

ICS 35.020

CCSL70

团 体 标 准

T/ZGCSC 027-2025

网联自动驾驶汽车协同编队控制 技术要求

Technical Specification for Cooperative Formation Control of
Connected Automated Vehicles

2025-09-03 发布

2025-09-04 实施

中关村智慧城市产业技术创新战略联盟

发 布

目 次

前 言.....	1
1 范围.....	2
2 规范性引用文件.....	2
3 术语、定义和缩略语.....	3
4 总体要求.....	3
5 功能要求.....	4
6 技术要求.....	6
7 安全要求.....	7
8 协同编队行为要求.....	8
参考文献.....	14

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。

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。

本文件由中关村智慧城市产业技术创新战略联盟提出并归口。

本文件起草单位：北京航空航天大学、长安大学、北京千方科技股份有限公司、北京智能车联产业创新中心有限公司、北京通博科技有限公司、北京航空航天大学江西研究院、重庆中科汽车软件创新中心。

本文件主要起草人：田大新、段续庭、林椿昞、刘占文、周建山、曲凯歌、孙亚夫、林强、郭胜敏、丁延超、赵元昊、张佩瑜、李嘉炜、唐文忠、张东军、杨钰、宋歌。

本文件为首次发布。

网联自动驾驶汽车协同编队控制技术要求

1 范围

本文件规定了网联自动驾驶汽车协同编队的总体要求、功能要求、技术要求、安全要求以及行为要求。

本文件规定的各类场景及行为要求仅限于城市网联自动驾驶汽车协同编队行驶。

本文件适用于基于车路协同系统的网联自动驾驶汽车协同编队控制系统的设计与开发。

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 39901-2021 乘用车自动紧急制动系统（AEBS）性能要求及试验方法

GB/T 41479-2022 信息安全技术 网络数据处理安全要求

GB/T 41796-2022 商用车车道保持辅助系统性能要求及试验方法

GB/T 41871-2022 信息安全技术 汽车数据处理安全要求

GB/T 44417-2024 车路协同系统智能路侧协同控制设备技术要求和测试方法

GB/T 44721-2024 智能网联汽车自动驾驶系统通用技术要求YD/T

JT/T 1458-2023 营运车辆车路/车车通信（V2X）终端性能要求和检测方法

GA/T 1743-2020 道路交通信号控制机信息发布接口规范

YD/T 3340-2018 基于LTE的车联网无线通信技术 空中接口技术要求

YD/T 3709-2020 基于LTE的车联网无线通信技术 消息层技术要求

YD/T 3707-2020 基于LTE的车联网无线通信技术 网络层技术要求

YD/T 3755-2020 基于LTE的车联网无线通信技术 支持直连通信的路侧设备技术要求

YD/T 3957-2021 基于LTE的车联网无线通信技术 安全证书管理系统技术要求

YD/T 4770-2024 车路协同路侧感知系统技术要求及测试方法

YD/T 6058-2024 面向车联网应用场景的高精度定位总体技术要求

DB32/T 4846-2024 车路协同信息交互接口规范

T/ITS 0058-2017 合作式智能运输系统 车用通信系统 应用层及应用数据交互标准

T/ITS 0113.2-2019 营运车辆 合作式自动驾驶货车编队行驶 第1部分：总体技术要求

T/ITS0113.2-2019 营运车辆 合作式自动驾驶货车编队行驶 第2部分：驾驶场景和行驶行为要求

T/ITS 0113.3-2021 营运车辆 合作式自动驾驶货车编队行驶 第3部分：车辆通讯应用层数据交互要求

T/ITS 0200.1-2024 车路协同路侧感知系统 第1部分：技术要求

T/FJAS 016-2022 车辆编队技术性能指标及测试方法

T/TMAC 066-2023 车路协同系统技术要求

T/CSAE 53-2020 合作式智能运输系统 车用通信系统应用层及应用数据交互标准（第一阶段）
 T/CSAE 157-2020 合作式智能运输系统 车用通信系统应用层及应用数据交互标准（第二阶段）
 T/CSAE 158-2020 基于车路协同的高等级自动驾驶数据交互内容

