

团 体 标 准

T/ITS 0277-2024

城市弹性交通 信息物理系统仿真平台 总体框架

Urban resilient transportation cyber-physical systems simulation platform
General framework

2024-12-26 发布

2025-01-01 实施

中国智能交通产业联盟

目 次

前 言	II
引 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义、缩略语	1
4 仿真平台总体功能框架	2
5 交通数据层要求	3
6 仿真建模层要求	4
7 仿真控制层要求	7
8 仿真结果评估层要求	10
9 接口层要求	10
10 安全性要求	10

中国智能交通产业联盟

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。

本文件由中国智能交通产业联盟（C-ITS）提出并归口。

本文件起草单位：长安大学、同济大学、北京航空航天大学、东南大学、西南交通大学、上海市城市建设设计研究总院（集团）有限公司、霏图卫软件科技上海有限公司。

本文件主要起草人员：安毅生、杜豫川、慕晨、刘树美、王建、陈希、张绍阳、肖京晶、马晓磊、郑芳芳、曹静、李颖、李婷、吴若乾、陈茹梦、张欣、谭二龙、鲍震天。

中国智能交通产业联盟

引 言

本文件以服务城市弹性交通信息物理系统仿真平台建设为目标,梳理现有和潜在的弹性交通业务应用,提出城市弹性交通信息物理系统仿真平台总体框架,细化平台基础功能要求,规范平台安全性要求,形成城市弹性交通信息物理系统仿真平台设计标准化的总体技术要求,进而指导仿真平台建设,推动弹性交通仿真信息系统与真实交通物理系统的同步闭环演化,为城市交通系统提供可伸缩、可重构、可恢复的弹性化管理、运营和服务。

中国智能交通产业联盟

城市弹性交通 信息物理系统仿真平台 总体框架

1 范围

本文件规定了城市弹性交通信息物理系统仿真平台（以下简称“平台”）的总体功能架构设计、分层基础功能要求、安全要求等内容。

本文件适用于指导城市弹性交通信息物理系统仿真平台的设计、研发与部署。

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 37092—2018	信息安全技术	密码模块安全要求
GB/T 22239—2019	信息安全技术	网络安全等级保护基本要求
GB/T 35273—2020	信息安全技术	个人信息安全规范
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
GB/T 41798—2022	智能网联汽车	自动驾驶功能场地试验方法及要求

3 术语和定义、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

弹性 resilience

在交通系统中，弹性是指系统抵御、吸收、适应扰动冲击并从中快速恢复的能力。

3.1.2

构件 components

在弹性交通系统中，构件由具有感知、传输、控制或决策能力的物理部分与软件部分组成，可分为物理构件和软件构件两种。

物理构件指的是包括车辆、道路或轨道设施、车站设施以及交通控制中心在内的各类物理基础设施；软件构件是指那些不具备实体形态，但仍然具有一定的属性和功能的构件，如运输调度软件、运行计划编制软件、信息发布软件以及信号控制软件等。

[来源: GB/T 40020-2021, 7.3, 有修改]

3.1.3

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]

3.1.4

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

基于弹性交通物理系统与信息系统，以状态广泛感知、运行协同调控、服务快速恢复等弹性目标为导向，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。弹性交通信息物理系统由弹性交通信息子系统与弹性交通物理子系统组成。

3.1.5

仿真实验场景 simulation experiments scenario

交通仿真实验过程中所处的地理环境、道路、交通状态及车辆状态和时间等要素的交通运行情景集合。

[来源: GB/T 41798-2022, 3.6, 有修改]

