

团体标准

T/ITS 0293.4-2025

自主式交通系统 交通语义表示语言 第4部分：推理框架

Autonomous transportation system —

Traffic semantic representation language —Part 4: Inference framework

2025-11-26 发布

2025-11-26 实施

中国智能交通产业联盟 发布

中国智能交通产业联盟

目 次

前 言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 缩略语 3

5 交通语义推理结构 3

6 交通语义知识表示 4

7 交通语义推理规则 6

8 交通语义推理引擎 8

附录 A（资料性附录）交通语义规则库示例12

附录 B（资料性附录）交通语义推理示例 16

附录 C（资料性附录）交通语义推理部分应用 18

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。

本文件主要起草单位：北京交通大学、北京邮电大学、交通运输部公路科学研究院、华路易云科技有限公司、联通智网科技股份有限公司、北京航空航天大学、株洲中车时代电气股份有限公司、交通运输部水运科学研究院。

本文件主要起草人：董宏辉、洪奕鹏、欧帆、吴昊、袁泉、李静林、任毅龙、于海洋、李振华、余红艳、辛亮、于朝阳、王泉东、潘小熙、周昱诚、谌仪、王志鹏、牛亚杰、王佳佳、李巍、周伟杰、兰征兴、顾惠楠、马攀科、林军、刘俊兰、江培源。

自主式交通系统 交通语义表示语言 第4部分：推理框架

1 范围

本文件规定了面向自主式交通系统的语义逻辑推理框架，包括交通语义知识表示、交通语义推理规则和交通语义推理引擎。

本文件适用于道路、轨道与水运等多领域交通系统的语义一致性建模与推理，支持交通主体之间的互操作与语义协同。旨在支持交通主体之间的信息语义一致性与逻辑一致性，提升跨交通主体间的语义协同效率与行为决策准确性。

2 规范性引用文件

本文件引用下列文件中的条款作为本规范的条款。凡未注明日期的引用文件，其最新版（包括所有修改单）适用于本规范：

ISO/IEC 24707 通用逻辑（Common Logic (CL)）

T/ITS 0292-2025 自主式交通系统 互操作机制模型

T/ITS 0293.1-2025 自主式交通系统 交通语义表示语言 第1部分：通用定义

T/ITS 0293.2-2025 自主式交通系统 交通语义表示语言 第2部分：语法规则

W3C 网络本体语言2（OWL 2 Web Ontology Language）

W3C 语义网规则语言（Semantic Web Rule Language (SWRL)）

3GPP TS 24.379 关键任务一键通（Mission Critical Push To Talk (MCPTT)）

3 术语和定义

T/ITS 0292-2025、T/ITS 0293.1-2025 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

自主式交通系统 autonomous transportation system

以自主感知、自主决策、自主执行为特征的高度智能、高度自治的交通系统。

[来源：T/ITS 0292-2025]

3.2

交通语义表示语言 traffic semantic representation language

交通语义表示语言是一种以形式化方式准确描述交通内容的语言，具备语义表示、语义理解、语义交互、逻辑推理和互操作等能力。

[来源：T/ITS 0293.1—2025]

3.3

自主式交通主体 autonomous traffic agent

自主式交通主体是能够在复杂交通环境下，独立完成感知、认知、决策与控制闭环，实现预定交通任务的交通智能体。

[来源：T/ITS 0293.1—2025]

3.4

交通语义知识库 traffic semantic knowledge base

使用交通语义表示语言表示和存储交通领域知识的信息集合。

3.5

交通语义规则库 traffic semantic rule base

使用交通语义表示语言描述交通行为逻辑、运行约束与语义推理机制的规则集合。

3.6

语义推理 semantic inference

基于已有语义表示的事实和规则，导出隐含知识的过程。

3.7

本体语言 ontology language

一种语义网语言，旨在表示关于事物、事物组以及事物之间关系的丰富而复杂的知识。

[来源：W3C OWL 2 Web Ontology Language — 2012.12.11]

3.8

交通语义推理规则 traffic semantic rule

描述交通实体间逻辑关系与行为约束的形式化表达式，通过推理引擎实现语义驱动的决策生成。

3.9

合一 unification

升级的推理规则要求找到使不同的逻辑表示变得相同的置换的过程。

3.10

前向链接 forward chaining

一种基于数据驱动推理的算法，它从知识库中的已知事实出发，如果蕴含式的所有前提已知，那么就把它结论添加到已知事实集。

3.11

反向链接 backward chaining

一种目标制导的推理形式，从目标开始反向推导链接规则，以找到支持证明的已知事实。

3.12

增量推理 incremental inference

对动态交通数据进行局部更新和局部推理的模式。

3.13

交通语义绑定表 traffic semantic binding table

用于记录变量的约束状态，实现推理回溯的变量绑定表。

3.14

交通语义动态表 traffic semantic dynamic table

用于实时记录交通语义实体状态、上下文信息及推理中间结果的数据结构。

3.15

交通语义执行栈 traffic semantic execution stack

用于保存推理过程、调用层级及临时变量的栈式结构。

4 缩略语

ABox: 断言事实 (Assertional Box)