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

3.1.1

领头汽车 leading vehicle

编队行驶中最前方的无人驾驶汽车。

3.1.2

跟随汽车 following vehicle

编队行驶中除了领头汽车之外，其他具备自动驾驶能力的汽车。

3.1.3

协同编队 cooperative platooning

两辆或两辆以上的网联自动驾驶汽车，通过无线通信与协同控制算法，形成一个以稳定相对空间关系运行的、具有共同行驶目标的汽车集群。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

4G: 第四代移动通信技术 (the 4 th Generation Mobile Communication Technology)

5G: 第五代移动通信技术 (the 5 th Generation Mobile Communication Technology)

C-V2X: 蜂窝车联网 (Cellular Vehicle-to-Everything)

PC5: 车联网直连通信接口 (Proximity Communication)

RSU: 路侧单元 (Road Side Unit)

V2X: 车联网通信 (Vehicle to Everything)

V2V: 车车通信 (Vehicle to Vehicle)

V2I: 车路通信 (Vehicle to Infrastructure)

4 总体要求

4.1 系统总体架构

网联自动驾驶汽车协同编队控制总体框架如图1所示，包括以下五个主要部分组成：

- a) 车路感知子系统：由车路感知设备（如摄像头、激光雷达、毫米波雷达、雷视一体机）和路侧计算单元（如RSU、边缘计算单元）组成；
- b) 编队规划子系统：由队形管理模块和轨迹规划模块组成；
- c) 协同控制子系统：由协同控制模块和控制执行模块组成；

- d) 通信子系统：由车车通信模块和车路通信模块组成；
- e) 安全子系统：由终端安全要求、通信安全要求、网络安全要求和数据安全要求组成。

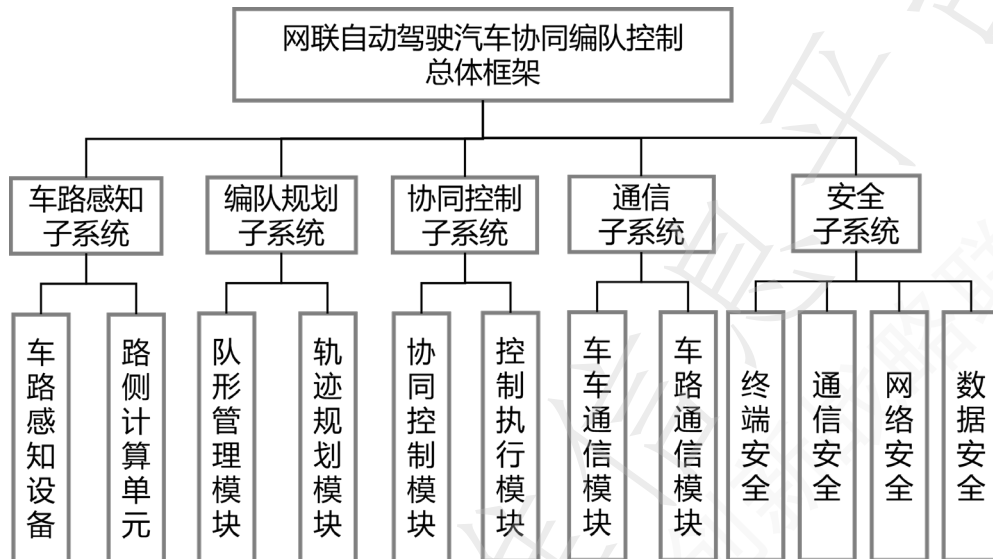


图1 网联自动驾驶汽车协同编队控制总体框架图

5 功能要求

5.1 车路感知子系统功能

5.1.1 车路感知设备

车路感知设备可实现对道路与交通参与者的信息采集与预处理。车路感知设备的功能应在满足TMAC 066—2023、YD/T 4770—2024、GB/T 44417—2024等相关标准的基础上符合如下要求：