3.2 缩略语

下列缩略语使用于本文件：

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）

4 仿真平台总体功能框架

4.1 一般要求

4.1.1 本标准所定义的RT-CPS平台总体功能架构应按交通数据层、仿真建模层、仿真控制层、仿真结果评估层以及接口层进行分层。

4.1.2 RT-CPS仿真平台应具备可重组、可优化、可评估的性能。

4.1.3 平台的应用服务应支持对数据、建模、控制、评估和外接进行统一部署。对于已有业务系统，应支持业务服务的升级迭代。

4.2 功能框架

如图1所示为RT-CPS平台功能框架。

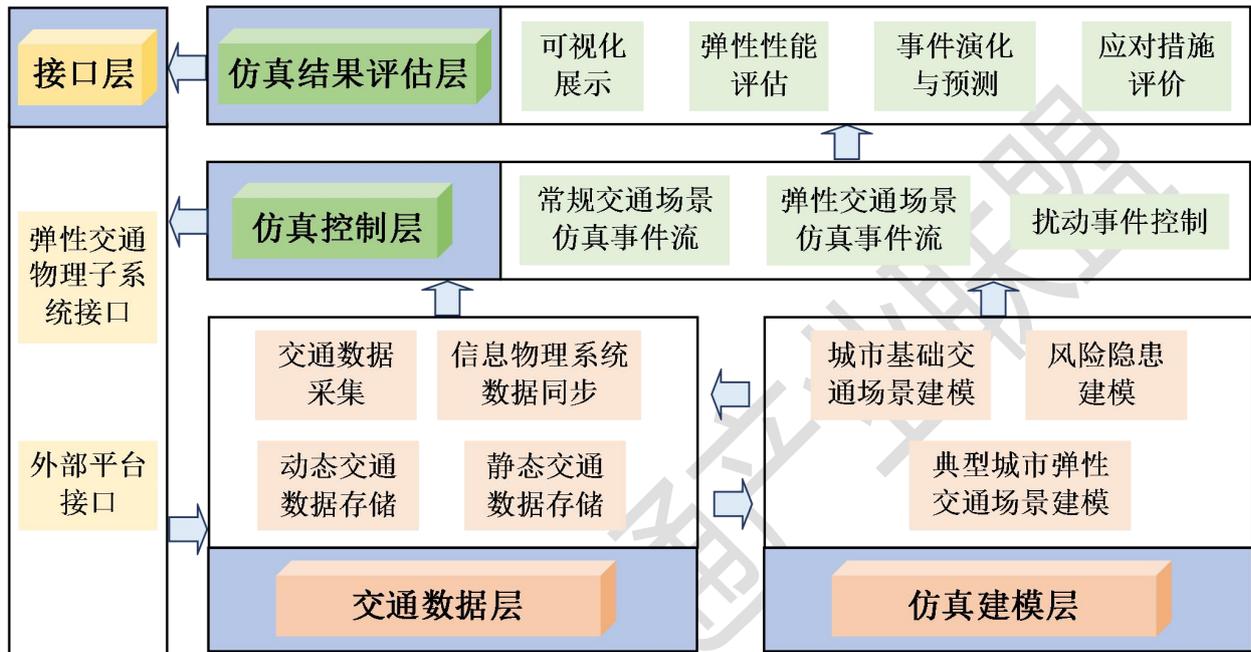


图 1 城市弹性交通信息物理系统仿真平台功能框架

4.3 基本功能要求

RT-CPS 平台应具备的基本功能要求如下：

- 交通数据层具备交通数据采集、静态交通数据存储、动态交通数据存储以及 CPS 数据同步功能；
- 仿真建模层具备城市基础交通场景建模、典型城市弹性交通场景建模和风险隐患建模功能；
- 仿真控制层具备常规交通场景仿真事件流、弹性交通场景仿真事件流以及扰动事件控制功能；
- 仿真结果评估层具备可视化展示、弹性性能评估、事件演化与预测以及应对措施评价功能；
- 接口层具备外部平台接入和弹性交通物理子系统接入功能。

5 交通数据层要求

5.1 交通数据采集

RT-CPS 仿真平台交通数据采集应满足如下要求：

- 支持实时、非实时、全量、增量等多种数据采集方式；

- b) 对数据采集情况进行实时监控、数据质量评价和预警；
- c) 具备网络中断、服务中断等异常情况的应对机制；
- d) 支持套接字、消息队列、文本传输协议、超文本传输协议、数据库对接等接入方式。

5.2 静态交通数据存储

RT-CPS 仿真平台静态交通数据存储应满足如下要求：

- a) 支持单独存储各类静态交通数据，包括但不限于城市基础设施数据、规划数据、地图与地理信息数据、交通规章与限制数据以及公共交通设施与服务数据；
- b) 支持静态数据的修改、更新以及恢复功能。

5.3 动态交通数据存储

RT-CPS仿真平台动态交通数据存储满足如下要求：

- a) 应支持单独存储各类动态交通数据，包括但不限于交通流量数据、用户出行需求数据、道路运行状态数据、公共交通运行数据、车辆轨迹数据。宜包括气象状态数据与事件检测数据；
- b) 应支持对动态业务数据的修改、更新以及恢复功能。

