

智能网联汽车坐标系标准化需求研究报告

全国汽车标准化技术委员会
智能网联汽车分技术委员会

2023年12月

目录

前言	3
1 智能网联汽车坐标系的必要性及覆盖范围	4
1.1 智能网联汽车坐标系系统的目的和意义	4
1.2 智能网联坐标系系统的研究范围	5
2 坐标系系统相关标准及发展现状	7
2.1 国际标准调研	7
2.1.1 ISO 8855: 2011	7
2.1.2 SAE J1100	7
2.1.3 国际标准调研总结	9
2.2 国内标准调研	9
2.2.1 GB/T 40429-2021	9
2.2.2 GB 11551-2014 乘用车正面碰撞的乘员保护	10
2.2.3 GB 11562-2014 汽车驾驶员前方视野要求及测量方法	11
2.2.4 GB/T 12673-2019 汽车主要尺寸测量方法	11
2.2.5 QC/T 490-2013 汽车车身制图	11
2.2.6 国内标准调研总结	11
2.3 ROS 坐标系系统介绍	12
2.4 Apollo 坐标系系统介绍	13
2.5 小结	14
3 智能网联汽车坐标系现状	16
3.1 组合导航	16
3.1.1 GNSS 模组	16
3.1.2 IMU 模组坐标系	17
3.1.3 组合导航坐标系	18

3.2 局部坐标系	18
3.3 相机	19
3.4 激光雷达	20
3.5 毫米波雷达	21
3.6 超声波雷达	22
3.7 V2X	23
4 科研中对于车体坐标的定义	25
4.1 航迹推算算法中对于自车中心位置的定义	25
4.2 目标检测算法中对于车辆位置的表达	27
5 行业调研结果汇总	29
6 标准化建议	30

汽标委智能网联汽车分委会

前言

智能网联汽车作为我国战略性新兴产业的重要组成部分，也是世界新一轮经济与科技发展的战略制高点之一，智能网联汽车的发展将极大地促进国家科技、经济、安全以及综合国力的提高。近几年，各国政府针对智能网联汽车制定了多项相关政策和标准，但是在实际工作中，坐标系方面国际和国内均不具备完善的标准体系，缺乏一套针对智能网联汽车的坐标系系统。各造车企业、地图企业、设备供应商以及配套软硬件供应商对智能网联汽车坐标系的选取和定义有着不同的理解，最终增加相关技术的沟通、开发和验证成本。

本研究报告集合行业主流技术供应商、车企、高校和第三方检测机构，通过分析行业现状和国内外标准等对智能网联坐标系标准化需求及其可行性，梳理并分析了智能网联汽车坐标系背景、相关标准及发展现状等内容。

本研究报告编制过程中，各起草单位参阅了大量材料，并借鉴了行业的部分素材，鉴于篇幅有限，这里不一一列举，仅作诚挚的感谢。

在此，再次衷心感谢参与研究报告编写的各个单位和组织：重庆长安汽车股份有限公司、中国汽车技术研究中心有限公司、重庆大学、广州导远电子科技有限公司、小米汽车科技有限公司、深圳市速腾聚创科技有限公司、中国信息通信科技集团有限公司、上海机动车检测认证技术研究中心有限公司、泛亚汽车技术中心有限公司、一汽解放汽车有限公司、一汽-大众有限公司、江铃汽车股份有限公司、北京汽车研究总院有限公司、北京智能车联产业创新中心有限公司、福特汽车（中国）有限公司、高通无线通信技术（中国）有限公司、广州高新兴网联科技有限公司、梅赛德斯-奔驰中国有限公司、华域汽车系统股份有限公司电子分公司、中国信息通信研究院。

主要编写人：康轶非、彭祥军、季国田、刘玲、吴含冰、张行、罗毅、王科、龚凡博、司徒春辉、徐鹏飞、徐娟、朴菁华、杨旻、康皓天、房家奕、郑石磊、马凌峰、王炜斌、韩宝广、刘新宇、齐海政、杨沫、张明明、顾祖飞、张文博、原燕波、党利冈、于鹏、陈艺、李翊飞、陈书平、殷悦、曾少旭、郑廷钊、韩孟核、蔡怀玉、龚正。

