

车路协同自动驾驶系统 分级与智能分配 定义与解读报告

Taxonomy and Definition for Collaborative Automated Driving (CAD) Systems and Driving Intelligence Allocation

（征求意见稿 版本 1.0 ）

中国公路学会自动驾驶工作委员会
中国公路学会自动驾驶标准化工作委员会
2020 年 10 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。

车路协同自动驾驶系统 分级与智能分配 定义与解读报告

发布系列：

- I. 车路协同自动驾驶系统（本报告）
- II. 智能网联道路系统（2019年9月21日发布）
- III. 智能网联汽车系统
- IV. 智能通信系统
- 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
中国公路学会自动驾驶标准化工作委员会

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. 大连理工大学
5. 北京交通大学
6. 北京工业大学
7. 公安部道路交通安全研究中心
8. 长安大学
9. 武汉理工大学
10. 吉林大学

写作组人员：

1. 李 深
2. 郑 元
3. 张明恒
4. 李林恒
5. 程 阳
6. 莫杨辉
7. 李汉初
8. 芮一康
9. 陈志军
10. 李 锐
11. 顾海燕
12. 郭戎格
13. 谢羽盟

14. 曲 栩
15. 丁 璠
16. 燕孟华
17. 甘 婧
18. 刘宏杰
19. 闫兆进
20. 陈 灿
21. 张 鹏
22. 叶毅铭
23. 魏乐宇
24. 李振龙
25. 涂 强
26. 卢 佳
27. 杨 柳
28. 姚志洪
29. 陈天怡
30. 董硕煊
31. 何永明
32. 吴浩然
33. 李小天
34. 石昆松
35. 张雨泽
36. 李彦瑾
37. 袁腾飞
38. 王一飞
39. 王雪梅
40. 张欣环
41. 景 鹏
42. 易紫薇
43. 彭剑坤
44. 何蜀燕
45. 熊萍
46. 赵佳昊
47. Steven PARKER
48. Shawn LEIGHT
49. David NOYCE
50. Soyoung (Sue) AHN
51. Peter JIN

指导专家:

1. 翁孟勇
2. 傅志寰
3. 卢春房

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

1. 概述

1.1 原则与目标

车路协同自动驾驶系统是指从信息化、智能化、协同化以及集成化四个维度构建的，利用先进的传感技术、网络技术、计算控制技术及人工智能技术等，能够高效和协同的执行车辆和道路的感知、预测、决策和控制功能，最终形成一个能够整合、协调、控制、管理和优化所有车辆、信息服务、设施设备、智能化交通管理的以智能网联技术为核心的新一代智能交通系统。本报告将聚焦于智能网联汽车的自动驾驶功能实现，分别对车路协同自动驾驶系统中的信息感知和决策控制等方面进行详细的解析。

车路协同自动驾驶系统的信息化是指以检测、通信、网络等技术为基础，全方位实现车-车、车-路实时动态信息交互，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。

车路协同自动驾驶系统的智能化是指系统基于交通环境信息，通过多学科交叉融合，采用先进的信息技术、数据通信传输技术、传感控制技术、计算机处理技术以及系统综合技术等，实现预期的车辆自动驾驶功能目标。伴随车路协同智能化水平的提升，自动驾驶决策、控制等功能也将在一定程度上增强和优化。

车路协同自动驾驶系统的协同化是指系统能在全时空动态交通信息采集与融合的基础上实现车辆的自动驾驶功能，充分体现“人-车-路”的有效协同，同时能够在不同尺度的交通层级（宏观、中观、微观），实现不同时空尺度的信息融合，进而保证交通安全，提高通行效率。其中，协同化在信息感知层面上体现为：系统能够通过汇聚以及协同分析智能网联汽车和智能网联道路系统中众多感知单元的传感数据实现对实际交通全时空多场景下的交通信息感知；协同化在决策层面上体现为：系统以车辆的安全、舒适、节能、高效为目标，通过协同感知得到的交通信息，为智能网联汽车提供合理的决策方案；协同化在控制层面上体现为：在协同感知、决策的基础上，实现对不同智能网联汽车/列队的路径规划和最优控制。