- a) 可通过摄像头、激光雷达、毫米波雷达等感知设备采集环境数据，并输出统一时间戳与设备位姿信息；
- b) 可完成数据的预处理，可以包括去畸变、滤波、编码和压缩等；
- c) 可通过接口向路侧计算单元或RSU发布数据，支持发布、订阅等交互方式，数据交互要求应满足T/ITS 0058—2017等标准。

5.1.2 路侧计算单元

路侧计算单元可对感知设备获取的数据进行协同处理与融合。路侧计算单元的功能应在满足TMAC 066—2023、YD/T 4770—2024、GB/T 44417—2024等相关标准的基础上符合如下要求：

- a) 可对来自不同设备与车端的数据进行时空同步；
- b) 可通过边缘计算单元实现对道路交通参与者（包括汽车、行人等）的检测、分类与目标跟踪，输出目标轨迹，数据交互格式应按照T/CSAE 158—2020等标准进行交互；
- c) 可语义标注道路要素，包括车道线、交通标志、交通信号、护栏及静态障碍物等；
- d) 可将检测结果、事件信息等数据按照T/ITS 0058—2017等标准进行交互。

5.2 编队规划子系统功能

5.2.1 队形管理模块

队形管理模块可依据任务需求、道路条件与交通状态，完成编队形态与跟随汽车的组织与维护。队形管理模块的功能应在满足T/ITS 0113.2-2019等相关标准的基础之上符合如下要求：

- a) 可创建或解散编队，完成编队规模、纵横向布置的配置；
- b) 可根据交通密度、道路几何与限速等约束，调整编队间距策略策略；
- c) 可完成领头汽车与跟随汽车的角色切换。

5.2.2 轨迹规划模块

轨迹规划模块可根据车路感知子系统获取的场景信息为汽车编队生成规划路径。轨迹规划模块的功能应在满足T/ITS 0113.2-2019等相关标准的基础之上符合如下要求：

- a) 可规划协同编队中汽车的轨迹，输出参考轨迹及速度曲线等，涵盖汇入、解散、换道等场景；
- b) 可根据目标要求（目标车速、到达时窗等）与环境数据对轨迹进行优化；
- c) 可将轨迹规划结果通过接口与协同控制子系统等系统进行交互。

5.3 协同控制子系统功能

5.3.1 协同控制模块

协同控制模块可在编队规划子系统输出路径信息的支撑下，完成编队汽车间的控制目标生成。协同控制模块的功能应在满足T/FJAS 016—2022等相关标准的基础之上符合如下要求：

- a) 可根据规划参考路径、速度与队形参数，生成纵向时距、间距保持与横向队形保持的控制目标，可包含期望速度、加速度等；
- b) 可组织并执行编队协同行为，包括速度同步、换道协同、汽车汇入、汽车脱离、加速、减速与紧急制动等；
- c) 可与通信子系统协作，完成协同机动的请求、许可、执行、确认等交互，并在状态变化时进行编队范围内的广播与同步；
- d) 可将生成的控制目标和约束条件输出至控制执行模块，并接收执行反馈。

5.3.2 控制执行模块

控制执行模块可将协同控制模块的控制目标转换为汽车可执行的底层指令，并完成执行监测与状态回传。控制执行模块的功能应在满足T/FJAS 016—2022等相关标准的基础之上符合如下要求：

- a) 可接收并解析参考轨迹、速度、加速度目标与约束边界，生成底层转向、驱动与制动等控制指令；
- b) 可通过汽车总线、接口与相关执行器或控制器进行交互，完成指令下发、回读，并保持与上层接口一致；
- c) 可实时监测执行器与底层控制链路的状态，并向协同控制模块回传。

5.4 通信子系统功能

5.4.1 车车通信模块

车车通信模块可通过V2V等技术实现编队汽车之间的通信。该模块的功能应在满足JT/T 1458—2023等相关标准的基础之上符合如下要求：

- a) 可支持编队状态、意图、控制指令等信息的发布与接收;
- b) 可支持发布、订阅、广播、组播与点对点通信等多种分发方式。

5.4.2 车路通信模块

车路通信模块可通过V2I等技术实现汽车与路侧设施/边缘平台之间的协同通信。该模块的功能应在满足GB/T 44417-2024、GA/T 1743-2020等相关标准的基础之上符合如下要求:

- a) 可获取并分发路侧信息,包括信号配时、路侧感知结果、道路事件与设施运行状态等;
- b) 可支持发布、订阅、广播、组播与点对点通信等分发方式,并与RSU、边缘节点协同;
- c) 可支持多接入与会话保持,含PC5近距离通信接口与Uu远距离通信接口。

6 技术要求

6.1 车路感知子系统技术要求

6.1.1 数据交互

车路感知子系统中数据交互应符合如下要求:

- a) 数据交互接口与交互内容应符合DB32/T 4846—2024等标准;
- b) 数据交互内容应满足YD/T 4770—2024等标准。可包含位置(经纬度、车道)、速度、加速度、航向角、汽车状态(制动、加速、转向)、编队状态、安全告警(碰撞预警、障碍物等)等;
- c) 数据消息和时间消息的发送频率应满足T/CSAE 53—2020、T/CSAE 157—2020、T/ITS 0118—2020等标准要求。

6.1.2 定位能力

路侧设备的定位要求应符合YD/T 6058—2024等相关标准。

6.1.3 感知能力

车路感知子系统中感知能力相关要求应满足T/ITS 0200.1—2024等相关标准。

6.2 编队规划子系统技术要求

编队规划子系统的技术要求应符合如下要求:

- a) 输入输出的规划轨迹数据与接口应与DB32/T 4846-2024等相关标准中的要求保持一致;
- b) 数据发送频率应该满足T/ITS 0113.3-2021等相关标准;
- c) 规划用到的车路交互信息集应符合JT/T 1324—2020等相关标准。

6.3 协同控制子系统技术要求

协同控制子系统的技术要求应符合GB/T 41796-2022等相关标准。

6.4 通信子系统技术要求

6.4.1 车端与车端

车端与车端之间的通信技术应满足如下要求:

- a) 车端与车端之间的数据类型、格式和交互流程应满足YD/T 3709-2020等相关标准；
- b) 车端与车端之间的数据传输、路由、网络协议等要求应满足YD/T 3707-2020等相关标准；
- c) 车载终端（如OBU等）的技术性能要求应满足JT/T 1458-2023等相关标准；
- d) 车端与车端之间的直连通信接口技术要求应满足YD/T 3340-2018等相关标准。

6.4.2 车端与路侧

车端与路侧之间的通信技术应满足如下要求：

- a) 路侧设备（如RSU等）的功能、性能及接口要求应满足YD/T 3755-2020等相关标准；
- b) 车端与路侧之间的数据类型、格式和交互流程应满足YD/T 3709-2020等相关标准；
- c) 车端与路侧之间的消息集、数据格式等要求应满足T/CSAE 53-2020等相关标准。

7 安全要求

7.1 终端安全要求

终端安全应满足如下要求：

- a) 应采取系统安全启动、安全升级、系统漏洞修复、访问点安全访问控制等防护措施保障终端自身安全；
- b) 应基于通信安全/网络安全要求，实现车路安全通信、车端/路端入侵检测能力；
- c) 路侧设备和车端设备应搭载符合国家商用密码系列标准的安全芯片，实现基于商用密码算法的密钥管理、证书管理、安全计算等密码模块功能。

7.2 通信安全要求

通信安全应满足如下要求：

- a) 针对车车、车路的V2X通信，应配建C-V2X证书系统，通过签发V2X数字证书统一表达V2X终端的身份，基于C-V2X安全通信协议采用数字签名技术保证V2X通信数据的真实性和完整性、采用匿名证书技术保证V2X终端设备隐私；
- b) 应建立基于可信根证书列表的跨域互信互认机制以及跨部门数字证书互认体系，支持跨车型、跨城市互联互通。

