS分布式云设施实现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。

### 5.5.2.4.2 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,以通用接口与标准化方式提供平台能力输出服务。

### 5.5.2.4.3 领域标准件

RT-CPS领域标准件基于数据计算设备与数据存储设备,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。

### 5.5.2.4.4 数据计算设备

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

### 5.5.2.4.5 数据存储设备

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

## 5.5.3 系统外部资源

RT-CPS系统外部资源包括但不限于自然资源、消防、医疗、公安交管。

## 5.6 分布式云

### 5.6.1 一般要求

RT-CPS架构的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,它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,提供高效、可靠和灵活的计算支持。分布式云通过支持用户访问和使用,确保应用的高可用性,实现资源的动态分配和管理,以及数据资源的获取和处理,来协同并支撑用户视图、功能视图、服务视图和物理视图的各项需求。RT-CPS系统分布式云对应5.2.3定义的RT-CPS系统层级,分为边缘云、区域云以及中心云三个层级,如图6所示。

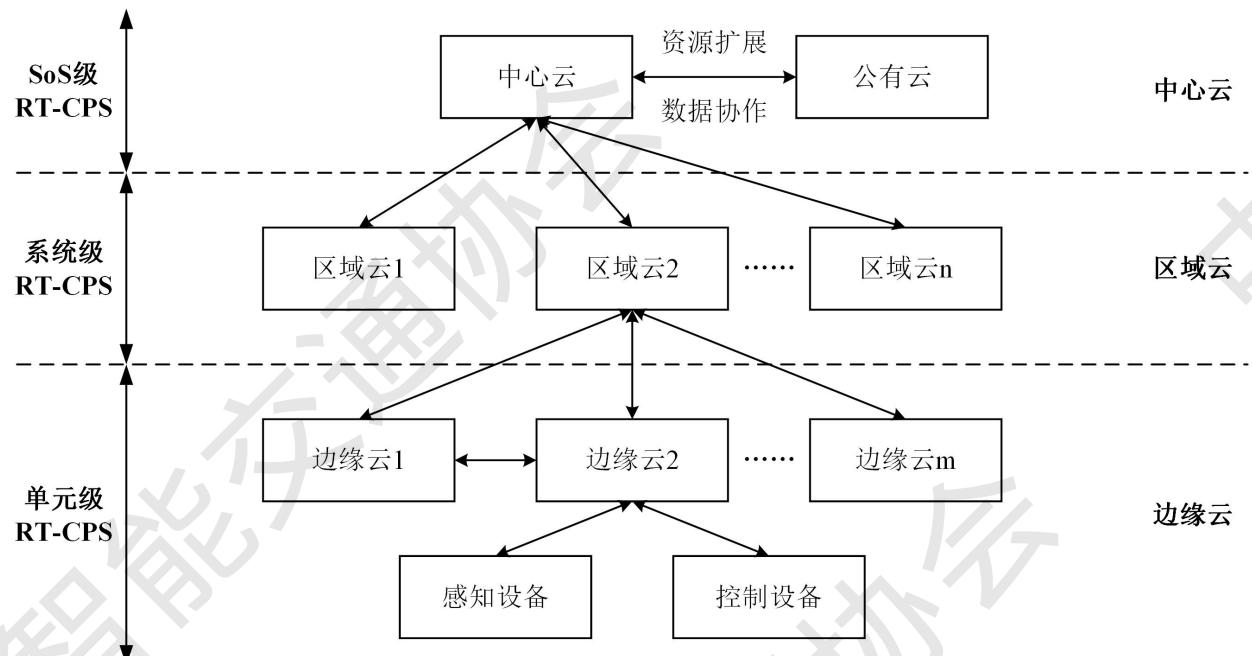


图 6 RT-CPS 分布式云架构

### 5.6.2 边缘云

面向单元级RT-CPS的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，面向控制设备实现高可靠、低时延的协同决策和控制服务。

### 5.6.3 区域云

面向系统级RT-CPS的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，支撑区域级的交通融合感知、协同决策、协同控制、交通管控服务需求，主要面向弱实时性服务。

### 5.6.4 中心云

面向SoS级RT-CPS的中心云汇聚各区域云的交通相关数据，对数据进行汇聚、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，主要面向非实时性服务。

### 5.6.5 公有云

面向SoS级RT-CPS的公有云通过互联网提供广泛的计算和存储资源，与中心云双向关联，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，主要面向资源共享和非实时性服务。