TBox: 术语公理 (Terminological Box)

CTCS: 中国列车控制系统 (China Train Control System)

CBTC: 基于通信的列车控制系统 (Communication Based Train Control)

AIS: 船舶自动识别系统 (Automatic Identification System)

SIP: 会话发起协议 (Session Initiation Protocol)

MSRP: 消息会话中继协议 (Message Session Relay Protocol)

MQTT: 消息队列遥测传输 (Message Queuing Telemetry Transport)

CoAP: 受限应用协议 (Constrained Application Protocol)

TSRL: 交通语义表示语言 (Traffic Semantic Representation Language)

5 交通语义推理结构

交通语义推理结构由交通语义知识表示、交通语义推理规则、交通语义推理引擎和交通语义推理应用构成，如图 1 所示。交通语义推理结构以多源交通数据为基础，通过语义化、逻辑化与规则化处理，实现从数据感知到智能决策的全过程语义推理闭环。交通语义推理结构内容如下：

a) 交通语义知识表示：交通语义知识表示负责对来自传感器、通信系统及业务系统的多源交通数据进行抽取、清洗与语义化描述。通过 TSRL 对交通实体、属性、关系及事件进行形式化表达，形成交通语义知识库的基础内容，为后续推理提供统一的数据语义支撑。

b) 交通语义推理规则：交通语义推理规则定义交通领域的逻辑规则与约束条件，包括交通实体间

的因果关系、行为约束及事件触发逻辑。交通语义推理规则以TSRL形式组织，支持前向推理、反向推理等模式，用于驱动交通语义推理引擎执行逻辑判断与结果生成。

c) 交通语义推理引擎：交通语义推理引擎是语义推理框架的核心执行单元。推理引擎通过规则匹配、事实合一、时空推理与冲突消解等机制，动态更新交通语义知识库状态，实现语义条件触发、事件分类、状态预测与结论生成。同时支持推理过程的可追溯与可解释性分析，保证系统在复杂场景下的逻辑一致性与稳定性。

d) 交通语义推理应用：交通语义推理应用实现推理结果的业务化应用与外部系统交互。通过协议适配与语义-报文映射机制，将推理结论转译为控制指令、告警信息或决策建议。

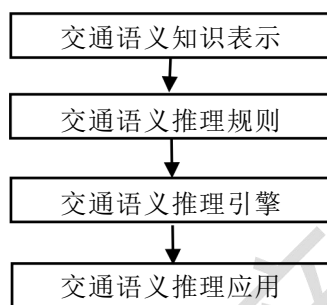


图 1 交通语义推理结构

通过上述四个层次的协同作用，交通语义推理结构实现了数据语义化、规则逻辑化、推理智能化与应用闭环化，为多交通方式下的语义一致性建模与智能协同决策提供系统支撑。

6 交通语义知识表示

6.1 交通语义知识表示流程

交通语义知识表示是基于本体语言对交通领域中实体、关系与行为进行形式化表达的过程。按照 T/ITS 0293.1-2025 描述的TSRL术语库定义交通主体的语义概念及其属性关系，建立统一的语义结构模型。交通语义知识的形成过程见图 2。

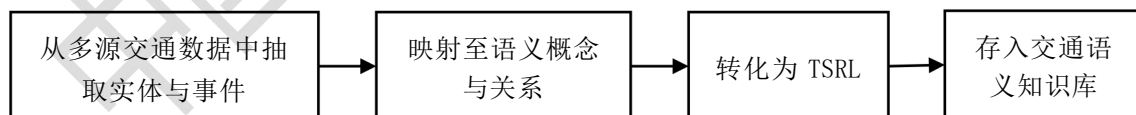


图 2 交通语义知识表示流程

6.2 交通语义知识库构建

交通语义知识库（TKB）是语义推理的核心支撑，包含 TBox 与 ABox 两部分：

- TBox（术语公理）：定义交通实体、属性、关系及层级结构，构成交通领域本体；
- ABox（断言事实）：存储动态交通事实，如车辆状态、信号机状态、区段占用等。

交通语义知识库（TKB）的构建流程如下：

- 导入交通本体模型，定义类与关系约束；
- 解析多源数据，转换为TSRL；
- 执行一致性检查，删除冗余或冲突数据；
- 按不同交通方式建立术语库。

交通语义知识库的具体形式如下：

```

module TrafficLib{

    category RoadSys {

        class Road {

            HasRoadType(x, type) ;

            HasSpeedLimit(x, limitspeed) ;

            IsTrafficSignal(x) ;

            HasTrafficSignalPhase(x, phase) ;

            .....

        }

        class Vehicle {

            IsCar(x) ;

            HasCarPosition(x, position) ;

            HasCarSpeed(x, speed) ;

            HasCarAcceleration(x, acceleration) ;

            .....

        }

        .....

    category RailWaySys {

        .....

    }

    category WaterWaySys {

        .....

    }

}