7.3 网络安全要求

网络安全应满足如下要求：

- a) 车端和路端设备应分别部署入侵检测与防御系统，支持防火墙功能，预置黑白名单策略，对IP、Port进行访问控制；
- b) 应支持入侵检测与防御功能，支持4G/5G/WIFI/Eth通道网络数据报文异常检测；
- c) 应支持实时检测和阻断网络异常和入侵行为；
- d) 应支持预置入侵检测策略集；
- e) 支持记录入侵检测防御日志信息。

7.4 数据安全要求

数据安全要求应满足GB/T 41871-2022、GB/T 41479-2022等相关的标准。

8 协同编队行为要求

8.1 编队场景

本文件中规定的网联自动驾驶汽车协同编队场景是基于T/ITS 0113-2019第8章中列出的场景。其中，具体的编队场景分类如表1所示。

表1 网联自动驾驶汽车的编队场景分类

场景类型	序号	场景名称
编队行为类	1	编队创建
	2	汽车汇入
	3	汽车驶离
	4	编队解散
编队行驶类	5	匀速行驶
	6	加速行驶
	7	减速行驶
	8	紧急制动
	9	变道行驶

8.2 编队行为要求

8.2.1 编队创建

8.2.1.1 场景定义

编队创建的场景是指多辆自动驾驶汽车在预设地点或运行条件下，首次建立协同编队结构，由某辆车担任领头汽车，其余汽车为跟随汽车。如图2所示。

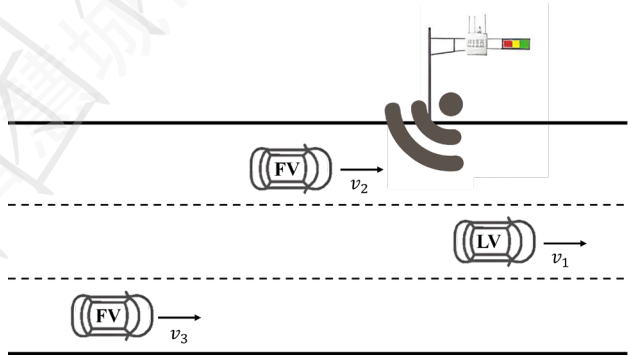


图2 编队创建场景示意图

8.2.1.2 行为要求

- a) 参与编队的汽车必须完成对自身系统功能的完整自检，自检要求应符合T/ITS 0113-2019等相关标准。只有满足全部条件的情况下才可以创建成功，否则创建失败；
- b) 领头汽车通过V2X设备向附近汽车播报编队信息，潜在跟随汽车收到编队信息之后可以申请加入；

