

智能网联道路系统分级 定义与解读报告

Classification and Definition for Connected Automated Highway (CAH) Systems

中国公路学会自动驾驶工作委员会

2019 年 11 月

版权说明

本报告版权属于中国公路学会自动驾驶工作委员会，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本报告文字或者观点的，应注明“来源：中国公路学会自动驾驶工作委员会”。违反上述声明者，中国公路学会自动驾驶工作委员会将追究其相关法律责任。

智能网联道路系统分级定义与解读报告

发布系列：

- I. 整体系统
- II. 智能网联道路系统（本报告）
- III. 智能车辆系统
- IV. 智能通讯系统
- V. 其它智能支撑系统

发布机构：

中国公路学会自动驾驶工作委员会

编写单位：

1. 东南大学-威斯康星大学智能网联交通联合研究院
2. 东南大学
3. 清华大学
4. 北京交通大学
5. 北京工业大学
6. 公安部交通管理科学研究所
7. 长安大学
8. 武汉理工大学
9. 吉林大学

写作组人员：

1. 郑 元
2. 李 深
3. 程 阳
4. 魏乐宇
5. 莫杨辉
6. 李振龙
7. 涂 强
8. 卢 佳
9. 杨 柳
10. 姚志洪
11. 陈天怡
12. 董硕煊
13. 陈志军
14. 芮一康
15. 丁 璠
16. 何永明
17. 吴浩然
18. 李小天
19. 石昆松

20. 张雨泽
21. 李彦瑾
22. 袁腾飞
23. 王一飞
24. 谢羽盟
25. 李 锐
26. 杨 帆
27. 景 鹏
28. 曲 栩
29. 李林恒
30. 易紫薇
31. 李汉初
32. 董瀚萱
33. 彭剑坤
34. 何蜀燕
35. 熊萍
36. 赵佳昊
37. Steven PARKER
38. Shawn LEIGHT
39. David NOYCE
40. Soyoung (Sue) AHN
41. Peter JIN

指导专家：

1. 翁孟勇
2. 庞 松
3. 冉 斌
4. 李克强
5. 王云鹏
6. 张 毅
7. 王长君
8. 石晓辉
9. 赵祥模
10. 陈山枝
11. 张劲泉
12. 金 凌
13. 王笑京
14. 岑晏青
15. 王 刚
16. 牛 波
17. 钟永健

1. 概述

1.1 原则与目标

交通基础设施（Transportation Infrastructure, I）是指为用户提供交通服务的物质和信息工程设施，是保证交通活动正常运行的公共服务系统，主要包括公路结构构造物（如路基、路面、桥涵、隧道等）、交通工程及沿线附属设施（如道路标志、标线、标牌等）、能源系统、通信系统、信息平台（如监控系统、传感系统、收费系统、设施专用通信信息网、交通管制、导航、路侧系统等现代化装备系统等）。

机动车辆（以下简称为“车辆”）的发展方向是实现网联化、自动化、电动化、共享化。基于此，本报告分析交通基础设施系统的发展趋势，从交通基础设施系统的信息化、智能化、自动化角度出发，结合应用场景、混合交通、主动安全系统等情况，对交通基础设施系统进行准确分级和详细定义、以及提供相关功能和术语，用于区分交通基础设施系统执行车辆的部分或全部动态驾驶任务的不同作用，并对其内容进行详细的解析。

交通基础设施系统的信息化（包括数字化和网联化）是指以检测、通讯、网络等技术为基础，将交通信息保存至数据库中，并传递给驾驶员、车辆和交通管理部门，为其决策和控制提供信息辅助；交通基础设施系统的智能化是指在信息化和人工智能等技术的支持下，交通基础设施具有主动满足驾驶需求的属性，可以进行部分驾驶决策和控制；交通基础设施系统的自动化是指在车辆驾驶过程中，交通基础设施能够在没有人参与的情况下，通过协同感知、预测、决策和控制，实现预期的驾驶目标。