5.4 信息物理系统数据同步

RT-CPS 仿真平台数据同步满足如下要求：

- a) 应保证弹性交通信息子系统与物理子系统的网络时钟同步；
- b) 应支持互联网网络地址协议；
- c) 物理模块发生增、删、重置操作时，与信息子系统进行初始化同步，宜采用全量同步策略；
- d) 物理子系统向信息子系统进行实时同步对齐时，宜采用增量同步策略；
- e) 增量同步过程应支持通过表级校验、字段级校验来验证数据一致性。

6 仿真建模层要求

6.1 城市基础交通场景建模

RT-CPS 仿真平台城市基础交通建模满足如下要求：

- a) 应支持对城市基础设施构件进行建模，包括但不限于道路设施、交叉口设施、公共交通设施、停车设施、桥梁与隧道、交通控制与监测设施；
- b) 应支持对城市基础交通模型的修正与更新；
- c) 宜支持外部仿真平台基础交通模型的接入。

6.2 典型城市弹性交通场景建模

RT-CPS仿真平台应支持对典型弹性交通场景进行分类并建模，并对交通场景进行实时分类。弹性交通场景宜由风险致因、交通方式、场景位置、风险结果四个维度定义，即一类应用场景宜被描述为“某类交通方式在某处由某种风险致因导致了某种风险结果”。典型仿真应用场景如表1所示。

表1 RT-CPS典型应用场景

场景编号	风险致因	交通方式	场景位置	风险结果
1	大型活动	道路交通	快速路	拥堵
2	大型活动	道路交通	地面道路	拥堵
3	大型活动	道路交通	地面道路	中断
4	大型活动	地面公交	地面道路	拥堵
5	大型活动	地面公交	地面道路	中断
6	大型活动	地面公交	枢纽车站	拥挤
7	大型活动	地面公交	地面道路	延误
8	大型活动	地面公交	载运工具	拥挤
9	大型活动	轨道交通	枢纽车站	拥挤
10	大型活动	轨道交通	轨道交通线路	延误
11	大型活动	轨道交通	载运工具	拥挤
12	大型活动	慢行交通	地面道路	拥堵
13	社会安全事件	道路交通	快速路	拥堵
14	社会安全事件	道路交通	快速路	中断
15	社会安全事件	道路交通	地面道路	拥堵
16	社会安全事件	道路交通	地面道路	中断
17	社会安全事件	地面公交	地面道路	拥堵
18	社会安全事件	地面公交	地面道路	中断
19	社会安全事件	地面公交	枢纽车站	拥挤
20	社会安全事件	地面公交	地面道路	延误
21	社会安全事件	地面公交	载运工具	拥挤
22	社会安全事件	轨道交通	轨道交通线路	中断
23	社会安全事件	轨道交通	枢纽车站	拥挤
24	社会安全事件	轨道交通	轨道交通线路	延误
25	社会安全事件	轨道交通	载运工具	拥挤
26	社会安全事件	慢行交通	地面道路	拥堵
27	社会安全事件	慢行交通	地面道路	中断
28	自然灾害	道路交通	快速路	拥堵
29	自然灾害	道路交通	快速路	中断
30	自然灾害	道路交通	地面道路	拥堵
31	自然灾害	道路交通	地面道路	中断
32	自然灾害	地面公交	地面道路	拥堵
33	自然灾害	地面公交	地面道路	中断
34	自然灾害	地面公交	枢纽车站	拥挤
35	自然灾害	地面公交	地面道路	延误
36	自然灾害	地面公交	载运工具	拥挤

表1 (续)