```

7 交通语义推理规则

7.1 交通语义推理规则结构模式

交通语义推理规则应具备的结构元素见表 1。

表 1 交通语义推理规则所包含元素

元素名称	描述	要求
RuleID	交通语义推理规则唯一标识符	全局唯一
RuleName	交通语义推理规则简要名称	反映交通语义推理规则用途
Condition	交通语义逻辑表达式，用 TSRL 描述	引用交通语义知识库已定义的谓词与参数类型
Conclusion	交通语义推理生成的交通事实或动作	与交通语义知识库概念一致
Priority	交通语义推理规则优先级	决定交通语义推理规则触发顺序

7.2 交通语义推理规则表示格式

交通语义推理规则首先定义交通实体的层级关系、约束与一致性检查，并表达复杂的时序、空间、行为逻辑。交通语义推理规则采用扩展的谓词逻辑表达式形式书写，使用前件-后件（IF-THEN）模式，并支持标准逻辑运算符与内建函数。

通用表达格式：

RuleID <RuleName>

<结论谓词表达式>:-<谓词表达式 1> [逻辑连接符] <谓词表达式 2> ...

[Priority = n]

谓词表达式组成：

- 谓词（Predicate）：表示实体、属性或关系；
- 变量（Variable）：表示规则中的通用符号；
- 逻辑连接符（ \wedge , \vee , \neg ）：用于连接多个条件；
- 内建函数（Built-in）：用于比较、计算或转换。

7.3 交通语义推理规则编写要求

a) 基础技术性要求：

- 1) 唯一性：每条交通语义推理规则必须具有唯一 RuleID；
- 2) 可解释性：交通语义推理规则名称与元数据应能明确反映其用途；
- 3) 一致性：条件与结果使用的概念、关系应与交通本体定义一致；

- 4) 模块化：单条交通语义推理规则应只描述单一逻辑关系，便于维护与组合；
- 5) 机器可执行：交通语义推理规则应符合规定的语法格式，支持推理引擎直接解析。

b) 规则安全设计要求：

- 1) 冲突消解机制：不得存在结论自相矛盾的交通语义推理规则组合，须显式定义规则优先级，优先级规则间需设定冲突解决策略；
- 2) 安全约束：交通语义推理规则需声明禁止推导的潜在危险结论；
- 3) 物理可执行：交通语义推理规则结果必须关联可落地的控制指令或预警；
- 4) 全链路溯源：交通语义推理规则触发时须记录所有输入数据的来源标识，支持安全审计与责任追溯。

7.4 交通语义推理规则分类

交通语义推理规则分类见表2，根据交通语义推理规则编写要求和交通语义知识库构建交通语义规则库，交通语义规则库见附录A。

表 2 交通语义推理规则分类

序号	交通推理规则	内容
1	交通状态识别规则	交通状态识别规则用于从原始感知数据中识别出交通系统当前状态，例如交通主体的位置、速度、信号状态等
2	交通行为触发规则	交通行为触发规则用于基于当前交通状态条件，触发相应的交通行为或系统响应，如紧急刹车。
3	交通优先级推理规则	交通优先级推理规则用于实时推导多参与者交汇场景下的通行顺序，如让行、避让等。
4	交通语义关系扩展规则	用于对交通概念之间的语义关系进行扩展或补全，如“紧急车辆”隐含“可越过红灯”。
5	交通时序推理规则	用于处理具有时间顺序关系的交通行为逻辑，如先到先行、限时通行等。
6	交通空间逻辑规则	用于判断交通参与者之间的交通空间位置关系，如并道、跟车距离、盲区等。
7	交通协同推理规则	用于交通多智能体间的协同认知与动作协调逻辑，例如变道协商、交汇避让等。
8	交通异常检测规则	用于识别不符合交通规范或常理的交通行为状态，如逆行、占用应急车道等。

8 交通语义推理引擎

8.1 交通语义推理引擎结构

交通语义推理引擎包括交通语义知识库、交通语义规则库、交通语义推理器和交通语义冲突检测器。交通语义推理器根据输入推理内容从交通语义知识库和交通语义规则库中检索相关语义知识与逻辑规则，执行语义推理与冲突校正后输出最终交通决策并更新交通语义知识库和交通语义规则库，交通语义知识库管理器负责实现动态更新与一致性维护，确保系统运行的时效性与逻辑一致性。通过上述机制，交通语义推理引擎实现了交通语义的智能推理与闭环控制。推理引擎结构见图 3。