## 参 考 文 献

- [1] 中国信息物理系统发展论坛. 信息物理系统建设指南 (2020) [R]. 北京: 中国电子技术标准化研究院, 2020.
- [2] 中国信息物理系统发展论坛. 信息物理系统白皮书[R]. 北京: 中国电子技术标准化研究院, 2017.
- [3] DEKA L, CHOWDHURY M. Transportation Cyber-Physical Systems[M]. Elsevier, 2018.
- [4] ZHOU Y, LI Z, MENG Y, et al. Analyzing spatio-temporal impacts of extreme rainfall events on metro ridership characteristics[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2021, 577: 126053.
- [5] TANG J, XU L, LUO C, et al. Multi-disruption resilience assessment of rail transit systems with optimized commuter flows[J]. Reliability Engineering & System Safety, 2021, 214: 107715.
- [6] MUDIGONDA S, OZBAY K, BARTIN B. Evaluating the resilience and recovery of public transit system using big data: Case study from New Jersey[J]. Journal of Transportation Safety & Security, 2019, 11(5): 491-519.
- [7] JIN J G, TANG L C, SUN L, et al. Enhancing metro network resilience via localized integration with bus services[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2014, 63: 17-30.
- [8] LU Q C. Modeling network resilience of rail transit under operational incidents[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2018, 117: 227-237.
- [9] NOGAL M, HONFI D. Assessment of road traffic resilience assuming stochastic user behaviour[J]. Reliability Engineering & System Safety, 2019, 185: 72-83.
- [10] ZHOU Y, WANG J, YANG H. Resilience of Transportation Systems: Concepts and Comprehensive Review[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2019, 20(12): 4262-4276.
- [11] DU Y, WANG H, GAO Q, et al. Resilience concepts in integrated urban transport: a comprehensive review on multi-mode framework[J]. Smart and Resilient Transportation, 2022, 4(2): 105-133.

中国智能交通协会团体标准  
《弹性交通信息物理系统架构设计指南》  
编制说明

标准编制组

2024 年 7 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、主要试验验证结果及分析 .....	9
五、标准水平分析 .....	9
六、采标情况 .....	10
七、与我国现行法律法规和有关强制性标准的关系 .....	10
八、标准性质的建议 .....	11
九、贯彻标准的要求和建议 .....	11

## 一、工作简况

### 1. 任务来源

《交通强国建设纲要》在“建设现代化高质量综合立体交通网络”方面，提出“实现立体互联，增强系统弹性”的建设要求。《国家综合立体交通网规划纲要》在谈及本世纪中叶建成“现代化、高质量”的国家综合立体交通网时明确提出“提升交通网络系统韧性和安全性”。此外，美国交通部在《气候行动计划》中将“在项目规划和建设过程中提升弹性”列为优先事项之一，欧盟在《欧洲地平线计划（2021-2024）》和《可持续和智能出行战略》中强调要增强交通运输行业的弹性，日本将交通和物流的韧性列为《国土强韧化基本计划》的重点领域。可见，为推动建设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城市交通系统，提升交通弹性已成为国内外政策规划的共识。

尽管国家政策对增强交通系统弹性给予了重视，但是伴随着第四次工业革命的整体发展，未来的交通系统将会由物理系统转变为物理-信息系统，从而具有传感-控制的反馈体系。目前还缺少统一的标准指南着眼于未来城市交通系统的发展趋势来指导先进的通信、计算、控制技术高效地落实到交通系统的规划设计领域，这也是本标准指南致力于填补的空白。

弹性交通信息物理系统（resilient transportation cyber-physical system，RT-CPS）是一个从弹性视角建构交通系统的新思路、新概

念，是以先进的通信-计算-控制技术为支撑，基于物理空间设施设备与信息空间分析决策的深度融合与“状态感知-实时分析-科学决策-精准执行”闭环反馈，通过物理层面的互联互通、逻辑层面的耦合关联、组织层面的协同配合，实现状态实时感知、服务可靠冗余、运行自动恢复等弹性目标的新型交通系统。RT-CPS的体系架构有助于在规划阶段将弹性的目标融入系统设计，更好地贯彻和发挥系统在应对扰动冲击场景时的“抵御”和“恢复”效用，并更好地支撑智慧、互联、韧性、安全的城市交通系统规划设计与更新再造。