37	自然灾害	轨道交通	轨道交通线路	中断
38	自然灾害	轨道交通	枢纽车站	拥挤
39	自然灾害	轨道交通	轨道交通线路	延误
40	自然灾害	轨道交通	载运工具	拥挤
41	自然灾害	慢行交通	地面道路	拥堵
42	自然灾害	慢行交通	地面道路	中断
43	事故灾难	道路交通	快速路	拥堵
44	事故灾难	道路交通	快速路	中断
45	事故灾难	道路交通	地面道路	拥堵
46	事故灾难	道路交通	地面道路	中断
47	事故灾难	地面公交	地面道路	拥堵
48	事故灾难	地面公交	地面道路	中断
49	事故灾难	地面公交	枢纽车站	拥挤
50	事故灾难	地面公交	地面道路	延误
51	事故灾难	地面公交	载运工具	拥挤
52	事故灾难	轨道交通	轨道交通线路	中断
53	事故灾难	轨道交通	枢纽车站	拥挤
54	事故灾难	轨道交通	轨道交通线路	延误
55	事故灾难	轨道交通	载运工具	拥挤
56	事故灾难	慢行交通	地面道路	拥堵
57	事故灾难	慢行交通	地面道路	中断
58	交通设施设备故障	道路交通	快速路	拥堵
59	交通设施设备故障	道路交通	快速路	中断
60	交通设施设备故障	道路交通	地面道路	拥堵
61	交通设施设备故障	道路交通	地面道路	中断
62	交通设施设备故障	地面公交	地面道路	拥堵
63	交通设施设备故障	地面公交	地面道路	中断
64	交通设施设备故障	地面公交	枢纽车站	拥挤
65	交通设施设备故障	地面公交	地面道路	延误
66	交通设施设备故障	地面公交	载运工具	拥挤
67	交通设施设备故障	轨道交通	轨道交通线路	中断
68	交通设施设备故障	轨道交通	枢纽车站	拥挤
69	交通设施设备故障	轨道交通	轨道交通线路	延误
70	交通设施设备故障	轨道交通	载运工具	拥挤
71	交通设施设备故障	慢行交通	地面道路	拥堵
72	交通设施设备故障	慢行交通	地面道路	中断

6.3 风险隐患建模

RT-CPS 仿真平台应支持对表 2 中所示的五类交通风险致因进行建模。

表 2 弹性交通场景中的五类风险致因及其含义

序号	风险致因类别	风险致因	含义
1	不可预测的 突发公共事件	事故灾难	主要包括城市中相关企业的各类安全事故，交通运输事故，公共设施和设备事故等。
2		社会安全事件	主要包括无致因规律的公共安全事件、社会治安事件、重大设施故障等。
3	突发公共事件 /一般事件	自然灾害	主要包括影响程度较大的洪水、地震、台风、泥石流等气象地质灾害；以及影响程度较小的恶劣天气等。
4	可预测或有致因规律 的一般事件	大型活动	参与人数多，对城市正常交通形成严重影响，需要制定详细交通组织管理方案的有计划活动。
5		交通设施设备故障	主要包括有致因规律的载运工具故障、基础设施故障等。

7 仿真控制层要求

7.1 常规交通场景仿真事件流

RT-CPS仿真平台应支持对常规交通场景下的仿真事件流进行建模，即日常活动中交通基础设施和路网、交通节点、公共交通、交通气象、路面状况、以及日常活动的态势还原和推演。可通过外接基础交通仿真模型实现。

7.2 弹性交通场景仿真事件流

RT-CPS仿真平台应支持对风险所引发的结果数据流进行仿真模拟，包括对拥堵、中断、延误和拥挤条件下交通态势的还原和推演。表3所示为各类风险结果的具体表现形式。

表 3 弹性交通场景中四类风险结果的表现形式

序号	风险结果	表现形式
1	拥堵	交通工具运行缓慢或停滞，交通设施通行能力接近饱和的交通现象。
2	中断	交通网络连通性被破坏，载运工具在某一节点或路段/区间无法通行。
3	延误	公共交通载运工具运行过程偏离（滞后）计划时刻表。
4	拥挤	交通设施和载运工具承载乘客的容积接近饱和的交通现象。

7.3 扰动事件控制

RT-CPS仿真平台应支持对各类扰动事件进行仿真干预和控制。用于控制的弹性服务和应对措施分别如表4和5所示。

表 4 用于扰动事件控制的弹性服务

序号	弹性服务	描述
1	保持	应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。
2	伸缩	应在不引入新构件的前提下，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。
3	变构	应在不引入新构件的前提下，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。
4	代偿	应关注于描述不同系统构件之间的协同，即当内部构件失效或者能力欠缺的时候，引入外部系统构件进行替代或者补充。
5	诱导	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、代偿四类服务组合实施。
6	防护	强调对侵入、攻击、破坏等扰乱系统正常运行的恶意行为的准备和预防，可通过对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。