1 智能网联汽车坐标系的必要性及覆盖范围

1.1 智能网联汽车坐标系系统的目的和意义

智能网联汽车坐标系系统是实现多传感器融合的重要基石，是智能网联汽车对于车辆本身，周围环境以及交通参与者信息处理和信息收集的基础。目前，我们发现虽然汽车行业存在一些坐标系系统，但对于智能网联汽车而言，并没有定义一套完整的坐标系标准。针对智能网联汽车常用传感器，车载坐标系，世界坐标系的定义目前仍是空白。在这种情况下，相关技术开发方都自行定义坐标系系统，但不同理解下的智能网联汽车坐标系定义增加了沟通、开发和验证的成本。智能网联汽车的坐标系应用仍在发展中，迫切需要一套标准化的坐标系系统规范，以确保智能网联系统的可靠性、易沟通性、易维护性和可扩展性。智能网联坐标系系统的应用主要包括：

1) 定位和导航：智能网联汽车需要准确的定位信息来确定道路上的位置。坐标系的定义关键在于如何表示车辆位置和方向，包括全球坐标系（如 GNSS）和局部坐标系（如车辆或地图坐标系）。

2) 感知数据转换：智能网联汽车使用激光雷达、摄像头、雷达等感知环境。传感器通常提供相对于安装位置的坐标信息，因此坐标系的定义对于将传感器数据映射到车辆或地图坐标系中，进行多传感器融合至关重要。

3) 决策和路径规划：智能网联汽车需要在车辆当前位置下，通过感知的交通参与者制定路径和决策。坐标系定义直接影响路径规划和决策计算。

4) 数据整合和互操作性：车辆需要与其他车辆、基础设施和交通管理系统通信和互操作。坐标系的一致性和标准化对于数据整合和通信至关重要，确保不同组件间的数据传递准确、可理解。

当前坐标系的不统一现状带来了较多弊端，如下表。

表 1 坐标系不统一弊端

问题/弊端	描述
互操作性问题	不同智能网联汽车使用不同坐标系可能导致车辆间难以有效交流和共享位置信息，影响协同驾驶的可行性。
数据集成问题	不统一的坐标系增加了数据集成的复杂性，需要额外的工作将数据从一个坐标系转换为另一个，可能引入错误或不一致性。
安全风险	坐标系不统一可能导致位置误解，影响智能网联汽车的决策和控制，可能导致危险情况，如碰撞或障碍物规避失败。
法规和标准问题	缺乏统一坐标系可能导致法规和标准的不一致性，增加规范和法规制定的困难，可能引起混淆和不确定性。
用户混淆	不统一的坐标系可能使驾驶员和乘客困惑，难以理解车辆的位置和动态，降低对智能网联汽车的信任和接受度。
维护和升级复杂性	维护和升级智能网联汽车可能变得更加复杂，因为不统一的坐标系可能需要额外工程工作，以确保新硬件和软件与原有坐标系兼容。

综上所述，确保正确定义和一致理解的坐标系对于智能网联系统的性能、安全性和可靠性至关重要，也方便日后统一管理智能网联汽车数据。因此，我们展开此次“智能网联坐标系需求分析”，旨在分析坐标系系统的重要性，调研国内外坐标系系统相关标准，提供主要车载传感器坐标系定义，对坐标系的适用性进行分析。最终，得到一份较为全面的智能网联坐标系系统的现状，并为后续建立相应的国家标准打下基础。

1.2 智能网联坐标系系统的研究范围

本次坐标系研究项目主要聚焦在提供 L2 以上级别¹智能网联乘用车和商用车。

坐标系统包含绝对坐标和相对坐标。其中，绝对坐标表示车体相对于地球或者相对于地图的绝对位置和姿态（位姿）。相对坐标主要表示车载传感器相对于车体的位姿，以及目标物相对车体的位姿。此外作为承上启下的环节，车体本身的坐标系定义也十分重要，本次研究调研相关覆盖：