车路协同自动驾驶系统的集成化是指以实现车辆自动驾驶为目的，将可实现的智能网联道路系统与智能网联汽车的相关软硬件设备和具体功能进行集成设计。

本报告不提供技术规范，或以其他方式强制要求车路协同自动驾驶系统的信息化、智能化、协同化和集成化。

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、通信、计算机、系统集成）、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。

本报告中车路协同自动驾驶系统的分级可以提供以下用途：

- 明确车路协同自动驾驶系统等级与道路设施智能化等级和车辆智能化等级的耦合关系；
- 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；
- 为推动车路协同自动驾驶系统信息化、智能化、协同化、集成化的规范和技术要求提供有用的框架；
- 为车路协同自动驾驶系统智能化、自动化、集成化的主题提供清晰和通用的术语和简写。

1.2 研究范围

车路协同自动驾驶系统分别从微观、中观和宏观三个层面考虑自动驾驶系统的分级、功能组成和智能分配问题。以实现智能网联汽车的自动驾驶为目标，本报告覆盖范围为无信息化/无智能化/无协同化/无集成化（S0级）、初步信息化/初步智能化/初步协同化/初步集成化（S1级）、部分信息化/部分智能化/部分协同化/部分集成化（S2级）、高度信息化/高度智能化/高度协同化/有条件集成化（S3级）完全信息化/完全智能化/完全协同化/高度的系统集成化（S4级）以及完全信息化/完全智能化/完全协同化/完全系统集成化（S5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四个主要参与者：驾驶员（指驾驶和控制车辆的人），智能网联汽车系统（人工驾驶和自动驾驶模式；网联自动驾驶汽车和非网联自动驾驶汽车），智能网联道路系统和车路协同自动驾驶系统。智能网联汽车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智能网联道路系统接管和控制车辆完成驾驶任务，网联自动驾驶汽车是智能网联汽车与车联网的有机结合，能够使车辆实现智能网联功能，非网联自动驾驶汽车是指仅通过单车智能手段实现自动驾驶的车辆，车辆彼此之间无法进行通信。智能网联道路系统可以为车辆（例如处理模块）提供共享硬件和软件组件。自动驾驶汽

车接受车路协同自动驾驶系统的智能调度,将交通出行打造成信息化、智能化、协同化、集成化的有机整体。

本报告提及的车路协同自动驾驶系统等级定义主要考虑以下方面,包括:信息化水平(为车辆决策和控制提供信息辅助)、智能化水平(满足道路车辆的自动驾驶任务和功能)、协同化水平(各功能子系统间的交互与耦合)、集成化水平(软硬件设施的集成)、应用场景(时间、空间和环境)、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)、车辆接管(紧急状态下接管权转换)。本报告所定义的车路协同自动驾驶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,车路协同自动驾驶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以及所处的不同的智能网联道路等级决定车路协同自动驾驶系统所处的等级。

2. 定义与解析

2.1 分级定义

分级	名称	系统特征*				系统协同主导	接管	系统应用场景
		信息化	智能化	协同化	集成化			
S0	人工驾驶	无	无	无	无	智能网联汽车	用户	n/a
S1	驾驶辅助	初步	初步	初步	初步	智能网联汽车	用户	部分
S2	部分自动驾驶	部分	部分	部分	部分	智能网联汽车/ 智能网联道路	用户	部分
S3	有条件自动驾驶	高度	高度	高度	有条件	智能网联汽车/ 智能网联道路	用户	部分
S4	高度自动驾驶	完全	完全	完全	高度	智能网联汽车/ 智能网联道路	系统	部分
S5	完全自动驾驶	完全	完全	完全	完全	智能网联汽车/ 智能网联道路	系统	全部

*系统特征的表述可根据发展进程继续深化

a) S0: 无信息化/无智能化/无协同化/无集成化

目前使用的传统的交通系统，即车辆与道路之间没有信息交互，无法通过车路协同实现自动化驾驶；

b) S1:初步信息化/初步智能化/初步协同化/初步集成化

车路协同自动驾驶系统具备初步的信息化、智能化、协同化和集成化。可提供智能网联汽车的驾驶辅助功能，自动驾驶系统的协同功能实现以智能网联汽车为主，系统具备协同感知功能，当发生协同自动驾驶系统无法处理的工况时，由用户对车辆进行接管控制。