本报告不提供技术规范，或以其他方式强制要求交通基础设施系统的信息化、智能化和自动化。

本报告是根据以下指导原则进行制定：

- 具有描述性和信息性而非规范性；
- 提出功能定义；
- 与当前的行业惯例保持一致；
- 在可行的范围内与现有技术保持一致；
- 跨学科的，包括工程（交通、车辆、通讯、计算机等）、法律、媒体、公共话语等学科；
- 明确且具有说服力，避免含糊不清的定义和术语。

本报告中交通基础设施系统的分级可以提供以下用途：

- 明确交通基础设施等级与车辆自动化等级的耦合关系；
- 在动态驾驶任务中，明确交通基础设施、车辆和驾驶员的角色；
- 在指定法律、政策、法规和标准时，划分其工作范围；

- 为推动交通基础设施信息化、智能化、自动化的规范和技术要求提供有用的框架；
- 为交通基础设施信息化、智能化、自动化的主题提供清晰和通用的术语和简写。

1.2 研究范围

本报告基础设施系统的覆盖范围为无信息化/无智能化/无自动化（I0 级）至基于交通基础设施的完全自动驾驶（I5 级）。本报告还提供附加的支撑性术语和定义，用于进一步补充等级定义与解读的释义。

本报告提及的动态驾驶任务过程中涉及三个主要参与者：驾驶员（人），车辆系统（人工驾驶和自动驾驶模式）和交通基础设施系统。驾驶员指驾驶和控制车辆的人。车辆系统可以分为人工驾驶和自动驾驶模式，人工驾驶模式是指由驾驶员控制车辆完成驾驶任务，自动驾驶模式是指由车辆或交通基础设施系统接管和控制车辆完成驾驶任务。交通基础设施系统由上述界定的内容组成，不限于道路系统。交通基础设施系统可以为车辆（例如处理模块）提供共享硬件和软件组件。

本报告提及的交通基础设施系统等级定义主要考虑以下方面，包括：信息化水平（数字化和网联化）、智能化水平（交通运营与管理）、自动化水平（辅助驾驶和自动驾驶）、应用场景（时间和空间）、混合交通（车辆自动化等级）、主动安全系统（安全预警、避险与防撞）。本报告所定义的交通基础设施系统等级能够适用于描述任何给定的情况下的动态驾驶任务特征，交通基础设施系统允许不同等级的动态驾驶任务特征的出现，并根据参与者在动态驾驶任务中所体现的特征决定交通基础设施系统所处的等级。

本报告提及的交通基础设施系统的等级定义参考三个参与者在驾驶过程中的具体表现作用，主要考虑参与者的预期表现，而不是参与者的实际表现。本报告提及的主动安全系统，例如电子稳定性控制和自动紧急制动，指在潜在的紧急或危险情况下提供驾驶干预。并且主动安全系统在不同定义等级下对应不同干预操作者，即驾驶员和交通基础设施系统在不同等级情况下可以完成干预。

2. 定义与解析

2.1 分级定义

分级	信息化（数字化/网联化）	智能化	自动化	服务对象	应用场景	接管
I0	无	无	无	驾驶员	无	驾驶员
I1	初步	初步	初步	驾驶员/车辆	多数	驾驶员
I2	部分	部分	部分	驾驶员/车辆	部分场景	驾驶员
I3	高度	有条件	有条件	驾驶员/车辆	专用道在	驾驶员

					内的主要道路	
I4	完全	高度	高度	车辆	特定场景/区域	交通基础设施系统
I5	完全	完全	完全	车辆	全部	交通基础设施系统

I0: 无信息化/无智能化/无自动化

传统道路信息管理方式，即交通基础设施与单个车辆系统之间无信息交互。

I1: 初步数字化/初步智能化/初步自动化

交通基础设施具备微观传感和基础预测功能，可以支持低空间和时间解析度的交通信息服务、交通管理和驾驶辅助。

I2: 部分网联化/部分智能化/部分自动化

交通基础设施具备复杂传感和深度预测功能，通过与车辆系统进行信息交互(包括 I2X)，可以支持较高空间和时间解析度的自动化驾驶辅助和交通管理。

I3: 基于交通基础设施的有条件自动驾驶/高度网联化

高度网联化的交通基础设施可以在数毫秒内为单个自动驾驶车辆（自动化等级 1.5 及以上）提供周围车辆的动态信息和控制指令，可以在包括专用车道的主要道路上实现有条件的自动化驾驶。遇到特殊情况，需要驾驶员接管车辆进行控制。