- 车体坐标系；
- 传感器坐标系；
- 世界坐标系及其转换方式。

涉及的传感器及相关技术涵盖：

¹ 参考 GB/T 40429-2021 《汽车驾驶自动化分级》。

- 相机；
- 激光雷达；
- IMU 及组合导航
- 毫米波雷达；
- 超声波雷达；
- V2X。

本次研究的坐标系系统主要为了支持智能网联汽车和辅助驾驶系统，可能被用于：

- 高精度（车道级）定位；
- 视觉/激光感知；
- 规划控制；
- 主动安全；
- 车载导航系统；
- 其他导航系统。

本次调研报告从以下几个方面对坐标系系统进行了调研。

第二章介绍了坐标系系统的现状，包括国内外标准中涉及车载坐标系的定义和主流的开源智能网联汽车对于坐标系的定义。

第三章描述了部分坐标系的定义，主要来自实践过程中厂商对于坐标系的定义。

第四章汇总了近年来智能网联汽车相关研究中对坐标系定义。考虑到对于坐标表达的重要性，我们主要调研了航迹推算算法和目标检测算法中对于坐标系的定义。

第五章总结了我们对于车企、图商和供应商对于坐标定义的调研报告。

第六章为组内形成的结论。

2 坐标系系统相关标准及发展现状

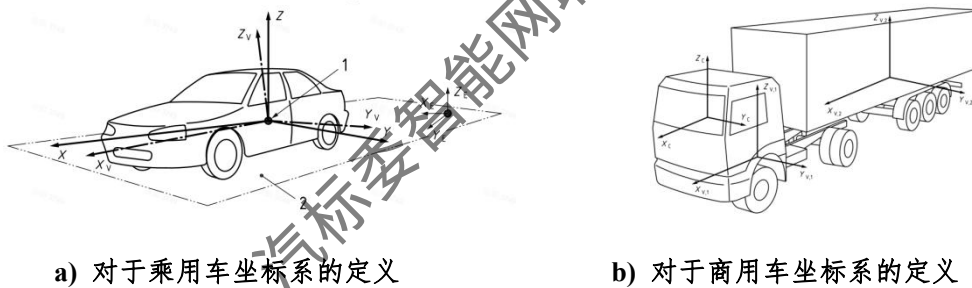
2.1 国际标准调研

2.1.1 ISO 8855: 2011

ISO 8855: 2011 *Road vehicles — Vehicle dynamics and road-holding ability — Vocabulary*² 中定义了用于道路车辆动力学的主要术语。这些条款适用于具有一个或多个转向轴的乘用车、公共汽车、商用车辆以及多单元挂车。

其中定义的车辆坐标系是以汽车簧载质量上的点为原点（其中可以包括整车重心，簧载质量重心，重心高度的中轴距点，前轴中心点等）X轴平行于汽车纵向对称平面且其正方向水平向前，Y轴垂直于汽车纵向对称平面且其正方向指向汽车左侧，Z轴竖直朝上，对于多单元车辆集合来说，可以为每个单元单独定义车辆坐标系。

中轴坐标系是轴系统中的另一个坐标系，通常用于有多个后轴的商用车。其X轴与Y轴均平行于地平面，同样的，对于多单元车辆集合来说，可以为每个单元单独定义中轴坐标系。



a) 对于乘用车坐标系的定义

b) 对于商用车坐标系的定义

图 1 ISO 8855:2011 中的坐标系定义

2.1.2 SAE J1100

SAE J1100 *Motor Vehicle Dimensions*³ 标准适用于定义机动车尺寸测量的环境，且用于设计机动车的过程中对机动车尺寸的测量方法。

该标准中对于坐标系的定义： y 基准面是穿过汽车纵向中心线的垂直面， x 基准面是与 y 轴基准面相垂直且处于汽车前方以避免坐标系出现负坐标， z 轴基准面是垂直于 y

² 道路车辆—车辆动力学和路面保持能力—词汇

³ 机动车辆尺寸

轴基准面和 x 轴基准面的水平面，它通常略低于水平地面以避免负坐标的产生。其中 x 基准面与 y 基准面的相交线为 z 坐标， z 坐标向上为正； y 基准面与 z 基准面的相交线为 x 坐标， x 坐标向车后为正； x 基准面与 z 基准面的相交线为 y 坐标且 y 坐标向车右为正。 xyz 轴相交点则为原点。

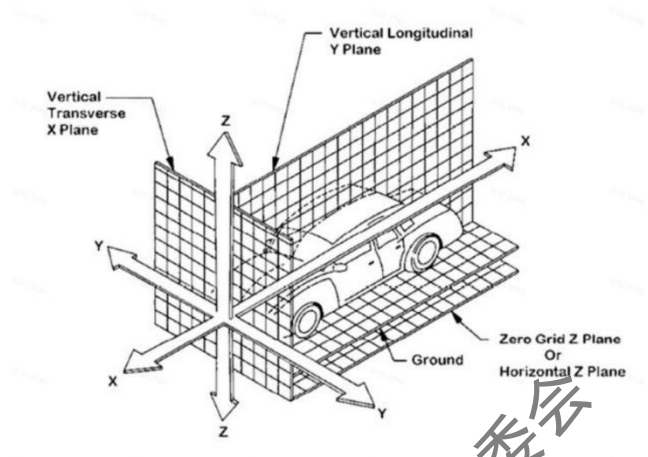
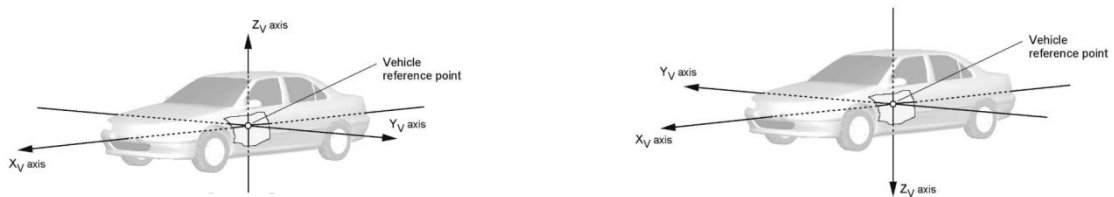


