

团 体 标 准

T/ITS 0277-XXXX

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

(征求意见稿)

本稿完成日期：2024 年 08 月 25 日

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

20**-**-**发布

20**-**-**实施

中国智能交通产业联盟

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 仿真平台总体功能架构	3
5 交通数据层要求	4
6 仿真建模层要求	5
7 仿真控制层要求	6
8 仿真结果评估层要求	8
9 接口层要求	9
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

本文件旨在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

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

本文件规定了弹性交通信息物理系统仿真平台（以下简称“平台”）的总体架构设计、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 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 37092—2018	信息安全技术	密码模块安全要求
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 resilient

物理学上，弹性是指物体在外力作用下发生形变，当外力撤消后能恢复原来大小和形状的性质。

3.1.2

弹性系统 resilient systems

在本文件中，弹性系统是指规模可伸缩、网络可重构、风险可识别、隐患可自修复的应用系统。

3.1.3

构件 components

在弹性交通系统中，构件是指具有感知、传输、控制或决策能力的物理设施或软件系统。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；软件构建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。

3.1.4

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]

3.1.5

信息虚体 cyber object

对物理实体的形态、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, 2.2]

3.1.6

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]

3.1.7

弹性交通物理系统 resilient transportation physical systems

城市交通中包含车辆、道路、桥梁、隧道、交通信号灯等实体物理设施的交通子系统，且实体规模与数据具有可扩展性。

3.1.8

弹性交通信息系统 resilient transportation cyber systems

利用计算机技术、通信技术、网络技术等对交通数据进行收集、处理、分析和显示的系统，且系统具有可伸缩性和可编辑性。

3.1.9

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架构，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核心的交通系统。

3.1.10

单元级信息物理系统 unit level cyber-physical systems

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。

[来源:GB/T 40021-2021, 2.10]

3.1.11

系统级信息物理系统 system level cyber-physical systems

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。

注：典型的系统级信息物理系统有生产线、生产车间等。

[来源: GB/T 40021-2021, 2.11]

3.1.12

仿真实验场景 simulation experiments scenario

车辆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车辆行驶情景集合。

[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 仿真平台总体功能架构

4.1 概述

本标准所定义的平台总体功能架构包括交通数据层、仿真建模层、仿真控制层、仿真结果评估层以及接口层。

平台的设计目的为开发可重组、可优化、可评估的城市弹性交通信息物理系统仿真平台，旨在提升城市交通系统的运行稳定性和服务水平恢复能力。

平台的应用服务基于平台基础功能中数据、建模、控制、评估和外接，并进行统一部署。对于已有各业务系统，可进行业务服务的升级迭代。

4.2 功能架构

如图1所示为城市弹性交通信息物理平台功能框架。

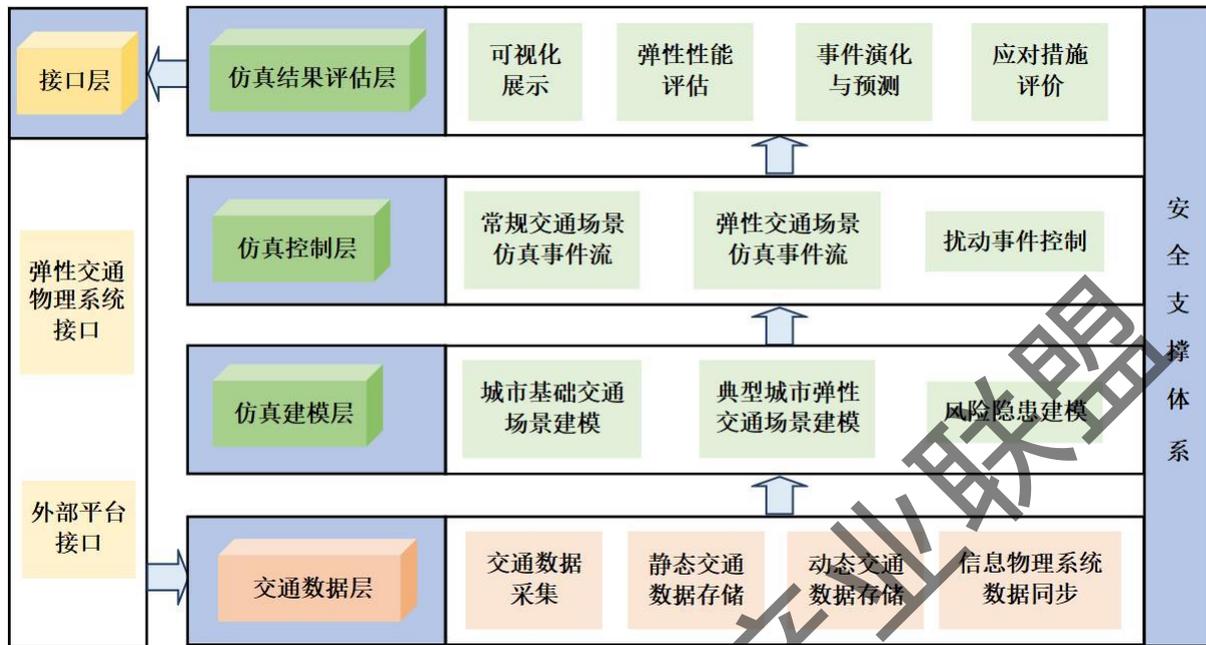


图1 城市公共交通行车计划评价维度及指标

4.3 基本功能要求

平台应具备的基本功能要求如下：

- 交通数据层：交通数据采集、静态交通数据存储、动态交通数据存储以及信息物理系统数据同步；
- 仿真建模层：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；
- 仿真控制层：常规交通场景仿真事件流、扰动因素控制以及弹性交通场景仿真事件流；
- 仿真结果评估层：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。