c) S2: 部分信息化/部分智能化/部分协同化/部分集成化

车路协同自动驾驶系统具备部分的信息化、智能化、协同化、集成化，能够具备协同感知决策能力，可提供智能网联汽车的部分自动驾驶功能，自动驾驶系统的协同功能实现以智能网联汽车或智能网联道路为主，当发生协同自动驾驶系统无法处理的工况时，由用户对车辆进行接管控制。

d) S3: 高度信息化/高度智能化/高度协同化/有条件的系统集成化

车路协同自动驾驶系统具备高度的信息化、智能化、协同化，系统能够具备协同感知、预测、决策和控制的能力，具备有条件的系统集成化，可提供智能网联汽车有条件的自动驾驶功能，自动驾驶系统的协同功能实现以智能网联汽车或智能网联道路为主，当发生协同自动驾驶系统无法处理的工况时，由用户对车辆进行接管控制。

e) S4: 完全信息化/完全智能化/完全协同化/高度的系统集成化

车路协同自动驾驶系统具备完全的信息化、智能化、协同化，系统能够具备一体化能力，具备高度的系统集成化，可提供智能网联汽车高度自动驾驶功能，自动驾驶系统的协同功能实现以智能网联汽车或智能网联道路为主，当发生协同自动驾驶系统无法处理的工况时，由系统对车辆进行接管控制。

f) S5: 完全信息化/完全智能化/完全协同化/完全系统集成化

车路协同自动驾驶系统具备完全的信息化、智能化、协同化和集成化，可提供智能网联汽车完全的自动驾驶功能，自动驾驶系统的协同功能实现以智能网联汽车或智能网联道路为主，当发生协同自动驾驶系统无法处理的工况时，由系统对车辆进行接管控制。

2.2 分级解析

a) S0: 无信息化/无智能化/无协同化/无集成化

交通系统仅满足车辆出行的基本需求，车辆驾驶完全依赖于驾驶员的人工操作，路侧设备不具有检测和传感功能，车辆之间、车辆与道路设施之间没有实质的信息交互行为。

b) S1: 初步信息化/初步智能化/初步协同化/初步集成化

系统有能力将智能网联道路设施感知得到的道路交通信息进行数字化存储，有能力融合部分智能网联道路设施与智能车载设备获取的数据，进而实现一些车辆级别的简单自动驾驶功能，由于该级别下无法有效融合所有类型的道

路交通信息，并且在信息传输过程中存在低速率、高时延等问题，因此仅能实现系统在感知层面上的初步协同化；在该阶段下，仅有能力针对单一功能系统中的软硬件设施进行集成。

c) S2：部分信息化/部分智能化/部分协同化/部分集成化

在 S1 系统的基础上，能够实现多种静态和动态数据在时空上的连续监测和更新，能够具备更高精度的车辆动态运动信息检测功能，能够有能力对更多种类的道路交通信息进行检测。多种交通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、车辆与智能网联道路设施之间信息共享，通过多种功能的系统的有效集成能够使车辆具备在复杂交通环境下进行自动驾驶的功能；该阶段下，仅能够保证固定节点上达到协同效果，能够进行全时空动态交通环境信息的感知，以及后续的数据融合、状态预测和行为决策等功能，其主要体现在系统参与者对环境信息的全面采集以及驾驶决策层面；有能力针对部分功能系统中的软硬件设施进行集成。

d) S3：高度信息化/高度智能化/高度协同化/有条件的系统集成化

在系统达到 S3 级别时，已经具备了一定智能化水平，在该阶段下，道路上各类基本的交通信息都能够被系统融合，系统通过通信设备能够使得融合后的信息在车辆与车辆之间、车辆与智能网联道路设施之间进行毫秒级别的交互，因此系统能够预见性的处理道路上的各类事件；系统可以完全控制多个自动驾驶车辆，能够在复杂交通环境下完成对多辆智能网联汽车的协同感知、决策、控制等功能，适度调配车辆以达到全局优化；通过串联多个节点上的集成功能，系统能够有能力完成对一定距离路段内所有自动驾驶系统的软硬件设施进行集成。

e) S4：完全信息化/完全智能化/完全协同化/高度的系统集成化

S4 级别下的系统中，从微观控制角度出发，系统可以在数毫秒内为路网内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；从宏观路径