图 2 SAE J1100 中对于车体的坐标系定义

2.1.3 SAE J670

SAE J670 vehicle dynamics terminology 是由美国汽车工程师协会（SAE International）制定的一项标准，主要关注汽车动力学和车辆运动术语。这个标准为了提供一个通用的术语框架，以便于在汽车设计和测试中的交流，对车辆动力学的基本概念、定义和术语进行了详细的说明和标准化。

该标准中第三章定义了两种车体坐标系，如下图：



A. VEHICLE AXIS SYSTEM - Z-UP

B. VEHICLE AXIS SYSTEM - Z-DOWN

其中，包括 Z 轴朝上的前左上⁴坐标系和 Z 轴朝下的前右下⁵坐标系。

⁴ 前左上表示前向为 x 轴，车体左侧为 y 轴，车体向上为 z 轴。

⁵ 前右下表示前向为 x 轴，车体右侧为 y 轴，车体向为 z 轴。

2.1.4 国际标准调研总结

ISO 8855:2011 是有关道路车辆的坐标系和坐标系转换的国际标准。虽然这个标准在车辆工程领域具有重要意义，但它的覆盖范围不足以满足智能网联汽车坐标系的所有需求。它主要用于描述车辆的静态特性和几何参数，它并不包括车辆的运动和动态参数。该标准不提供关于速度、加速度、转向角等动态信息的定义。主要应用是在汽车制造、碰撞测试、车辆设计和评估方面，定义和用途上存在明显的差异。

SAE J1100 标准主要用于描述和规范机动车辆的坐标系，以帮助标准化汽车工程领域的测试、设计和规范。定义了车辆坐标系，包括车身坐标系、轮廓坐标系等，用于描述车辆的几何特性和坐标位置。这有助于工程师和设计师了解车辆的尺寸、位置和形状，其主要关注车辆的静态特性，如车身长度、宽度、高度、轴距等。它并不包括车辆的动态信息，如速度、加速度和方向。SAE J1100 坐标系和智能网联汽车坐标系在设计目的、应用领域和包含的信息方面存在明显的差异。SAE J670 主要聚焦于定义与汽车运动、控制、稳定性和操纵相关的术语，确保在汽车工程领域内有一个统一的语言和理解。这对于车辆设计、分析和测试至关重要，因为它帮助工程师和研究人员准确地描述和理解车辆行为。SAE J670 在汽车工程和研究领域被广泛应用，对推动行业标准和创新有着重要影响。

表 2 国际标准调研总结

标准名称	主要目的和内容	是否有参考价值
ISO 8855:2011	仅涉及道路车辆的坐标系和坐标系转换	有参考价值
SAE J1100	用于描述和规范机动车辆的坐标系	参考价值小
SAE J670	存在对于车体坐标系的定义	有参考价值

2.2 国内标准调研

2.2.1 GB/T 40429-2021

《GB/T 40429-2021 汽车驾驶自动化分级》标准规定了驾驶自动化功能的分级，其中关于车辆横向运动控制（动态驾驶任务中沿着 Y 轴的实时车辆运动控制）和车辆纵向运动控制（动态驾驶任务中沿着 X 轴的实时车辆运动控制）定义了车辆运动参考坐标系，如下图：

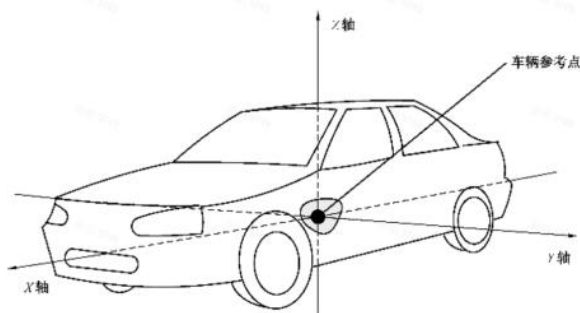
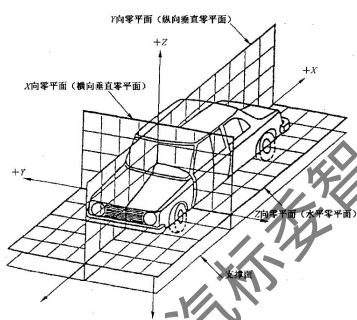