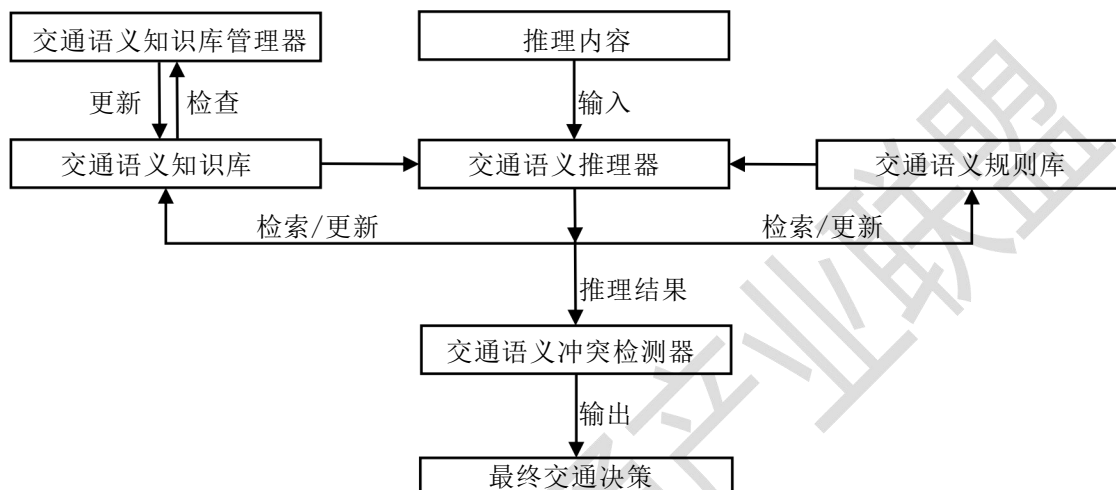


图 3 交通语义推理引擎结构

8.2 交通语义知识库管理器

交通语义知识库管理器包括以下内容：

a) 一致性检查执行：

- 1) 对当前交通语义知识库进行扫描，验证每个交通个体是否满足类的定义约束；
- 2) 若发现冲突，生成冲突报告并标记不一致实体。

b) 交通类型推断流程：

- 1) 遍历所有新加入或更新的交通实体；
- 2) 根据类层级和属性限制，推断其是否属于更具体的子类，并在交通语义知识库中自动更新实体类型。

c) 交通属性继承与关系推导：

对交通实体属性执行逻辑扩展：

- 1) 若交通属性为传递性（如“在同一路线上”），则自动递推出间接关系；
- 2) 若交通属性为对称性（如“相邻”），则在反向方向补全关系；
- 3) 若存在交通属性链（如“车-路-区段”），则推导出更高层次的关系（如“车属于区段”）。

8.3 交通语义推理器

8.3.1 交通语义推理机制

交通语义推理器所使用的推理机制可使用以下推理方法：

- a) 前向链接：
 - 1) 当传感器、事件或外部系统输入新交通事实数据时，系统将其加入交通语义知识库；
 - 2) 触发依赖该交通事实的交通规则前提条件，逐条检查是否满足；
 - 3) 对于满足条件的交通规则，执行结论部分，将新推导出的事实加入交通语义知识库；
 - 4) 将新增交通事实递交回调度器，可能继续触发链式推理。
- b) 反向链接：
 - 1) 当用户或系统提出目标查询，交通推理引擎将目标作为待证明结论；
 - 2) 在交通语义规则库中查找结论部分与目标匹配的规则；
 - 3) 将交通规则的前提条件转化为新的子目标，并检查交通语义知识库是否满足；若未满足，则递归查找能够证明该条件的其他交通规则；
 - 4) 若所有前提被证明，最终确认目标结论成立；若存在前提无法证明，则返回失败或部分成立。
- c) 时序逻辑推理：时序逻辑推理以时间约束为核心，对事件的先后、持续及并发关系进行逻辑化表达与推理，包括以下内容：
 - 1) 采用时序逻辑表示交通事件的时间关系；
 - 2) 支持“Before”、“After”、“During”、“Until”等时序谓词，用于描述如信号灯变化、列车进出区段、车辆进出交叉口等行为的先后逻辑；
 - 3) 通过时序约束检测与违例判定，实现对交通异常事件的早期识别。
- d) 空间逻辑推理：空间逻辑推理用于判断交通主体间的空间关系与位置拓扑，包括以下内容：
 - 1) 基于地理空间关系模型描述交通主体间的空间关系，如“相邻”、“包含”、“交叉”、“分离”等；
 - 2) 通过空间关系谓词实现车辆、轨道列车、船舶等对象间的空间约束表达；
 - 3) 结合 GIS 坐标系、轨道区段编号或航线拓扑进行空间匹配推理，支持动态空间占用分析。
- e) 时空关联推理：时空关联推理融合时间与空间两个维度，对复杂行为进行联合推理与预测，包括以下内容：
 - 1) 通过建立时空事件模型，将时间轴上的事件流与空间拓扑状态关联；
 - 2) 在推理过程中执行复合规则；
 - 3) 支持事件链预测及冲突趋势判断，为调度决策与安全控制提供逻辑支撑。