c) 申请成功后，成为跟随汽车完成编队创建，否则仍然为潜在跟随汽车。

8.2.2 汽车汇入

8.2.2.1 场景定义

汽车汇入的场景是指某辆自动驾驶汽车在运行过程中加入现有编队，成为新的跟随汽车。如图3所示。

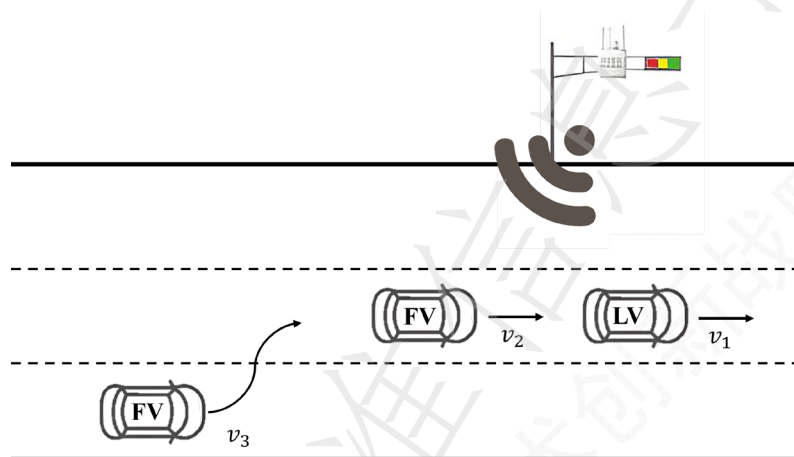


图3 汽车汇入场景示意图

8.2.2.2 行为要求

- 跟随汽车必须具备完成编队驾驶所需的基本功能自检能力。自检要求应符合T/ITS 0113-2019。只有在通过全部功能检测后，才可向领头汽车或编队管理平台发起加入申请，否则不得申请；
- 编队中的领头汽车或上级编队管理平台宜具备对加入请求进行审核与准入控制的能力；
- 跟随汽车应在加入前与前车（现有跟车）保持合理的安全车距与速度差，不得急靠或快速变道切入；
- 加入操作期间，潜在跟随汽车与目标跟随汽车应在同一车道内，不得发生“跨车道高速并线”行为。

8.2.3 汽车驶离

8.2.3.1 场景定义

汽车驶离的场景是指编队中的某一跟随汽车主动退出当前编队，恢复为自主单车控制状态的过程。如图4所示。

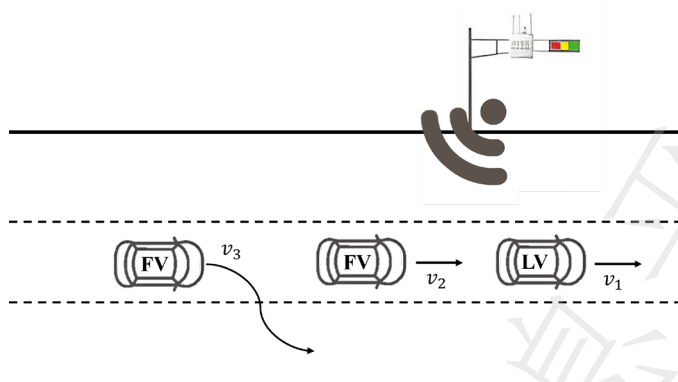


图4 汽车驶离场景示意图

8.2.3.2 行为要求

- 离队汽车应提前向领头汽车或编队规划子系统发起离开申请，说明离队原因；
- 编队系统可判断离队是否安全可行，包括是否具备合适的安全间隙供其脱离、后续汽车是否能安全重组；
- 离队应在交通流平稳、可安全并线的车道进行，禁止在隧道、匝道口、交叉口等高风险区域执行；
- 离队过程中汽车应逐步脱离队列，避免急加速或急减速；
- 离开汽车的行为不应剩余编队造成结构扰动或控制冲击。

8.2.4 编队解散

8.2.4.1 场景定义

编队解散的场景是指当编队达到任务结束条件或因道路环境不再适合编队行驶时，所有汽车同步脱离编队，恢复为独立自主汽车状态。如图5所示。

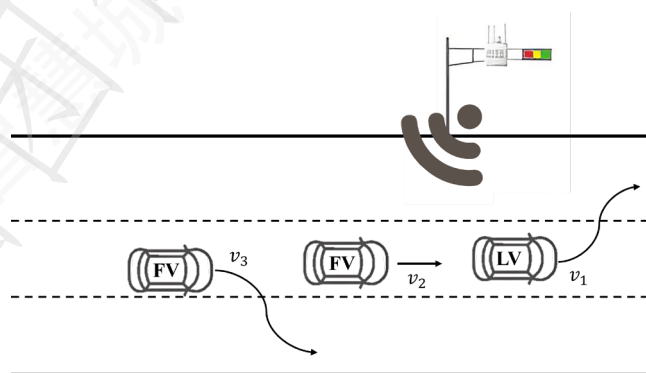


图5 编队解散场景示意图

8.2.4.2 行为要求

- 可由领头汽车统一发起解散命令，通知全部跟随汽车退出协同控制模式；
- 解散应避免在复杂路口、高速进出口等节点发生；
- 跟随汽车解散后应快速恢复本地控制系统接管，并更新其行驶路径与驾驶策略。