图 3 GB/T 40429-2021 中对于车体的坐标系定义

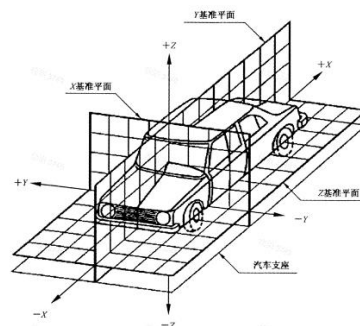
可以认为 X 轴和 Y 轴分别平行于地平面，X 轴由车辆中心指向车头方向，Y 轴由车辆中心指向车辆左侧方向，Z 轴指向上方。但是该标准中只对坐标轴进行了定义，缺乏对于车辆坐标原点的定义。

2.2.2 GB 11551-2014 乘用车正面碰撞的乘员保护

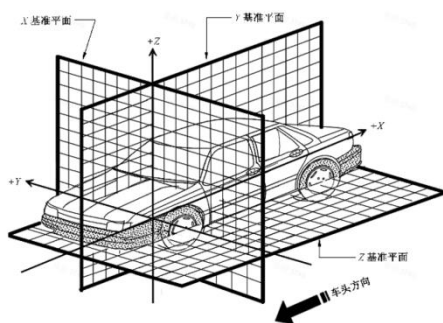
《GB 11551-2014 乘用车正面碰撞的乘员保护》标准规定了车辆正面碰撞时前排外侧座椅乘员保护方面的术语和定义、要求和试验方法。其中三维坐标系用车辆制造厂设立的 3 个正交平面定义，见图 4(a)。



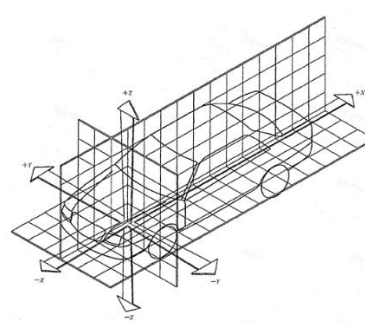
a) GB 11551-2014



b) GB 11562-2014



c) GB/T 12673-2019



d) QC/T 490-2013

图 4 GB 11551-2014, GB 11562-2014, GB/T 12673-2019, QC/T 490-2013 对于车体坐标系的定义。这四个标准的坐标系类似，都是车辆后方为 X 轴，Y 轴向右，Z 轴朝上。

2.2.3 GB 11562-2014 汽车驾驶员前方视野要求及测量方法

《GB 11562-2014 汽车驾驶员前方视野要求及测量方法》标准规定了驾驶员前方 180°范围内直接视野的要求和测量方法。其中定义了三维基准坐标系(见图 4(b)):

X 基准平面—垂直于 Y 基准平面的铅垂平面, 通常规定通过左右前轮中心;

Y 基准平面—汽车纵向对称平面;

Z 基准平面—垂直于 Y 和 X 基准平面的水平面。

2.2.4 GB/T 12673-2019 汽车主要尺寸测量方法

标准规定了汽车主要尺寸的测量方法。其中外部尺寸、行李箱/货箱尺寸测量方法适用于 M 类、N 类车辆,其他车辆可参照执行;内部尺寸测量方法适用于 M1 类车辆,其他车辆可参照执行。关于车辆坐标系定义如下,Y 基准平面为车辆纵向对称平面,X 基准平面通过前轮中心垂直于 Y 基准平面,Z 基准平面垂直于 Y 基准平面和 X 基准平面,见图 4(c)。

2.2.5 QC/T 490-2013 汽车车身制图

标准规定了汽车车身制图的基本要求,适用于汽车车身制图。在汽车车身设计中采用右手定则确定坐标系,X 为汽车的长度方向,Y 为宽度方向,Z 为高度方向,见图 4(d)。

2.2.6 国内标准调研总结

GB/T 40429-2021 是中国国家标准,关于汽车驾驶自动化分级的标准,它定义了不同级别的自动驾驶系统以及相关术语和要求。这个标准虽然提及了车体坐标系,但是并没有详细的定义,因此没有提供与智能网联汽车坐标系的直接对应,主要关注自动驾驶系统的级别和要求,而不是坐标系的定义。