规划角度出发，系统能够基于路网交通信息，为自动驾驶车辆提供优化后的路径规划方案，系统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。在复杂交通环境下，系统能够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、控制等系统一体化协同功能，实现高度智能化的自动驾驶任务，通过整合多个路段内的集成功能，能够在部分路网级别层面内所有自动驾驶系统的软硬件设施进行集成。

f) S5: 完全信息化/完全智能化/完全协同化/完全系统集成化

系统达到完全的自动化水平，系统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，并且可以优化部署整个网络。系统中能够对所有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。该系统有能力融合所有类型的交通信息，可以执行所有情形下的自动驾驶任务，由于系统具备高度智能化水平，并且有能力进行全部路网内所有软硬件设施的集成，因此不需要自动驾驶车辆自身具备高等级的智能水平，简化车载设备的加装。

3. 系统驾驶功能的智能分配

3.1 系统智能分配定义

系统的智能分配指的是对于具备一定信息化、智能化、协同化和集成化特征的车路协同自动驾驶系统，能够智能化分配和分发自动驾驶系统的关键功能（如感知、预测、决策、控制等）以及相应系统资源的优化方法，从而高效地执行和完成多场景下的动态自动驾驶任务，进一步提高整个系统的安全、效率和可靠性。

系统的智能等级依靠于两个维度，分别是车辆智能化和智能网联道路系统智能化，可以由下面的公式来表达：

$$S = f(V, I)$$

式中：

S 表示车路协同自动驾驶系统的智能等级，V 表示车辆智能化等级，I 表示智能网联道路智能化等级。该公式为非线性函数，在公示中车辆智能化等级、智能网联道路系统的智能化等级与车路协同自动驾驶系统的智能等级的组合是离散的。

3.2 系统智能分配解析

系统的智能分配是依托具备感知、通信和控制组件等设备及相关技术的智能网联汽车和智能网联道路系统为载体，将具有一定信息化、智能化、协同化和集成化的车路协同自动驾驶系统的驾驶功能和智能元素进行分配和分发，以提供一种车路协同自动驾驶系统在执行动态驾驶任务和动态驾驶任务接管的智能分配方法。实现交通和车辆系统的安全和效率，进而实现更优化的车路协同自动驾驶系统的车辆运营与控制，提供一个更加安全、可靠、高效的交通控制和管理解决方案。

如图 1 和表 1 所示，系统等级具有不同的智能网联汽车等级和智能网联道路等级的智能分配情况。

图表中的智能网联汽车等级参考国际自动机工程师学会（SAE International Society of Automotive Engineers）的机动车驾驶自动化分级，其中 V1.5 是指车辆的智能化水平介于 V1 与 V2 之间，具备基本的辅助驾驶功能，车辆可以依靠智能网联道路系统获取相关决策与控制指令等信息。智能网联道路系统等级参考 2019 年中国公路学会发布的《智能网联道路系统分级定义与解读报告》（征求意见稿）。