5 交通数据层要求

5.1 交通数据采集

平台交通数据采集应满足如下要求：

- 应支持实时、非实时、全量、增量等多种采集方式；
- 应具备网络中断、服务中断等异常情况的应对机制；
- 应对数据采集情况进行实时监控；
- 应支持socket、mq、http、ftp、数据库对接等接入方式。

5.2 静态交通数据存储

平台静态交通数据存储应满足如下要求：

- a) 应支持单独存储各类静态交通数据，包括但不限于城市基础地理信息、道路交通网络信息、交通管理信息、交通信号灯配时数据以及公交线路走向数据；
- b) 应支持静态数据的数据修改、更迭以及恢复功能。

5.3 动态交通数据存储

平台动态交通数据存储应满足如下要求：

- 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、车辆轨迹、交通管制信息、地铁运营数据、公交运营数据。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数据修改、更迭以及恢复功能。

5.4 信息物理系统数据同步

平台信息物理系统数据同步应满足如下要求：

- a) 应保证信息模块与物理模块的网络时钟同步；
- b) 应支持 IPv4 和 IPv6 网络地址协议；
- c) 物理模块向信息模块的初始化同步时，宜采用全量同步策略；
- d) 初始化后物理模块向信息模块实时同步时，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 城市基础交通建模

平台城市基础交通建模应该满足如下要求：

- a) 应支持对城市基础交通组件进行建模，包括但不限于路口、线路以及路网；
- b) 应支持对城市基础交通模型的更新与修正；
- 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

平台应支持实现对典型弹性交通场景进行分类并建模，并能够对交通场景进行实时分类。具体典型场景与特征如表1所示。

表 1 弹性交通应用场景要求

序号	场景	特征
1	快速路	在城市内修建的，中央分隔、全部控制出入、控制出入口间距及形式，具有单向双车道或以上的多车道，并设有配套设施的交通安全与管理设施的城市道路。城市快速路的设计车速一般在60-100km/h。
2	慢速路	相对城市快速路而言的城市道路统称，通常设计车速低于每小时60公里，包含主干路、次干路、支路。
3	车站（枢纽）内部	多条公路或城市道路交汇衔接地区，如客运站、火车站、码头等。
4	载运工具	泛指城市内部运送乘客和货物的工具设备，包括但不限于小汽车、公共汽车、出租车等。
5	轨道交通线路	用条形的钢材铺成的供火车、电车等行驶的路线。除特定载运工具之外的其他工具不具有占用权的车道场景。

6.3 风险隐患建模

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	主要包括工矿商贸等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	主要包括恐怖袭击事件等。
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气象、地质灾害等；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 常规交通场景事件流模拟

平台应支持对常规交通场景下的仿真事件流进行建模，包括但不限于交通路网、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 弹性交通场景事件流模拟

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	交通严重拥挤、车流/人流处于或接近停滞状态，道路/人行道上车辆/行人接近饱和程度的交通现象。
2	中断	轨道交通线网在某一节点或区间的停运；道路交通网络在某一节点或区间车辆无法通行。
3	延误	在执行运行图、时刻表过程中受到各种因素影响，造成载运工具进入区间（车站）或在区间（车站）运行过程中偏离（滞后）计划运行轨迹的综合表现形式。
4	拥挤	在交通建筑空间环境、交通设施和载运工具等客观环境约束下，因单位面积容纳人数过多导致的个体行为空间的压缩现象。

7.3 扰动事件控制

平台应支持对各类扰动事件进行仿真控制。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	应在不引入新的构件的前提下，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。
4	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。
5	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。

表5 用于扰动事件控制的弹性服务

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的构件的前提下，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。

表5 (续)

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	地面道路出入口指的是地面道路沿途用地出入市政道路的出入口。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。
9	临时公交线路延伸、缩线	伸缩	在公交系统内不引入新的构件的前提下,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。

表5（续2）

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数量分布，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

平台应具备以下可视化展示功能：

- a) 应实时显示交通网络状态，包括车辆流量和拥堵情况；
- b) 应展示当前弹性交通场景类型、是否处于扰动状态以及最佳扰动控制措施。

8.2 弹性性能评估

平台应支持以下弹性性能评估功能：

- a) 平台应支持针对不同的弹性交通应用场景和风险场景计算交通系统弹性综合指标；
- b) 根据优化控制措施，平台应计算优化前后交通系统弹性综合指标。

8.3 事件演化与预测

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

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，应动态跟踪和研判路网日常事件的态势和影响，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，应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。

9.2 外部平台接口

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

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

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

平台应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。

中国智能交通产业联盟

中国智能交通产业联盟

T/ITS 0277-XXXX

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-XXXX

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>

20**年**月第一版 20**年**月第一次印刷