GB 11551-2014 碰撞坐标系, GB 11562-2014 汽车驾驶员前方视野要求及测量方法标准, GB/T 12673-2019 汽车主要尺寸测量方法和 QC/T 490-2013 汽车车身制图都是各自领域的专业标准,其中涉及了部分对于车体坐标系的定义,但是很难直接用于智能网联汽车中。如 GB 11551-2014 碰撞坐标系以车辆后方为 x 轴正方向,这与智能网联汽车主要关注车辆前方,通常的定义中都是以车辆前方为正方向相悖。

表 3 国内标准调研总结

标准名称	主要目的和内容	是否有参考价值
GB/T 40429-2021	汽车驾驶自动化分级的标准，定义不同级别的自动驾驶系统，关注自动驾驶系统的级别和要求。	部分满足，可参考
GB 11551-2014	碰撞坐标系标准，用于事故调查和碰撞分析，确定车辆在事故中的相对位置、速度、方向以及撞击点等信息。	参考价值小
GB 11562-2014	驾驶员前方视野要求及测量方法的规范，规定驾驶员在驾驶汽车时的前方视野要求，以提高道路安全。	参考价值小
GB/T 12673-2019	汽车主要尺寸测量方法的规范，用于测量汽车的主要尺寸参数，支持车辆设计、制造和检验。	参考价值小
QC/T 490-2013	汽车车身制图的规范，用于制定车辆车身的制图标准，支持汽车设计、制造和检验。	参考价值小

2.3 ROS 坐标系系统介绍

ROS (Robot Operating System) 是一个用于机器人开发的开源框架，它广泛的应用于目前的智能网联汽车及自动机器人行业。ROS 使用了一套灵活的坐标系管理系统，用于播发和管理机器人的运动及相应的传感器的关系。ROS 的坐标系管理系统主要可以管理两类坐标系关系，第一种是连续的变换，第二种是在运行周期内不会改变的变换。

所谓连续的变换通常指机器人的运动，通过定义坐标帧，表达某一时刻机器人和环境的变换关系。另外 ROS 的坐标系管理系统可以通过内插获取到平滑的坐标变换关系。

所谓不会改变的变换，通常表达了安装在机器人上的传感器相对于机器人的位置。

除了坐标系管理系统之外，ROS 通常使用机器人的底座坐标系 (Base Link) 作为机器人的参考坐标系，通常机器人前进方向为 X 轴，机器人左侧为 Y 轴，上方为 Z 轴。机器人上的各个组件、传感器、执行器都有各自的坐标系，这些坐标系之间的关系可以通过坐标变换进行描述。下表简单概括了部分 ROS 中定义的坐标系。

表 4 ROS 坐标系系统常用实践介绍

名称	定义	坐标系定义
基座坐标系 (Base Frame)	机器人整体坐标系	通常以机器人的底座或基座为原点，X 轴指向前进方向，Y 轴指向左侧，Z 轴指向上方
激光雷达坐标系 (Lidar Frame)	激光雷达传感器坐标系	根据传感器型号和安装位置定义

相机坐标系 (Camera Frame)	摄像头传感器坐标系	X 轴通常指向摄像头的右侧；Y 轴通常指向摄像头的下方；Z 轴通常指向摄像头的前方，与摄像头的光轴平行
地图坐标系 (Map Frame)	全局地图坐标系	通常以第一帧机器人的位置作为地图坐标系原点，也可以自定义。
惯性单元坐标系 (Sensor Frame)	传感器特定坐标系	根据传感器型号和安装位置定义。

2.4 Apollo 坐标系系统介绍

百度 Apollo（百度自动驾驶开放平台）是百度公司开发的自动驾驶解决方案，它包括一整套软件和硬件工具，用于开发自动驾驶系统。在 Apollo 中，有一个特定的坐标系系统，用于描述和管理自动驾驶车辆的运动和位置。

Apollo 自动驾驶坐标系⁶通常包括以下几个关键部分：

全局坐标系（Global Coordinate System）：全局坐标系是地球坐标系，通常使用 WGS84 坐标系，用于描述车辆在地球上的绝对位置。这是自动驾驶系统中的全局参考坐标系，用于定位车辆在世界地图中的位置。

车辆坐标系（Vehicle Coordinate System）：车辆坐标系是车辆自身的坐标系，通常以车辆的中心或车辆的质心为原点，X 轴指向前进方向，Y 轴指向左侧，Z 轴指向上方。车辆坐标系用于描述车辆的位置、速度、方向和动态状态。