I4: 基于交通基础设施的高度自动驾驶

交通基础设施为自动驾驶车辆（自动化等级 1.5 及以上）提供了详细的驾驶指令，可以在特定场景/区域（如预先设定的时空域）实现高度自动化驾驶。遇到特殊情况，由交通基础设施系统进行控制，不需要驾驶员接管。

I5: 基于交通基础设施的完全自动驾驶

交通基础设施可以满足所有单个自动驾驶车辆（自动化等级 1.5 及以上）在所有场景下完全感知、预测、决策、控制、通讯等功能，并优化部署整个交通基础设施网络，实现完全自动驾驶。完成自动驾驶所需的子系统无需在自动驾驶车辆设置备份系统。提供全主动安全功能。遇到特殊情况，由交通基础设施系统进行接管控制，不需要驾驶员参与。

2.2 分级解析

(a) I0: 无信息化/无智能化/无自动化

交通基础设施无监测和传感功能,由驾驶员全程控制车辆完成驾驶任务和处理特殊情况。

(b) I1: 初步数字化/初步智能化/初步自动化

交通基础设施系统能够将交通基础设施的静态信息数字化并进行储存,交通基础设施感知设备能实时获取连续空间的车辆和环境等动态数据,自动处理非结构化数据,并结合历史数据实现车辆行驶的短时、微观预测。

各种类型数据之间无法有效融合,信息采集、处理和传输的时延明显。

交通基础设施感知信息和预测结果可实时提供给车辆,辅助车辆自动驾驶。例如,提供信息服务和主动交通管理服务(ATM)(可变情报板(VMS)、可变限速(VSL)等)。

交通基础设施向车辆系统进行单向传感。

(c) I2: 部分网联化/部分智能化/部分自动化

除了 I1 中提供的功能外,可以实现交通基础设施等静态数据在时空上的连续监测和更新,具备更高精度的车辆运动检测传感功能。

数据之间能够高度融合,信息采集、处理和传输的时延低。部分数据可以在车辆与车辆之间、车辆与交通基础设施之间信息共享。

道路系统能够根据感知信息进行长期预测和深度分析,优化车辆驾驶决策。

道路和车辆之间能够进行实时信息交互,即道路系统依托 I2X 通信为车辆提供横向和纵向控制的建议或指令,同时,车辆向道路反馈其最新规划决策信息。例如,高级辅助驾驶系统(ADAS)(自适应巡航系统(ACC)、车道保持辅助(LKA)、自主紧急制动系统 AEB 等)。

在有限场景内,交通基础设施系统可以对自动驾驶车辆进行接管与控制,实现限定场景的自动化驾驶,但遇到特殊情况,需要驾驶员接管自动驾驶车辆进行控制。

(d) I3: 基于交通基础设施的有条件自动驾驶/高度网联化

交通基础设施在此等级时,已经具备一定的信息化和智能化,同时以此为基础,在交通基础设施覆盖的道路上可以支持单个自动驾驶车辆的自动化驾驶。

交通基础设施可以在数毫秒内为单个自动驾驶车辆提供周围车辆的动态信息,并基于通信技术(I2X 等)将横纵方向控制指令发给单车以实现单车自动驾驶。其中要求自动驾驶车辆的自动化等级达到 1.5 或以上,即交通基础设施系统可以实现对自动驾驶车辆进行横向和纵向的控制。

自动化等级 1.5 是指其自动化功能位于 SAE 定义的第 I 等级与第 II 等级之间,简述为自动化 1.5 等级。

如果是严格的物理隔离的专用车道,即车道中没有不受控制的自动驾驶车辆,

那么交通控制中心可以完全控制所有的自动驾驶车辆，适当调配，以达到全局优化。如果是专用车道中仍有普通车辆，交通控制中心可以做出一定程度调配所覆盖路网中的可以调配的车辆，以达到一定程度的全局优化。