8.3.2 交通语义推理流程

交通推理器运行时涉及五个核心组件：交通语义知识库、交通语义规则库、交通语义绑定表、交通语义动态表与交通语义执行栈。推理引擎推理流程见图4，交通推理步骤如下：

- a) 接收查询并初始化：用户通过 ASK 接口提交查询，将该初始目标推送到交通语义执行栈，同时

初始化本次推理的交通语义动态表条目与交通语义绑定表。

b) 检索候选规则：交通语义执行栈根据目标向交通语义规则库 发起“请求匹配规则”，规则库返回候选规则集合，可按优先级或启发式排序。

c) 逐条规则处理：对每条候选规则，交通语义执行栈保存当前交通语义绑定/动态表快照以便回溯，然后读取该规则的前提。

d) 读取候选事实：对每个前提，交通语义执行栈向交通语义知识库请求可能匹配的事实，交通语义知识库返回匹配事实集合。

e) 前提匹配与变量合一：对每个候选事实与前提做匹配合一：在匹配过程中读取/更新交通语义绑定表，将成功的变量约束写入交通语义绑定表。若前提本身是子目标，则把孩子目标递归推入交通语义执行栈。

f) 记录临时状态与中间结果：每次匹配尝试都写入交通语义动态表，以保留中间证据与约束；需要时，交通语义动态表可向交通语义执行栈或外部模块提供中间结果。

g) 回溯策略：若某前提匹配失败，使用交通语义动态表/绑定表中的快照恢复变量绑定状态，然后选择下一个候选事实或回退到上一层选择下一个候选规则继续尝试。

h) 规则成立与结论返回：若某规则的所有前提均成功匹配，则该规则成立：交通语义执行栈生成/返回匹配的交通事实，并将结果逐层返回到初始目标处。

i) 目标失败判定：若所有候选规则与事实均尝试完仍无解，则该目标判为失败，交通语义执行栈返回失败信息。

j) 清理与输出：本次推理结束后，统一释放/清空交通语义绑定表中的临时变量绑定和交通语义动态表的临时状态，保持交通语义知识库一致性；最后把最终结论与必要的中间证据返回给 ASK 接口。

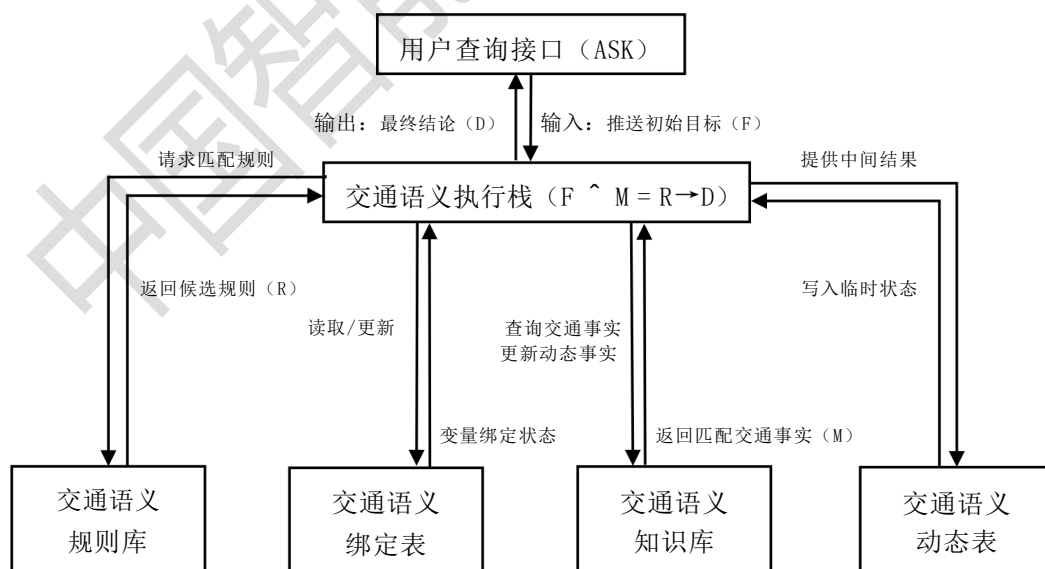


图 4 推理流程

8.4 交通语义冲突检测器

在复杂交通系统中，不同交通语义推理规则集或数据源可能导致推理结果冲突或优先级不一致。交通语义检测与消解机制用于对推理过程中的语义冲突进行识别、分级与修正，保证系统结论的可靠性与一致性。其具体内容如下：

a) 交通语义冲突检测机制：系统通过语义一致性检查与逻辑验证算法，检测不同交通语义推理规则推导出的结果是否存在冲突，包括以下内容：

- 1) 采用本体一致性检查验证类、属性及关系约束的合规性；
- 2) 基于冲突模式识别发现典型逻辑矛盾，如“车辆在同一时刻处于两个位置”或“信号同时为红与绿”；

- 3) 利用交通语义推理规则追踪与约束传播机制，标识产生冲突的具体推理路径与数据来源。

b) 交通语义冲突消解机制：冲突消解机制通过交通语义规则优先级、时间权重与特例覆盖等策略，决定最终可信推理结果，包括以下内容：

- 1) 交通语义推理规则优先级原则：为交通语义推理规则集配置显式的优先级层级，在冲突场景中高优先级规则覆盖低优先级规则；

- 2) 时间最近原则：同一事实被多次推导时，时间戳最新的推理结果优先；

- 3) 特例覆盖原则：当存在交通语义通用规则与特例规则同时适用时，优先采用适配特定条件的特例规则。

c) 溯源与解释机制：为保证系统决策的可解释性与可信性，引入推理溯源机制，包括以下内容：

- 1) 每次推理过程均自动生成规则轨迹，记录触发的规则序列与推理路径；
- 2) 构建证据链，列出支撑每条规则触发的原始数据项、来源及时间戳；
- 3) 用户可通过可视化界面查看推理路径及证据链条，实现透明化的结果验证与责任追溯。