地图坐标系（Map Coordinate System）：地图坐标系是高精度地图上的坐标系，用于描述道路和环境的特征。它通常与全局坐标系相关联，以便车辆可以在地图上定位和导航。

激光雷达坐标系（Lidar Coordinate System）：如果激光雷达用于感知周围环境，它将有其自己的坐标系，用于描述激光雷达传感器的位置和方向。激光雷达坐标系通常是一个右手坐标系，其中激光雷达的位置被定义为坐标系的原点。X 轴通常指向激光雷达的前方，Y 轴指向左侧，Z 轴指向上方。这种定义使得点云数据在激光雷达坐标系中的坐标值与传感器相对于车辆的位置和方向有关。

摄像头坐标系（Camera Coordinate System）：类似激光雷达，摄像头也可以有其自己的坐标系，用于描述摄像头的位置和方向。

⁶ https://github.com/ApolloAuto/apollo/blob/master/docs/05_Localization/coordination_cn.md

表 5 Apollo 坐标系系统常用实践介绍

名称	参考坐标系	坐标系定义
全局坐标系	无	表达地球坐标系 (通常使用 WGS84)。地球质心为原点, 使用经纬度表示车辆在地球上的网位置。
局部坐标系	ENU ⁷ 局部坐标系依赖于在地球表面上建立的 3D 笛卡尔坐标系	表示经纬度投影到局部后的坐标系。地表上选的参考点为原点, 姿态采用东-北-天 (ENU), X 轴指向东面, Y 轴指向北面, Z 轴指向上方。
车辆坐标系	全局/局部坐标系	后轴中心为坐标原点, X 轴指向右方, Y 轴指向前侧, Z 轴指向上方。
激光雷达坐标系	车辆坐标系	通常以激光雷达的位置为原点, X 轴指向前方, Y 轴指向左侧, Z 轴指向上方。
摄像头坐标系	车辆坐标系	X 轴通常指向摄像头的右侧, Y 轴通常指向摄像头的下方; Z 轴通常指向摄像头的前方, 与摄像头的光轴平行。
惯性单元坐标系	车辆坐标系	在不考虑安装误差角的情况下, 载体坐标系即为 IMU 坐标系。

在 Apollo 中, 这些坐标系相互关联, 并使用坐标变换来管理它们之间的关系。例如, 全局坐标系和车辆坐标系之间的变换允许车辆在地图上进行定位和导航。激光雷达和摄像头坐标系的变换将传感器数据转换到车辆坐标系中, 以支持环境感知和决策。总之, Apollo 自动驾驶坐标系是一个重要的组成部分, 用于描述和管理自动驾驶车辆的运动、位置和感知数据, 以支持自动驾驶系统的核心功能。这些坐标系允许车辆在复杂的道路环境中进行导航、感知和决策。

2.5 小结

本节中主要调研了现存的标准中的坐标系, 以及行业内两个影响最大的开源框架对于坐标系的定义。

现有坐标系标准主要关注车辆的静态特性和制图要求, 对自动驾驶系统需要的动态信息、地图、环境感知、车辆控制和多车协同支持不足。智能网联汽车通常需要额外的坐标系定义和标准, 以满足其特定需求。这些要求超出了传统坐标系标准的范畴, 因此

⁷ ENU 表达 East, North, Up, 中文通常表达为东北天。ENU 表示东向为 x 轴, 北向为 y 轴, 天向为 z 轴。

现有标准通常不足以满足智能网联汽车坐标系的要求。

由于 ROS 系统和 Apollo 的广泛应用，在较大程度上已经形成了一个较为通用的约定，但部分传感器坐标系定义和参考坐标系因不同的平台有所不同。平台和传感器制造商通常提供有关传感器坐标系的文档和规范，以帮助用户正确地定义和使用传感器坐标系。