表5 用于扰动事件控制的应对措施

序号	应对措施名称	弹性服务	应对措施-弹性服务说明
1	交通限行	保持	在保持道路交通系统拓扑结构不变的前提下，通过调节道路的允许通过车辆的属性使得目标道路流量维持在一定的区间内，保持服务水平。
2	匝道（信号）控制调整	变构	在快速路系统内不引入新构件的前提下，通过对快速路与地面道路连接关系的调整改变道路的运行规则，或是通过对快速路与地面道路连通流量进行调整，以维持快速路系统保持一定的服务水平。
3	地面道路限速调整	变构	在保持道路交通系统拓扑结构不变的前提下，通过调节道路的限速属性使得区域路网通行能力维持一定区间内。
4	道路车道方向调整	变构	通过对道路路段内车道方向（例如潮汐车道）进行调整使得道路上、下行两个方向的通行能力与需求匹配；或是调整交叉口进口车道的通行方向使得交叉口各方向之间通行能力与需求匹配。道路交通系统其他属性保持不变。
5	交叉口信号配时调整	保持	在保持道路交通系统拓扑结构不变的前提下，通过调节相交道路车道之间连通时间，使得交叉口各方向之间通行能力与需求匹配。
6	地面道路出入口控制	保持	地面道路出入口指地面道路与市政道路的接驳出入口。在保持道路交通系统拓扑结构不变的前提下，通过调节地面道路出入口单位时间通过流量属性，或是调节地面道路出入口的转向要求，从而稳定相连接道路/路网服务水平。
7	小汽车路径引导	诱导	管理控制中心根据交通系统内的运行状态、驾驶员的查询需求，通过可变信息板、出行应用程序等方式发布出行信息，引导驾驶员规避拥堵路段或维持/恢复路网整体服务性能。
8	公交车速控制与驻站时间调整	保持	在保持公交系统构件关联关系不变的前提下，通过调节公交车辆的速度与驻站时间属性使得公交在沿途控制站的到站时间准时。

表5（续）

9	临时公交线路延伸、缩线	伸缩	在公交系统内不引入新构件的前提下，维持既有公交线路的运行规则，单调延伸或是收缩公交线路服务的时空范围。例如：其他公交线路能力不足，本线延伸，帮助承担客流；或是本线路部分路段通行受阻，需要缩短通行范围。
10	临时公交线路路径改变	变构	在公交系统内不引入新的构件的前提下，通过对公交线路走向的调整改变公交线路的运行规则，以规避通行条件不良的路段，维持公交线路主要站点可达和基本周转条件。
11	临时调增发车间隔	保持	在保持公交或轨道交通线路走向和经停站点不变的前提下，通过调节公交车辆或轨道交通列车行车间隔、首末班车时间以及特殊类型班次（例如区间车、大站车）的发车时间属性使得公交或轨道交通的服务水平适应需求的变化。
12	公交停靠站点变更	变构	在公交系统内不引入新的构件的前提下，因局部站点不能提供服务，通过对公交经停站点的调整改变公交线路的运行规则，以维持或恢复系统的服务水平。
13	临时开行公交大站/区间车	伸缩	在公交系统内不引入新的构件的前提下，为服务线路部分站间超常态客流增加，开行大站车或区间车以提升部分站间运力。
14	乘客路径引导	诱导	管理控制中心根据交通系统内的运行状态、乘客的查询需求，通过电子站牌、固定端出行服务系统、手机出行应用程序等方式发布出行信息，引导乘客的公共交通出行决策或步枢纽内的步行路径选择，从而降低乘客出行成本或维持、恢复运输系统服务水平。
15	列车运行速度控制与停站时间调整	保持	在保持轨道交通系统构件关联关系不变的前提下，通过调节轨道交通列车的速度与停站时间属性使得轨道交通车厢客流拥挤水平维持在一定的区间内，或配合车站控制滞站人群维持在安全容量内，或维持运行秩序稳定。
16	公交对地铁车站的桥接	代偿	当既有开行方案下的轨道交通服务失效时，引入新的公交服务进行能力的补充。降低地铁乘客因运营影响造成的出行延误，以恢复系统整体能力。
17	轨道交通加开/替开	代偿	当既有开行方案下的轨道交通服务失效时，引入新的班次进行能力的补充，使轨道交通的供需均衡水平维持在一定的区间内。
18	轨道交通跳停	变构	在轨道交通系统内不引入新的构件的前提下，通过对轨道交通列车经停站点的调整改变轨道交通列车的运行规则，降低对换乘站的客流输送，使换乘站的容量水平维持在一定的区间内。
19	轨道交通交路调整	变构	在轨道交通系统内不引入新的构件的前提下，通过对轨道交通线路经停站点的调整改变轨道交通线路的运行规则。1.在局部线路能力供给不足的场景中，对局部运能进行补充，维持系统服务水平；2.在轨道交通服务部分区间中断的场景下，利用剩余站点能力维持系统运行。
20	轨道交通车站限流	保持	在保持车站周边交通系统拓扑结构不变的前提下，通过调节车站入口流速，控制车站进站人数，以给线路后续车站提供有效运能。
21	轨道交通车站流线调整	变构	在车站内不引入新的构件的前提下，为配合线路交路的临时调整或规避站内拥挤和风险点的形成，通过对车站内乘客走行路线——车站内不同起讫点之间的关系调整改变车站的运行规则，维持站内秩序或者设施服务水平。
22	公共自行车调度	保持	在保持慢行交通系统构件关联关系不变的前提下，通过调节公共自行车在不同空间的分布，维持不同区域慢行交通的供需均衡水平。
23	枢纽运输协同调度	保持	在保持枢纽衔接交通方式不变的前提下，通过调节各方式的供给能力，使各换乘关系间的供需水平维持在合理范围内，枢纽内人群数量处于安全容量之下。