8.2.5 匀速行驶

8.2.5.1 场景定义

匀速行驶的场景是指编队以一致的恒定速度保持行驶的状态。如图6所示。

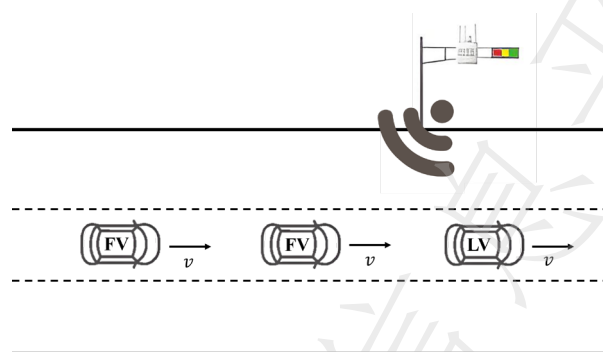


图6 匀速行驶场景示意图

8.2.5.2 行为要求

- 编队中汽车的速度应满足《中华人民共和国道路交通安全法》等相关法律与标准的要求，汽车的速度限制为 $v \leq 60\text{km/h}$ ；
- 编队汽车之间汽车速度与安全距离之间对应关系应满足GB/T 39901-2021等相关标准。

8.2.6 加速行驶

8.2.6.1 场景定义

加速行驶的场景是指编队由领头汽车带领开始加速至目标速度的行驶过程。如图7所示。

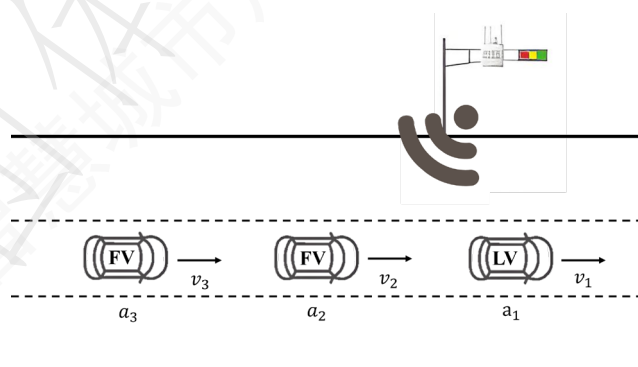


图7 加速行驶场景示意图

8.2.6.2 行为要求

- 编队中汽车的速度应满足《中华人民共和国道路交通安全法》等相关法律与标准的要求，汽车的速度限制为 $v \leq 60\text{km/h}$ ；
- 加速度应满足T/ITS0113.2-2019等相关标准要求，加速度 $\leq 2.5\text{ m/s}^2$ ；
- 编队中汽车应保持在同一车道内；

- d) 编队汽车之间汽车速度与安全距离之间对应关系应满足GB/T 39901-2021等相关标准，实际间隔与设定间隔的误差应满足T/ITS0113.2-2019等相关标准要求，可在20%以内。

8.2.7 减速行驶

8.2.7.1 场景定义

加速行驶的场景是指编队由领头汽车带领开始减速至目标速度的行驶过程。如图8所示。

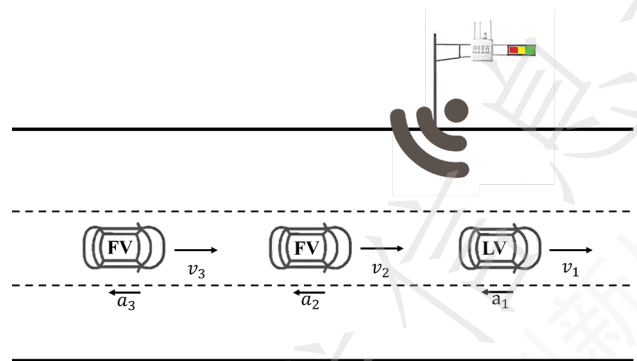


图8 减速行驶场景示意图

8.2.7.2 行为要求

- a) 编队中汽车的速度应满足《中华人民共和国道路交通安全法》等相关法律与标准的要求，汽车的速度限制为 $v \leq 60\text{km/h}$;
- b) 加速度应满足T/ITS0113.2-2019等相关标准要求，加速度 $> -2.5\text{ m/s}^2$;
- c) 编队中汽车应保持在同一车道内;
- d) 编队汽车之间汽车速度与安全距离之间对应关系应满足GB/T 39901-2021等相关标准，实际间隔与设定间隔的误差应满足T/ITS0113.2-2019等相关标准要求，可在20%以内。