本标准依托国家重点研发计划“综合交通运输与智能交通”重点专项的“弹性交通系统建模评估理论方法研究”基础研究类项目（项目编号：2021YFB1600100）。该项目旨在面向我国大城市交通系统出行需求强度大、扰动冲击频度高、风险因素类型多等特征，以提升常态扰动下交通系统运行鲁棒可靠、异常冲击下交通系统运行快速恢复为目标，基于信息物理系统框架，发展能力可伸缩、网络可重构的弹性交通系统建模与评估理论，为新一代交通基础设施规划设计、运行管理、更新再造提供可靠理论基础。本次申请的指南基于该项目的课题一，重在提出弹性交通信息物理系统基本术语、基础架构。该项目其他课题涉及弹性交通系统多态演化机理、弹性交通系统性能提升策略、弹性交通信息物理系统性能验证等。本指南将是弹性交通信息物理系统全链研发的前提。

## 2. 主要起草单位情况

本标准的主要起草单位是同济大学，负责标准文档起草及相关文

件的编制等。在综合交通领域，同济大学拥有国家道路交通安全管理工程技术研究中心、道路与交通工程教育部重点实验室等国家/省部级科研平台10余个，承担完成国家“863”计划“大城市客运交通应急指挥决策支持技术”、国家重点研发计划“道路交通安全主动防控技术及系统集成”等国家/省部级相关项目60余项，发表相关SCI论文500余篇，授权国内发明专利100余项、PCT国际专利20余项，获国家科技进步一等奖1项，国家科技进步二等奖4项，国家技术发明二等奖1项，省部级及行业奖百余项，已形成体系化研究成果及丰富实践经验，为本标准的科学制定提供了经验参考和技术支撑。

深圳市城市交通规划设计研究中心股份有限公司参与了本标准的起草，负责标准中重要技术点的研究和建议，并参与标准内容的讨论。深圳市城市交通规划设计研究中心股份有限公司作为城市交通领域首个国家高新技术企业和广东省新型研发机构，拥有众多科研创新平台，具备行业领先的科研技术实力。目前拥有国家综合交通大数据应用技术工程实验室深圳中心、交通运输部行业研发中心、广东省交通信息工程技术研究中心、深圳市交通信息与交通工程重点实验室等科研平台。科研成果获华夏建设科学技术一等奖、广东省科技进步一等奖等各类科技奖项数十项。技术成果面向应用，仅交通大数据领域，承担了深圳市几乎所有的交通大数据平台建设，并推广应用至全国超过50个城市。各项市场业务范围已覆盖全国200余座城市，为本标准的制定提供了成果应用转换的经验参考支撑。

### 3. 主要起草人及其所做的工作

本标准的主要起草人、工作单位及其所做工作如下表所示：

起草人	工作单位	主要工作
杜豫川	同济大学	<ul style="list-style-type: none"><li>• 制定标准的框架和结构</li><li>• 组织召开专家讨论会或工作组会议</li></ul>
滕靖	同济大学	<ul style="list-style-type: none"><li>• 收集、整理和分析相关的技术资料和数据</li><li>• 起草标准的具体内容和条款</li></ul>
赵聪	同济大学	<ul style="list-style-type: none"><li>• 起草标准的具体内容和条款</li></ul>
吴若乾	深圳市城市交通规划设计研究中心股份有限公司	<ul style="list-style-type: none"><li>• 参与标准草案的审查、评审和修改</li></ul>
刘成龙	同济大学	<ul style="list-style-type: none"><li>• 起草标准的具体内容和条款</li></ul>
沈煜	同济大学	<ul style="list-style-type: none"><li>• 起草标准的具体内容和条款</li></ul>
曹静	同济大学	<ul style="list-style-type: none"><li>• 起草标准的具体内容和条款</li><li>• 组织召开专家讨论会或工作组会议</li></ul>
蒋盛川	上海理工大学	<ul style="list-style-type: none"><li>• 起草标准的具体内容和条款</li></ul>
王金栋	上海金桥（集团）有限公司	<ul style="list-style-type: none"><li>• 参与标准草案的审查、评审和修改</li></ul>
俞山川	招商局重庆交通科研设计院有限公司	<ul style="list-style-type: none"><li>• 起草标准的具体内容和条款</li><li>• 参与标准草案的审查、评审和修改</li></ul>

朱华勇	上海市道路运输事业发展中心	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 参与标准草案的审查、评审和修改</li> </ul>
马晓磊	北京航空航天大学	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 起草标准的具体内容和条款</li> </ul>
李金洋	同济大学	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 起草标准的具体内容和条款</li> </ul>
丁德隆	同济大学	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 起草标准的具体内容和条款</li> </ul>
汪晗	同济大学	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 起草标准的具体内容和条款</li> </ul>