8.5 交通语义知识规则库更新

交通语义知识规则库采用增量推理机制实现知识与规则的动态更新与一致性维护。系统通过依赖关系跟踪、局部重推理与结果替换等策略，确保在多源数据频繁变化的情况下仍保持高效与实时响应。其主要过程包括：

——构建交通语义推理依赖关系图谱，记录每一条交通语义推理结果与其所依赖的数据、规则及上下文信息；

——当新交通数据加入、原有数据被修改或删除时，系统自动识别受影响的规则与推理链；

——针对受影响部分执行局部推理更新，而非重新运行整个推理库，以提高计算效率；

——将更新后的推理结果即时替换旧结论，保持交通语义知识库内容的语义一致性与时效性；

——负载较高时，增量推理模块可按优先级执行必要的子集推理任务，以保障系统实时响应能力。

附录 A
(资料性附录)
交通语义规则库示例

A.1 交通语义推理规则

a) 道路规则示例

Rule1 <状态识别规则>

$\text{OverspeedVehicle}(x, t) :- \text{IsCar}(x, v) \wedge \text{HasSpeed}(x, v) \wedge \text{HasRoadType}(r, \text{Urban}) \wedge 0 < \text{v} < \text{LimitSpeed}(r) \wedge \text{GreaterThan}(v, 30).$

在城市道路上速度超过 30 km/h 的车辆被识别为超速状态。

Rule2 <行为触发规则>

$\text{MustStop}(v, t) :- \text{Approaching}(v, \text{SignalizedIntersection}, t) \wedge \text{SignalColor}(t, \text{red}) ;$

车辆接近信号灯路口且红灯亮时必须停车。

Rule3 <优先级推理规则>

$\text{HasRightOfWay}(v1, v2) :- \text{IsEmergencyVehicle}(x1) \wedge \neg \text{IsEmergencyVehicle}(x2) \wedge \text{ConflictAtJunction}(x1, x2, t) ;$

紧急车辆与非紧急车辆在路口冲突时拥有优先通行权。

Rule4 <语义关系扩展规则>

$\text{SchoolBus}(x) :- \text{CanStopInMovingTraffic}(x) \wedge \text{LetAllStop}(x) ;$

校车语义隐含可路上停车并触发其他车辆完全停止。

Rule5 <时序推理规则>

$\text{HasPriority}(x1, x2) :- \text{ArrivalAtMerge}(x1, t1) \wedge \text{ArrivalAtMerge}(x2, t2) \wedge \text{LessThan}(t1, t2) ;$

在合流点先到达车辆拥有优先通行权。

Rule6 <空间逻辑规则>

$\text{TailgatingWarning}(x2, t) :- \text{IsBehind}(x2, x1) \wedge \text{DistanceBetween}(x1, x2, d, t) \wedge \text{LessThan}(d, \text{SafeDistance}(x1, v, t)) ;$

后车与前车间距小于安全跟车距离构成追尾警告。

Rule7 <协同推理规则>

$\text{ShouldCreateGap}(x1, x2, t) :- \text{RequestLaneChange}(x1, \text{Left}, t) \wedge \text{HasSpace}(x2, t) \wedge \text{FlashLight}(x1, t) ;$

车辆请求左变道并闪烁灯光时，邻居车辆应主动让出空间。

Rule8 <异常检测规则>

$\text{IllegalShoulderUseWarning}(x, t) :- \text{Occupied}(x, \text{HardShoulder}, t) \wedge \neg \text{IsEmergency}(x) \wedge \neg \text{IsBreakdown}(x) ;$

非紧急状态占用应急车道触发违规行为警告。

b) 轨道规则示例

Rule1 <状态识别规则>

$\text{CriticalFaultStatus}(y, t) :- \text{IsSegmentA}(y) \wedge \text{SignalFailure}(y, t) \wedge \text{TrackOccupied}(y, t) ;$

轨道区段信号故障且被占用时识别为严重故障状态。

Rule2 <行为触发规则>

$\text{ActivateBarrier}(y, t) :- \text{IsTrain}(x) \wedge \text{IsCrossing}(y) \wedge \text{Approaching}(x, y, d, t) \wedge \text{LessThan}(d, 500) ;$

列车距道口 500 米时触发栏杆降落。

Rule3 <优先级推理规则>

$\text{YieldPriority}(x2, x1) :- \text{IsTrain}(x1) \wedge \text{IsTrain}(x2) \wedge \text{HighSpeedRail}(x1) \wedge \text{FreightRail}(x2) \wedge \text{SharedTrack}(x1, x2, t) ;$

客货混行线路中货运列车须让行高速列车。

Rule4 <语义关系扩展规则>

$\text{MaintenanceActivity}(x) :- \text{IsTrain}(x) \wedge \text{ImposesSpeedRestriction}(x, 40) \wedge \text{RequiresSafetyZone}(x, 50) ;$