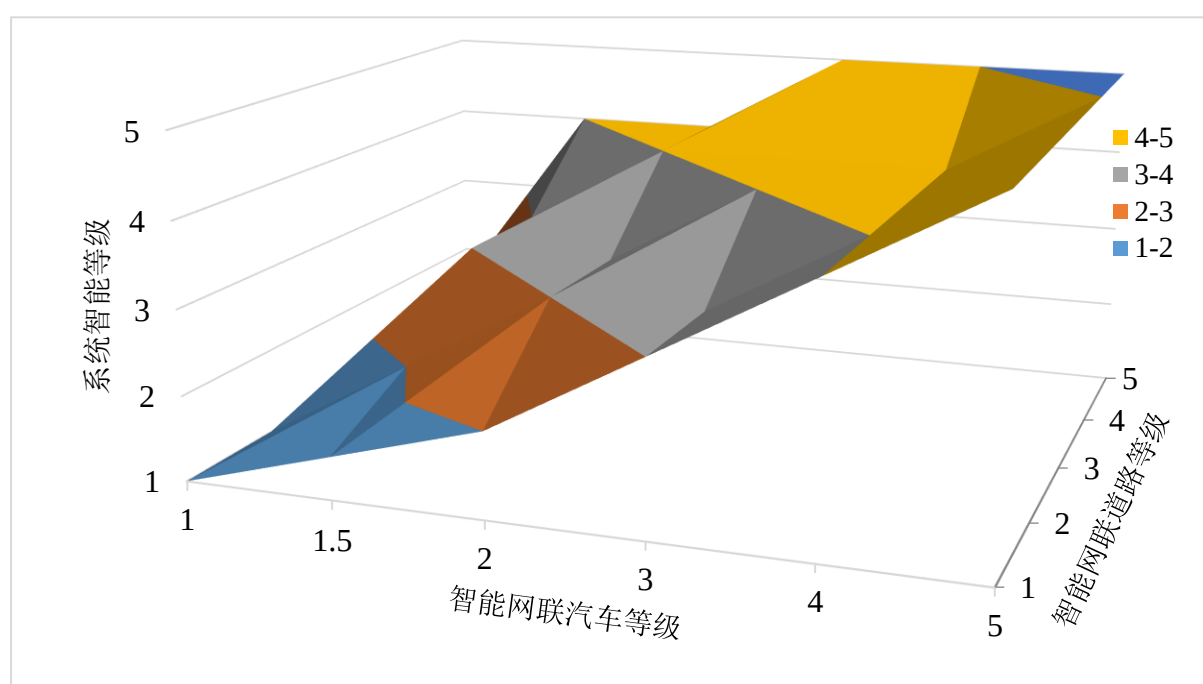


图 1 系统智能组合图

表 1 系统智能组合表

系统智能等级		智能网联汽车等级					
		1	1.5	2	3	4	5
智能网联道路等级	1	1	1.5	2	3	4	5
	2	1	2	3	3	4	5
	3	1	3	3	4	4	5
	4	1	3	4	4	4	5
	5	1	4	4	5	5	5

系统的关键智能化功能包括感知、预测、决策和控制，主要基于以下维度来实现：

1) 智能网联汽车维度；2) 智能网联道路系统维度；3) 系统维度。系统管理任一在各个维度下不同智能等级组合的功能和智能，系统接入任一维度的一个特定智能化等级，并选择恰当的功能和智能，以优化管理在此条件下的道路设施和车辆运营。

系统维度取决于两个维度：1) 智能网联汽车；2) 智能网联道路系统，用如下公式表示：

$$S_n = f(V_n^c, I_n)$$

式中，S 为系统智能化，V 为智能网联汽车，I 为智能网联道路系统，该公式中 V，n 为智能等级，c 为不同汽车类型，I 与 S 的函数关系是非线性的。系统智能分配适用于不同组合的智能网联汽车和智能网联道路系统。不同维度下的系统智能化等级，由系统控制组件利用不同等级的连通性和智能化程度控制车辆，系统智能分配可在不同的方法下实施，包括但不限于：

方法一：控制组件将大部分智能化功能分配、安排和分发给智能网联汽车，同时，车辆起主导地位，制定驾驶决策与控制；智能网联道路系统只提供信息补充作用，辅助完成部分简单任务，帮助车辆完成定速巡航、碰撞警示等功能。当存在任务冲突时，以系统安全指令信息为主。

方法二：控制组件将智能化功能有机地分配、安排和分发给智能网联汽车与智能网联道路系统；其中，车辆和道路系统在感知和决策层扮演同等重要的角色。智能网联道路单一设备基于本地情况辅助决策，提供车辆行驶建议。当存在任务冲突时，以系统安全指令信息为主。

方法三：控制组件将所有智能性完全依赖智能网联道路系统，车辆仅包含通信和应对指令的功能，其中，智能网联道路系统控制所有车辆，制定驾驶决策，同时发送控制指令，当存在任务冲突时，以系统安全指令信息为主。

当系统处于 S1~S3 阶段时，车路协同自动驾驶系统失效时，动态驾驶任务接管用户接管；当系统处于 S4 或 S5 阶段时，车路协同自动驾驶系统失效时，由在系统控制决策起主导作用的一方（车辆或道路系统）执行动态驾驶任务接管。

当车路协同自动驾驶系统在混合交通场景中，包括但不限于：1）混合车流，系统内的车辆由不同自动化水平（V1.5~V5）的智能网联汽车所组成；2）混合车道，系统内的道路由不同智能网联道路系统等级（I1~I5）所组成；3）混合车型，系统内由不同车辆类型组成；4）可上述三种任意组合形成的混合交通场景。系统的智能分配由系统控制组件利用不同层级的连通性和智能化程度控制混合交通流车辆，根据不同类型或智能化等级的车辆和道路，可在以上不同的方法下具体实施。