在包括专用车道的主要道路场景中，交通基础设施系统对自动驾驶车辆进行接管与控制，完成车辆的感知、预测、决策、控制等功能，实现限定场景的自动化驾驶。但遇到特殊情况，需要驾驶员接管自动驾驶车辆进行控制。

(e) I4: 基于交通基础设施的高度自动驾驶

交通基础设施可以在数毫秒内为单个自动驾驶车辆提供周围车辆的动态信息和横、纵方向控制指令。其中要求自动驾驶车辆的自动化等级达到 1.5 或以上，即交通基础设施系统可以实现对自动驾驶车辆进行横向和纵向的控制。

交通控制中心可以做出更优的调配所覆盖路网中的车辆，以达到更好的全局优化。

在特定场景/区域（如预先设定的时空域）混合交通场景下，交通基础设施系统对自动驾驶车辆进行接管与控制，完成车辆的感知、预测、决策、控制等功能，实现限定场景的高度自动化驾驶。混合交通是指由自动化等级达到 1.5 或以上的自动驾驶车辆和自动化等级小于 1.5 的自动驾驶车辆组成。遇到特殊情况，由交通基础设施系统进行控制，不需要驾驶员接管。

(f) I5: 基于交通基础设施的完全自动驾驶

交通基础设施可以在数毫秒内为所有场景中的单个自动驾驶车辆提供周围车辆的动态信息和横、纵方向控制指令。其中要求自动驾驶车辆的自动化等级达到 1.5 或以上，即交通基础设施系统可以实现对自动驾驶车辆进行横向和纵向的控制。

交通控制中心可以完全控制所有的自动驾驶车辆，以达到更好的全局优化，并且可以优化部署交通基础设施的整个网络。

在所有场景下，交通基础设施系统对自动驾驶车辆进行接管与控制，完成车辆的感知、预测、决策、控制等功能，实现全场景的完全自动化驾驶。混合交通是指由自动化等级达到 1.5 或以上的自动驾驶车辆和自动化等级小于 1.5 的自动驾驶车辆组成。完成自动驾驶所需的子系统不需在自动驾驶车辆设置备份系统。提供全主动安全功能。遇到特殊情况，由交通基础设施系统进行控制。

3. 术语附录

附表 1 名词术语

No.	Terms		Abbreviation
1	Society of Automotive Engineers International	国际汽车工程学会	SAE
2	Infrastructure	基础设施	I
3	Infrastructure to Everything	基础设施连接一切	I2X

No.	Terms		Abbreviation
1	Society of Automotive Engineers International	国际汽车工程学会	SAE
2	Infrastructure	基础设施	I
4	Active Traffic Management	主动交通管理	ATM
5	Variable Speed Limit	可变限速控制	VSL
6	Variable Message Sign	可变情报板	VMS
7	Advanced Driver Assistance System	高级驾驶辅助系统	ADAS
8	Adaptive Cruise Control	自适应巡航控制	ACC
9	Lane Keeping Assistance	车道保持辅助	LKA
10	Autonomous Emergency Braking	自主紧急制动系统	AEB

4. 参考文献

1. 国际自动机工程师学会 (Society of Automotive Engineers, “SAE”), 标准道路机动车驾驶自动化系统分类与定义[S], SAE J3016(TM).
2. Ran B., Cheng Y., Li S., Ding F., Jin P., Chen X., and Zhang Z. Connected Automated Vehicle Highway Systems and Methods. US Patent No. 10,380,886, 2018.
3. Ran B., et al. Intelligent Road Infrastructure System (IRIS): Systems and Methods. U.S. Patent Application No. 16/267,836, 2019.
4. 冉斌, 谭华春, 张健, 曲栩. 智能网联交通技术发展现状及趋势[J]. 汽车安全与节能学报, 2018, 9(02): 5-16.
5. 张毅, 姚丹亚. 基于车路协同的智能交通系统体系框架[M], 电子工业出版社, 2015.
6. 中国公路学会自动驾驶工作委员会. 《车路协同自动驾驶发展报告》. 2019 年 6 月 14 日.
7. 李克强, 戴一凡, 李升波等. 智能网联汽车 (ICV) 技术的发展现状及趋势[J]. 汽车安全与节能学报, 2017, 8(1): 1-14.