维修活动相关轨道区段触发40km/h 限速及 50 米安全区。

Rule5 <时序推理规则>

$\text{DispatchNext}(x1, x2, t) :- \text{IsTrain}(x1) \wedge \text{IsTrain}(x2) \wedge \text{IsStation}(y) \wedge \text{ArrivalAtStation}(x1, y, t1) \wedge \text{ArrivalAtStation}(x2, y, t2) \wedge \text{LessThan}(t1, t2) .$

先到站列车优先调度出发。

Rule6 <空间逻辑规则>

$\text{MaintainHeadway}(x1, x2, t) :- \text{IsTrain}(x1) \wedge \text{IsTrain}(x2) \wedge \text{SameLine}(x1, x2) \wedge \text{DistanceBetween}(x1, x2, d, t) \wedge \text{GreaterThan}(d, \text{MinSafeHeadway}) .$

同一闭塞区内两列非连接列车构成碰撞风险。

Rule7 <协同推理规则>

$\text{ApproveRerouting}(x, \text{Platform2}, t) :- \text{IsTrain}(x) \wedge \text{IsPlatform}(y) \wedge \text{RequestPlatformChange}(x, y, t) \wedge \text{AvailableCapacity}(y, t) ;$

列车请求变更站台且容量充足时应批准路径调整。

Rule8 <异常检测规则>

$\text{OverspeedWarning}(x, t) :- \text{IsTrain}(x) \wedge \text{IsSection}(y) \wedge \text{DetectedSpeed}(x, v, t) \wedge \text{Ma}$

$xAllowed(y, Vmax) \wedge GreaterThan(v, Vmax+10\%) ;$

检测到速度超过区段限速 10%时触发超速警告。

c) 水运规则示例

Rule1 <状态识别规则>

$OverdraftVessel(x, t) :- IsVessel(x) \wedge IsWaterWay(w) \wedge HasVesselSpeed(x, v) \wedge GreaterThan(v, LimitSpeed(w)) \wedge On(v, w) ;$

船舶在特定航道上航速超过限速时识别为超速航行。

Rule2 <行为触发规则>

$ActivateWarningSignal(x, t) :- IsVessel(x) \wedge IsPortEntry(y) \wedge Near(x, y, 500m, t) \wedge HasWeatherWarning(y, Storm) ;$

当船舶接近港口入口且存在风暴预警时，应触发警告信号。

Rule3 <优先级推理规则>

$HasNavigationalPriority(x1, x2) :- IsVessel(x1) \wedge IsVessel(x2) \wedge IsLargeVessel(x1) \wedge IsSmallVessel(x2) \wedge ConflictAtWaterway(x1, x2, t) ;$

大吨位船舶与小型船舶在航道冲突时拥有优先通行权。

Rule4 <语义关系扩展规则>

$IsVLCC(x) :- IsVessel(x) \wedge RequiresTugEscort(x) \wedge ImposesTrafficSeparation(x) ;$

若某船舶同时满足“需拖轮护航”和“会引起航道分分离要求”两条件，则可推导其为 IsVLCC（超级油轮）类别。

Rule5 <时序推理规则>

$MustExecuteHoldingPattern(x, t) :- IsVessel(x) \wedge IsPort(y) \wedge ETA(x, y, etatime) \wedge TidalWindow(y, starttime, endtime) \wedge NotWithin(etatime, starttime, endtime) ;$

预计到港时间不在潮汐窗口内须执行盘旋待命。

Rule6 <空间逻辑规则>

$SinglePassageRequired(y, t) :- IsVessel(x) \wedge IsWaterWay(y) \wedge InNarrowChannel(x, y, t) \wedge HasVesselWidth(x, width1) \wedge ChannelWidth(y, width2) \wedge LessThan(width2 - width1, SafeMargin) .$

若某船舶在狭窄航道内航行，且航道富余宽度小于安全余量，则该航道在该时刻要求单向通行

Rule7 <协同推理规则>

$ExecuteBerthingOperation(x, t) :- IsVessel(x) \wedge IsPort(y) \wedge ArrivalConfirmed(x, y, t1) \wedge TugAssigned(x, tug, t1) \wedge PilotOnboard(x, y, t1) \wedge WeatherCondition(y, Safe, t1) ;$

当船舶抵港确认且拖轮、引航员均已就位，并且气象条件安全时，执行靠泊作业。

Rule8 <异常检测规则>

$ActivateRescue(x, t) :- IsVessel(x) \wedge Detected(DistressSignal, x, t) \wedge Near(x, IncidentA$

rea, 2km) ;

在分道检测到遇险信号且靠近事故区域的船舶自动进入应急救援状态。

中国智能交通产业联盟

附 录 B
(资料性附录)
交通语义推理示例

B.1 交通语义推理场景

以铁路区段站货运列车调度与客运列车优先权场景为例，进行交通语义逻辑推理。

B.2 交通语义推理

a) 初始状态检测

轨旁设备实时不间断将当前线路占用情况和列车运行计划实时上传至调度中心。

Send by FreightTrain1&FreightTrain2&PassengerTrain1: IsPassengerTrain(PassengerTrain1), IsFreightTrain(FreightTrain1), IsFreightTrain(FreightTrain2), OnTrack(FreightTrain1, TrackA), OnTrack(FreightTrain2, TrackB), PlannedRoute(PassengerTrain1, TrackA) Priority (PassengerTrain1, 1);