#### 4. 主要工作过程

本标准编制过程如下：

##### （1）前期准备阶段

在标准立项前，标准编制组查阅、研读相关国内外文献，广泛搜集信息物理系统的相关理论及其在交通领域中的应用情况。同时，基于国家重点研发计划“弹性交通系统建模评估理论方法研究”的研究进展，初步构思标准的框架结构，着手起草标准的具体条款，并面向深圳市城市交通规划设计研究中心股份有限公司等各方面征求意见和建议。

##### （2）起草阶段

2023年3月，标准编制组提交申报中国智能交通协会团体标准。

2023年4月，中国智能交通协会返回立项评审意见反馈，标准编制组对收到的反馈意见进行汇总处理分析，在充分吸纳合理意见的基础上，对标准内容进行了修改完善。2023年5月，标准编制组提交标准草案的修改稿；2023年6月，标准提案通过可行性和必要性审查，正式立

项并启动团体标准研制工作。

2023年底至2024年初，标准编制组先后通过线上会议、电话、微信等多种形式征集行业专家相关意见和建议，并于2024年4月在反馈意见的基础上修改完善，形成标准征求意见稿。

## 二、编制原则

本标准在编制过程中，遵循了以下基本原则：

- (1) 标准需要具有行业特点，相关技术指标要集计参照采用国家标准和行业标准；
- (2) 标准能够为系统的设计、开发、改进指出明确的方向；
- (3) 标准需要具有科学性、先进性和可操作性；
- (4) 标准需要结合实际情况和行业特点；
- (5) 标准需要与既有的标准法规协调一致；
- (6) 标准旨在促进行业健康发展与技术进步。

## 三、标准内容的起草

### 1. 主要技术内容的确定和依据

#### (1) 信息物理系统（cyber-physical systems, CPS）架构

当前，各国家和组织对CPS参考体系结构的研究还处在探索阶段，典型的CPS架构设计包含如下四类。其一，美国国家标准技术研究院（National Institute of Standards and Technology, NIST）最早提出了CPS的功能架构，主要包括信息物理域和互联域：前者包括物理世界

中的物理实体，后者的主要功能是收集转换数据并进行分析处理。其二，德国萨尔大学从智能工厂的实时性、安全性和可靠性等要求出发，充分考虑原有信息化的基础，认为CPS在整个智能工厂技术体系中是制造执行系统（manufacturing execution system，MES）的支撑，主要在MES和现场实时智能设备之间提供桥梁，以达到MES对物理设备的控制，而物理设备的信息通过CPS也能更好的反馈到MES。其三，美国辛辛那提大学给出一个在工业4.0环境下的CPS技术体系架构，包括了五个层次的构建模式：连接层、转换层、网络层、认知层和配置执行层：连接层主要进行高效和可靠的采集数据；转换层主要进行信息内知识的挖掘；网络层主要是网络化的内容管理；认知层主要进行信息识别和决策；配置层主要进行命令的传达和执行。其四，中国电子技术标准化研究院联合制造业相关企业研究形成了《信息物理系统建设指南（2020）》，给出了CPS建设的通用功能架构，其由业务域、融合域、支撑域和安全域构成，业务域是CPS建设的出发点，融合域是解决物理空间和信息空间交互的核心，支撑域提供技术方案，安全域为建设CPS的保障。

## （2）智能交通系统（intelligent transportation systems，ITS）架构

ITS架构已成为指导交通系统信息化发展的基础性技术文件，我国早在2003年就编制了ITS体系框架。弹性交通系统架构在ITS架构的基础上，强化弹性服务需求并融入CPS功能。ITS的体系架构主要采用面向过程的结构化设计方法，集中考虑系统所需维护的信息，以信

息处理过程为中心进行功能组合，使用数据流图、数据流描述表、系统结构图、框架流描述表、实体关系图等对体系架构加以描述。例如，美国的“协同智能交通架构参考”（ARC-IT）、欧盟的“欧洲ITS架构体系”（FRAME）以及我国的ITS体系架构都包含企业/用户、逻辑/功能、物理等若干层视图，并定义了构成每一层视图的要素，以及层内与层间要素的关联关系。部分学者面向其他运输方式或应用场景所建立的交通系统体系架构与上述智能交通体系架构类似，其核心都包括逻辑架构和物理架构。其中，美国的ARC-IT进一步定义了“服务包”（service packages）用以描述系统架构所需要完成的服务，在每一个服务包内都会说明完成该项服务所需的各层视图的相关部分，是理解ARC-IT最直接和关键的途径。