3.3 驾驶智能分配举例

S3: I3+V1.5

在 S3 系统中，I3 系统全时空在线连续追踪自动驾驶任务，为车提供感知、决策、控制等一切所需完成自动驾驶任务的信息；车根据接收到的相应信息完成自身驾驶任务。在紧急情况下，由智能网联道路系统接管车辆继续完成自动驾驶或者靠边停车等功能。此时车辆系统只需保证在 V1.5 及以上，就可使车路协同自动驾驶系统达到 S3 级别及以上。在保证智能网联道路系统 I 等级一定的前提下，整个 S 系统的等级提升来源于车辆等级 V 的提升。下面将针对 S3 系统等级下可实现的功能进行详细阐述：

1）协同感知：车路协同自动驾驶系统可实现智能网联道路系统与智能网联汽车之间的信息传输，其中智能网联道路系统**主要**承担车路协同自动驾驶系统感知功能，车辆驾驶环境动态信息主要由智能网联道路设备检测并提供。所述系统与智能网联汽车可进行毫秒级别实时通信，向车辆提供周围车辆及环境的动态信息。智能网联汽车具有**部分感知**功能，可检测车辆基本功能状况等。

2）协同预测：车路协同自动驾驶系统基于局部网络中的车辆和交通信息，从宏观角度预测短期交通状况，实现车道级交通管理策略，并向智能网联汽车传达预测结果。

3）协同决策：车路协同自动驾驶系统**主要依托于**智能网联道路系统，自动驾驶状态下的智能网联汽车自动服从智能网联道路系统的规划与决策。所述系统能够基于融合后的路网交通感知及预测信息，从全局优化的角度确定交通管控及车辆引导策略，包括车道级交通管控措施，如车道管理及可变限速控制；为能力为 V1.5 级以上自动驾驶状态车辆提供优化后的路径规划方案。

4) 协同控制：智能网联道路系统参与车辆控制。对于自动驾驶状态车辆，智能网联道路设施系统对车辆自动驾驶子系统进行接管与控制，将车辆控制指令发送给车辆，智能网联汽车执行简单的控制指令。当存在决策冲突时，车辆将采纳道路设施提供的方案。系统报告并存储冲突事件，并向交通控制中心及周边车辆提供预警。

S3: I2+V3

在该 S3 系统中，智能网联道路系统达到 I2 级别，车辆智能化达到 V3 级别。I2 级别智能网联道路系统时空上连续监测和更新交通基础设施等静态数据、本地天气等动态数据以及其它相关信息，为智能网联汽车提供完成感知、决策、控制等动态自动驾驶任务所需的信息；智能网联汽车根据驾驶任务感知自身及周边环境信息，同时从智能网联道路系统获得其余所需信息。在紧急情况下，智能网联汽车可单独完成或车路配合完成自动驾驶或者靠边停车等功能。下面将针对 S3 系统等级下可实现的功能进行详细阐述：

1) 协同感知：智能网联道路系统主要承担道路系统基础设施、天气等交通环境信息以及路段级交通状态感知任务；智能网联汽车感知自身及周边车辆驾驶环境动态信息；车路协同自动驾驶系统与智能网联道路系统和智能网联汽车可进行实时通信，对相关感知数据进行融合计算，并向智能路侧系统和智能网联汽车提供车辆及环境的动态信息。

2) 协同预测：车路协同自动驾驶系统基于局部网络中的车辆出行需求和交通状态信息，从宏观角度对交通状况进行预测，并将相关信息发送给智能网联汽车。基于路侧发送的预测信息，车辆结合自身运动状态，预测下一控制时间步长车辆的相关运动状态，并将预测结果发送至车路协同自动驾驶系统。

3) 协同决策：车路协同自动驾驶系统根据智能网联道路系统和智能网联汽车的预测信息，全时空在线跟踪系统任务，制定交通管控策略并发送至路侧系统及智能网联汽车。车辆根据自身运动状态预测结果以及接收到的交通管控策略信息，协调车辆控制决策，制定驾驶路径规划方案，同时将相关结果发送至车路协同自动驾驶系统备份。