Received by ControlCentreTrafficDispatcher: IsPassengerTrain(PassengerTrain1), IsFreightTrain(FreightTrain1), IsFreightTrain(FreightTrain2), OnTrack(FreightTrain1, TrackA), OnTrack(FreightTrain2, TrackB), PlannedRoute(PassengerTrain1, TrackA) Priority (PassengerTrain1, 1);

含义：各辆列车分别向调度中心报告：FreightTrain1 正在占用主轨道 TrackA，FreightTrain2 处于侧线 TrackB，PassengerTrain1 的计划运行路径是 TrackA，PassengerTrain1 的运行优先级最高（priority=1）。

b) 冲突检测与调度决策

Inferred by ControlcentreTrafficDispatcher: Conflict(PassengerTrain1, FreightTrain1, TrackA), Control(FreightTrain1, TransferTo(TrackC));

Send by ControlcentreTrafficDispatcher: Control(FreightTrain1, TransferTo(TrackC));

Received by TracksideEquipment: Control(FreightTrain1, TransferTo(TrackC));

含义：调度中心通过逻辑推理识别到：PassengerTrain1 与 FreightTrain1 在 TrackA 上存在运行冲突；据优先级规则（PassengerTrain1 优先），调度中心生成决策并发送给轨旁设备：指令 FreightTrain1 转移至空闲轨道 TrackC，避免冲突。

c) 路径可用性反馈

Send by TracksideEquipment: TrackAvailable(TrackC), NoConflict(TrackC), RightSwitchPosition(TrackC);

Received by ControlCentreTrafficDispatcher: TrackAvailable(TrackC), NoConflict(Track

C), RightSwitchPosition(TrackC) ;

含义：轨旁设备实时不间断向调度中心反馈TrackC 的状态：TrackC 空闲可用；当前无其他列车占用或冲突；相关道岔处于正确的定位状态，允许进入。这为调度中心确认转线方案的可行性提供了安全保障。

d) 转线授权

Inferred by ControlCentreTrafficDispatcher : LetGo(FreightTrain1, TrackC) ;

Send by ControlCentreTrafficDispatcher : LetGo(FreightTrain1, TrackC) ;

Received by FreightTrain1:LetGo(FreightTrain1, TrackC) ;

含义：调度中心向 FreightTrain1 下达控制指令：授权 FreightTrain1 驶入 TrackC，完成 FreightTrain1 的转线动作，从而释放TrackA。这是从“调度决策”到“实际执行”的关键环节。

e) 主轨道状态更新

Send by TracksideEquipment : TrainPosition(PassengerTrain1), TrackAvailable(TrackA), NoConflict(TrackA), RightSwitchPosition(TrackA) ;

Received by ControlCentreTrafficDispatcher : TrainPosition(PassengerTrain1), TrackAvailable(TrackA), NoConflict(TrackA), RightSwitchPosition(TrackA) ;

含义：轨旁设备实时不间断向调度中心传输 PassengerTrain1 的位置信息和轨道状态，直道确认 PassengerTrain1 已经通过该区段，TrackA 空闲无冲突，道岔已经正确定位，允许 FreightTrain1 按计划进入。这为后续下达通行许可提供条件。

f) 进路许可下达

Inferred by ControlCentreTrafficDispatcher : TrackAPassable(FreightTrain1, TrackA) ;

Send by ControlCentreTrafficDispatcher : TrackAPassable(FreightTrain1, TrackA) ;

Received by FreightTrain1 : TrackAPassable(FreightTrain1, TrackA) ;

含义：调度中心基于轨道状态和优先级规则，向 FreightTrain1 下达“进路许可”，即 FreightTrain1 可以进入并通过 TrackA；PassengerTrain1 已经驶离区间，FreightTrain2 保持待避，整个进路安全。

附 录 C
(资料性附录)
交通语义推理部分应用

序号	交通方式	交通语义推理应用
1	道路	基于车辆状态与信号状态的通行优先级判断
2		基于道路占用信息的拥堵检测与动态信号配时
3		基于事件逻辑的事故检测与预警推理
4		基于语义规则的行人避让与危险行为识别
5	轨道	列车区段占用与进路开放条件判断
6		列控系统间语义互操作与制式边界协调
7		列车间优先级推理与冲突消解
8		调度指令自动验证与逻辑一致性检查
9	水运	船舶航迹预测与航线冲突检测
10		港区靠泊次序与优先权推理
11		基于AIS语义的动态风险识别
12		船舶群体协同与避碰策略生成

中国智能交通产业联盟

标准

自主式交通系统 交通语义表示语言 第4部分：推理框架

T/ITS 0293.4-2025

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11月第一版 2025年11月第一次印刷