### （3）交通信息物理系统（transportation cyber-physical systems, T-CPS）

T-CPS是融合平行交通仿真和交通系统数字孪生的升级，其中，平行交通仿真已经应用于2021年上海市花博会的出口ETC车道管理中，而基于数字孪生的城市交通应用场景主要包括：城市路网运行状况实时分析、数字化交通规划与量化评估、城市重点目标车辆检测管理等。T-CPS主要是运用基于计算、通信、控制技术集成，将实际交通物理系统中的人-车-路交通信息基元与交通物理元素融为一体，将实时的交通信息精准地传递到交通信息系统中，通过信息系统和物理系统之间的相互作用与反馈，在对交通物理现象与状态准确认知的基础上，实现交通系统的信息沟通、系统协调和优化决策控制。面对不

同的交通设计、管理和控制问题，可以将T-CPS分为道路基础设施T-CPS、车路协同T-CPS、交通控制T-CPS等。

## 2. 标准的主要内容

本标准明确了弹性交通信息物理系统的系统架构，由用户视图、功能视图和物理视图组成：用户视图包含用户方、提供方、关联方三种角色，功能视图涉及系统服务、控制层级、系统层次结构三个概念，物理视图包含沿线设施、移动设备和分布式云设施三类设施设备及相关通信。其中，系统服务界定了交通系统应对扰动冲击时的基本响应逻辑，包含保持、伸缩、变构、代偿、诱导五类；控制层级和系统层次分别面向路网、路段、构件三个层次，定义目标、集控、嵌入三级控制以及系统之系统级、系统级、单元级三级架构。在此基础上，定义了弹性交通信息物理系统的总体架构，包括物理资源、操作系统、业务应用、系统用户以及分布式云。其中，分布式云包括边缘云、区域云和中心云三个层级。

## 四、主要试验验证结果及分析

本标准为参考架构类基础标准，不涉及试验或验证。相关参与单位均为相关领域代表性的高校、研究机构及用户，通过线上线下相结合的方式，先后对标准内容进行了多次讨论，并基于讨论成果不断完善标准，确保标准内容切实满足行业的实际需要，同时也促进各相关方对标准内容的理解，有效推动标准的实施。

## 五、标准水平分析

## 1. 国内标准比较

本标准与现行推荐性国家标准GB/T 40020-2021《信息物理系统参考架构》和GB/T 40021-2021《信息物理系统 术语》相关，本标准是信息物理系统在弹性交通系统领域的应用和延伸，即本标准是对前两项标准的继承。

GB/T 40020-2021《信息物理系统 参考架构》规定了信息物理系统的参考架构，确定了信息物理系统的共同关注点、用户视图和功能视图；适用于制造业开展信息物理系统的设计开发、测试验证和实施应用。本标准则明确了弹性交通信息物理系统的系统架构，适用于城市交通范围的弹性交通信息物理系统的规划、设计、开发。

GB/T 40021-2021《信息物理系统 术语》界定了信息物理系统中共性的、基础性的术语和定义，适用于制造业领域信息物理系统的概念理解和信息交流。本标准则继承了该标准中大量的术语和定义，并将其应用延伸至交通领域。

## 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。

## 六、采标情况

本标准未采用国际标准或国外标准。

## 七、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。

## 八、标准性质的建议

根据《标准化法》和本标准的制定目的、适用范围以及主要技术内容，建议将本标准定位为行业标准，理由如下：

- (1) 本标准具有行业导向性：本标准能够直接面向弹性交通信息物理系统领域，准确反映该行业的技术要求和发展趋势。
- (2) 本标准具有专业性和权威性：本标准由行业内的专业人士和权威机构共同制定，具有一定的专业性和权威性，能够为行业内各方提供可靠的技术指导和参考。
- (3) 本标准能够推动行业发展：本标准有助于在规划阶段将弹性目标融入系统设计，更好地贯彻和发挥系统在应对扰动冲击场景时的“抵御”和“恢复”功用，并更好地支撑智慧、互联、韧性、安全的城市交通系统规划设计与更新再造。

基于以上特点和优势，建议将本标准定位为行业标准，以确保其对行业内各方的指导作用、规范作用和保障作用。

## 九、贯彻标准的要求和建议

建议由智能交通相关行业标准化管理机构组织贯彻本标准的相关活动，利用各种活动（如工作组活动、行业协会的管理和活动、专家培训、标准化技术刊物、网上信息等）尽可能向智能交通行业相关单位和机构宣传贯彻该标准。