4) 协同控制：智能网联汽车基于规划和决策信息，制定车辆下一步速度、速度、转向角等控制指令，同时发送至车路协同自动驾驶系统进行备份。智能网联道路系统根据智能网联汽车传送的控制信息，检测车辆执行结果并上报；当车辆运动状态异常时，智能网联道路系统将及时对车辆进行警示，同时对周边车辆进行预警并上报车路协同自动驾驶系统。

S3: I2+V2

在 S3 系统中，智能网联道路系统达到 I2 级别，车辆智能化达到 V2 级别，系统根据驾驶任务将智能化功能分配、安排和分发到智能网联道路系统及智能网联汽车。智能网联道路系统全时空在线连续追踪自动驾驶任务，为车辆智能化提供感知、决策、控制等一切所需完成自动驾驶任务的信息；智能网联汽车接收道路子系统分发信息，并可根据自身驾驶任务发送相应数据请求。下面将针对 S3 系统等级下可实现的功能进行详细阐述：

1) 协同感知：车路协同自动驾驶系统可实现智能网联道路系统与智能网联汽车之间的信息融合与共享，完善驾驶环境感知。驾驶环境可由安装在智能网联道路系统的传感器检测，例如超声波传感器、远程雷达等。所述系统与智能网联汽车保持实时通信，向车辆提供动态运动及静态信息。智能网联汽车具有一定基础感知功能，可检测车辆基本工况，速度、加速度等动力学参数，与周边车辆的位置关系，并在实现车辆防撞等功能。

2) 协同预测：车路协同自动驾驶系统基于覆盖范围内智能网联汽车与智能网联道路系统所检测的交通信息，可帮助智能网联道路系统计算出该范围内所有车辆的运动轨迹，并进行基础的轨迹预测。

3) 协同决策：智能网联道路系统基于预测的结果开始规划覆盖范围内车辆的控制方法，提供是否加减速等决策信息。智能网联汽车基于融合后的路网交通感知及决策信息，在自动驾驶状态下协调车辆控制决策，包括跟驰策略、车道保持决策、变道决策、汇入和汇出决策及通过路口决策，有能力为 V2 级以上自动驾驶状态车辆提供优化后的路径规划方案。

4) 协同控制：智能网联道路系统基于之前的规划和决策信息，计算车辆控制的指令，将这些指令发送给车辆，车辆根据自身驾驶条件及交通环境判断是否服从。对于接受智能网联道路指令的车辆，智能网联道路系统对车辆进行接管与控制；当车载决策单元与智能网联道路决策单元存在决策冲突时，车辆将采纳车路协同系统提供的方案，同时系统报告并存储冲突事件；对于紧急安全状况（如车载终端决策功能失效），智能网联道路系统具备控制车辆完成相应避让动作驶离危险区域，并向交通控制中心及周边车辆提供预警。

S4: I4+V3

在 S4 系统中, I4 系统不仅能够全时空在线连续追踪自动驾驶任务, 为车提供感知、决策、控制等一切所需完成自动驾驶任务的信息, 还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; 车根据自身驾驶任务获得相应所需信息。在紧急情况下, 可完全由路侧可以接管车辆继续完成自动驾驶或者靠边停车等功能。本例中车辆等级为 V3, 下面将针对 S4 系统等级下可实现的功能进行详细阐述:

1) 协同感知: 智能网联道路系统主要承担车路协同自动驾驶系统感知功能, 车辆驾驶环境动态信息主要由路侧设备检测并提供。在 I4 级别下的路侧系统可以在数毫秒内为路网内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。此时的车辆在 V3 级别下仅需具有一定基础感知功能, 可检测车辆功能状况、车辆加速度等, 并有能力与智能网联道路系统进行交互, 进而实现车辆的自动驾驶等功能。

2) 协同预测: 车路协同自动驾驶系统基于局部网络中的车辆和交通信息, 高级别的路测系统能够基于路网交通信息, 对路网交通状况等进行有效预测, 进而实现路网级交通管理策略, 缓解道路拥堵。

3) 协同决策: 车路协同自动驾驶系统主要依托于智能网联道路系统, 自动驾驶状态下的智能网联汽车自动服从智能网联道路系统的规划与决策。所述系统能够基于融合后的路网交通感知及预测信息, 从宏观路径规划角度出发, 系统能够基于路网交通信息, 为自动驾驶车辆提供优化后的路径规划方案, 系统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; 有能力为 V3 级以上自动驾驶状态车辆提供优化后的路径规划方案。