8.2.8 紧急制动

8.2.8.1 场景定义

紧急制动的场景是指由于前方突发障碍、碰撞风险等紧急情导致本车道领头汽车或编队中间汽车紧急制动。如图9所示。

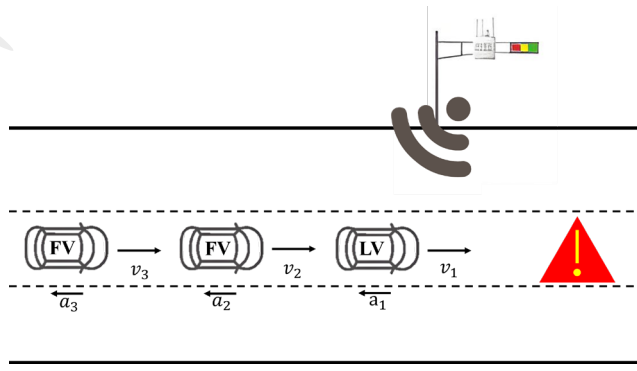


图9 紧急制动场景示意图

8.2.8.2 行为要求

- 触发条件可包括碰撞预警、障碍检测等；
- 所有汽车的最小制动时间应满足GB/T 39901-2021等相关标准；
- 编队汽车之间汽车速度与安全距离之间对应关系应满足GB/T 39901-2021等相关标准，实际间隔与设定间隔的误差应满足T/ITS0113.2-2019等相关标准要求，可在20%以内。

8.2.9 变道行驶

8.2.9.1 场景定义

变道行驶的场景是指编队或编队中单车在多车道道路上完成横向换道操作的过程。如图10所示。

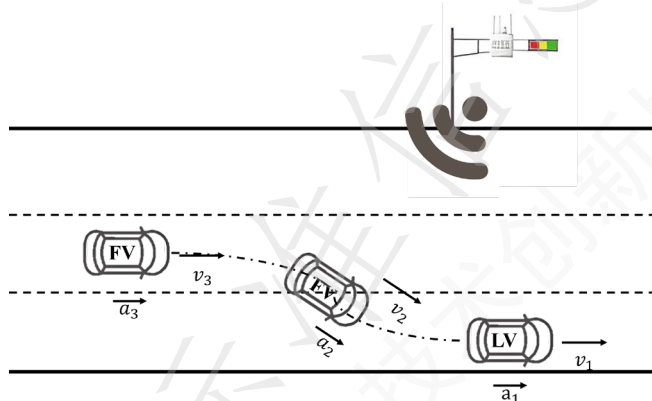


图10 变道行驶场景示意图

8.2.9.2 行为要求

- 编队变道操作应由领头汽车统一发起；
- 变道行驶速度应不超过当前车道限速；
- 编队中所有汽车在变道前和变道完成后应稳定保持在同一车道线内，禁止压线；
- 变道过程中编队应开启转向灯；
- 变道完成后，编队汽车之间汽车速度与安全距离之间对应关系应满足GB/T 39901-2021等相关标准，实际间隔与设定间隔的误差应满足T/ITS0113.2-2019等相关标准要求，可在20%以内。

参考文献

- [1] IEEE 802.11p, Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE).
- [2] ETSI EN 302 663, Intelligent Transport Systems (ITS); Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band.
- [3] SAE J2945/1_202004, On-Board System Requirements for V2V Safety Communications.
- [4] SAE J3161/1_202409, On-Board System Requirements for LTE-V2X V2V Safety Communications.
- [5] ISO 11898-2 Road vehicles-Controller area network(CAN)-Part2:High-speed medium access unit.
- [6] ISO 14955:2021, Road Vehicles – Automatic Emergency Braking Systems (AEBS).
- [7] SAE J1939:2016, Commercial Vehicle Control Area Network (CAN) Communications Protocol.