8 仿真结果评估层要求

8.1 可视化展示

RT-CPS仿真平台应具备以下可视化展示功能：

- a) 实时显示交通网络状态，包括车辆流量和拥堵情况；
- b) 展示当前弹性交通仿真实验场景类型、是否处于扰动状态以及扰动干预措施。

8.2 弹性性能评估

RT-CPS仿真平台应支持以下弹性性能评估功能：

- a) 支持针对不同的弹性交通应用、仿真实验场景和风险仿真实验场景计算交通系统网络拓扑评价、交通基础类评价、交通网络弹性等弹性评价指标；
- b) 根据优化控制措施，计算优化前后交通系统弹性评价指标；

8.3 事件演化与预测

RT-CPS仿真平台信息系统模块通过与物理系统模块实时交互，应支持对扰动事件的演化态势进行预测，应给出事件演化过程中所需的控制措施。

8.4 应对措施评价

RT-CPS仿真平台应具备以下应对措施评价功能：

- a) 平台提供应用服务时，动态跟踪、辨识路网日常事件的演化态势和影响，评估处置效果并生成分析报告；
- b) 平台对扰动事件进行应对后，持续追踪受影响车辆的运行状态，并对应用措施进行分析评价，进而对措施进行动态迭代优化。

9 接口层要求

9.1 弹性交通物理子系统接口

弹性交通信息系统与物理系统应有专属的数据交互接口，保证高效率、高优先级、无差错的交通数据传输。宜支持快响应、高容错。

9.2 外部平台接口

RT-CPS仿真平台应提供通用的外部平台接口，应包括部署发布类、持续迭代类、中间件接入类以及监控管理类接口，保证外部平台的可用性与通用性。

10 安全性要求

10.1 漏洞与风险管理

RT-CPS仿真平台应采取必要的崔氏识别安全漏洞和隐患，对发现的安全漏洞和隐患及时进行修补或评估可能得影响后进行修补。应符合GB/T 22239—2019中的第二级安全要求。

10.2 接入实体管理

RT-CPS仿真平台应支持对接入实体的实时监控与管理，确保其无恶意、无外界攻击。此外，平台通用安全应符合GB/T 22239—2019中的第二级安全要求。

10.3 数据安全和隐私

RT-CPS仿真平台具备以下数据安全与隐私保护功能：

- a) 平台应采用加密技术和数据完整性机制保证数据的安全性，包括但不限于收集、存储、使用、加工、传输、提供、公开等环节；
 - b) 平台重要数据宜采用密码模块保证安全性，宜符合 GB/T 37092—2018 中 5.3 安全等级的第二级要求；
 - c) 平台的个人信息安全应符合 GB/T 35273—2020 中的第三级安全要求。
-

T/ITS 0277-2024

中国智能交通产业联盟

中国智能交通产业联盟

标准

城市弹性交通 信息物理系统仿真平台 总体框架

T/ITS 0277-2024

北京市海淀区西土城路 8 号 (100088)

中国智能交通产业联盟印刷

网址: <http://www.c-its.org.cn>

2025 年 1 月第一版 2025 年 1 月第一次印刷