4) 协同控制: 遇到特殊情况, 由智能网联道路系统进行控制, 不需要驾驶员接管。智能网联道路系统直接对车辆进行控制。对于自动驾驶状态车辆, 路侧设施系统对车辆自动驾驶子系统进行接管与控制, 车辆将自动服从道路设施提供的指令; 当存在决策冲突时, 车辆将采纳道路设施提供的方案。系统报告并存储冲突事件, 并向交通控制中心及周边车辆提供预警, 并参与对周围车辆的合理控制以期缓解该冲突造成的影响。

4. 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（智能网联道路）	I
3	Infrastructure to Everything	基础设施连接一切	I2X
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

5. 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. SAE International, Taxonomy and Definitions for Terms Related to Cooperative Driving Automation for On-Road Motor Vehicles (J3216), May 2020.
3. 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, 2019.
4. Ran B., Cheng Y., Li S., Zhang Z., Ding F., Tan H., Wu Y., Dong S., Ye L., Li X., Chen T., Shi, K., Jin J., and Chen X. Intelligent Road Infrastructure System (IRIS): Systems And Methods, US Patent No. 10,692,365, 2020.
5. Ding F., Ran B., Cheng Y., Li S., Zhang Z., Zhou Y., Tan H., Dong S., Chen T., Li X., and Shi K. Systems And Methods For Driving Intelligence Allocation Between Vehicles And Highways, US Patent Application No. 62/669,215, Filed May 9, 2018.
6. Ran B., Cheng Y., Leight S., Parker S. (2019) Development of an Integrated Transportation System of Connected Automated Vehicles and Highways (CAVH), ITE Journal, November 2019., 37-42.
7. Ran B., Li S., Cheng Y., Chen T., Dong S., Shi K., Shi H., and Li X. Distributed Driving Systems and Methods for Automated Vehicles, U.S. Patent Application No. 62/894,703, 2019.
8. Li S., Ran B., Cheng Y., Chen T., Li X., Dong S., Shi K., Shi H., Yao Y., Yi R., Wu K., and Zhou Y. Intelligent Roadside Toolbox, U.S. Patent Application No. 63/004,551, 2020.
9. 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.
10. 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.
11. 中国公路学会自动驾驶工作委员会、自动驾驶标准化工作委员会. 《智能网联道路系

- 统分级定义及解读报告（征求意见稿）》. 2019 年 09 月 21 日.
12. 中国汽车工程学会. 《中国智能网联汽车技术路线图》. 2020 年 10 月.
 13. 中国公路学会自动驾驶工作委员会. 《车路协同自动驾驶技术发展路线图》. 2020 年 10 月.
 14. 冉斌, 何蜀燕, 程阳等. 自动驾驶专用车道自动、手动模式切换系统及其应用. 中国专利申请号/授权号: 201910279021.4.
 15. IMT-2020 (5G) 推进组. 《C-V2X 白皮书》. 2018 年 06 月.
 16. 中国智能网联汽车产业创新联盟自动驾驶地图与定位工作组. 《自动驾驶地图与定位技术产业发展报告》. 2019 年 06 月.
 17. IMT-2020 (5G) 推进组. 《车辆高精度定位白皮书》. 2019 年 10 月.
 18. 中国信息通信研究院. 《车联网白皮书》. 2018 年 12 月.
 19. 中国信息通信研究院. 《云计算发展白皮书》. 2019 年 07 月.
 20. 中国汽车工程学会. 《智能网联信息安全白皮书》. 2016 年.
 21. 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.
 22. 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.
 23. ERTRAC Working Group. Connected Automated Driving Roadmap. 2019 年 08 月 03 日.
 24. U.S. Department of Transportation. Preparing for the Future of Transportation: Automated Vehicles 3.0 (AV 3.0). 2018 年 10 月 4 日.
 25. U.S. Department of Transportation. Ensuring American Leadership in Automated Vehicle Technologies: Automated Vehicles 4.0. 2020 年 01 月 8 日.
 26. 日本国土交通省. 《自动驾驶汽车安全技术指南》. 2018 年 09 月.