因此，一方面，有标准通常不足以满足智能网联汽车坐标系的要求；另一方面，业内已经逐渐形成一种较为通用的约定，但是不同的平台或传感器又会存在差异。

汽标委智能网联汽车分委会

3 智能网联汽车坐标系现状

本章节介绍智能网联汽车目前坐标系的一些现状，我们主要收集了车厂和供应商常用的传感器坐标系和 V2X 系统的坐标系定义。

3.1 组合导航

组合导航 (Integrated Navigation System) 的坐标系通常分为三部分进行介绍。

1. GNSS (Global Navigation Satellite System) 模组解算坐标系；
2. IMU (Inertial Measuring Unit) 模组坐标系；
3. 组合导航设备坐标系和车体坐标系。

在应用过程中，组合导航的参数通常会转换至车体坐标系下进行输出，因此 3.2 节也将介绍设备坐标系和应用过程中常用的车体坐标系。

3.1.1 GNSS 模组

GNSS 模组通常用于接收卫星信号，获取设备在地球中的位置、速度和时间等信息。其中，获取的位置通常定义为天线 L1 相位中心点。这里所谓天线 L1 指的是 GNSS 模组支持双天线定义，因此在双天线工作状态下，以主天线的相位中心为坐标系原点。

GNSS 模组解算坐标系：以天线 L1 相位中心点为参考点、以坐标框架 WSG84⁸及差分服务商参考历元为坐标系标准（详见图 5）。

⁸ 坐标框架 WSG84 原点是地球的质心，空间直角坐标系的 Z 轴指向 BIH (1984.0) 定义的地极 (CTP) 方向，X 轴指向 BIH 定义的零度子午面和 CTP 赤道的交点，Y 轴和 Z，X 轴构成右手坐标系。

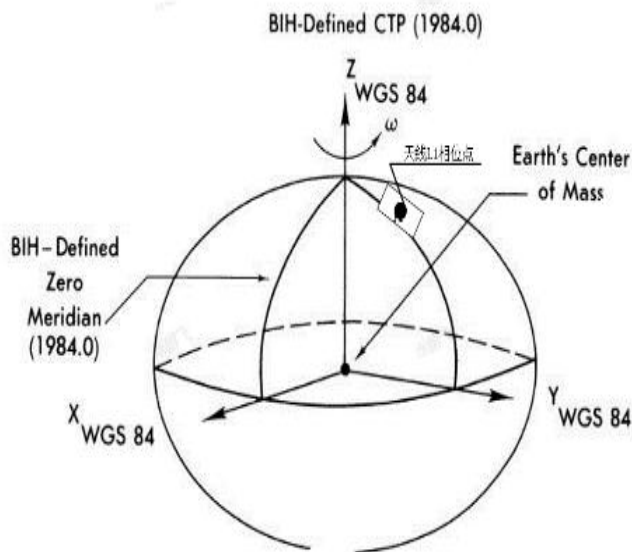


图 5 WGS84 坐标系示意图

3.1.2 IMU 模组坐标系

IMU 为惯性测量单元，通常包含加速度传感器和陀螺仪，分别用于测量加速度和角速度。每个 IMU 通常会定义传感器中心及朝向轴，值得强调一下，中国通常采用右手法则定义旋转的正方向。

坐标系以陀螺仪和加速度计的坐标原点 P 为原点， XYZ 三个轴向分别与陀螺仪和加速度计的对应轴平行，三轴角加速度符合右手定则（详见图 6）。

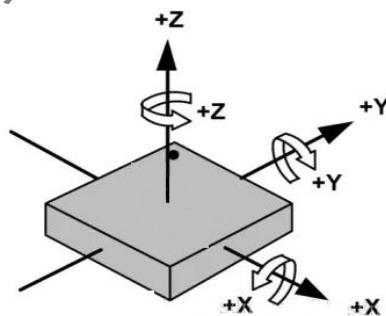


图 6 组合导航及 IMU 设备坐标系示意图

需要注意的是，IMU（惯性测量单元）的坐标系通常没有严格的全球标准，因为坐标系的选择可以根据应用和设备制造商的需求而变化。然而，有一些常见的约定和标准，以保证不同系统和设备之间的互操作性和一致性。不同厂商的 IMU 模组可能会有不同的坐标系定义，因此在使用时需要查阅相应的规格表或文档以了解具体的坐标系定义。

3.1.3 组合导航坐标系

虽然组合导航由 IMU 和 GNSS 组成，但是在应用过程中可以将其看作一个设备。一般情况下组合导航会将坐标系转换至 IMU 坐标系。因此可以参考 3.1.2 节的介绍。同样因为不同的厂家，对于坐标的定义可能不同，因此需要参考不同厂家的坐标系。

组合导航的重要功能是输出车辆在世界坐标系下的位置和姿态，因此对于车体坐标系的定义尤为重要。这里主要存在两种主流的车体坐标系定义方式：

表 6 车体坐标系常见定义

名称	车辆前方	车辆左侧	车辆上方	参考系统
前左上	x 轴正方向	y 轴正方向	z 轴正方向	ROS, GB/T 40429-2021
右前上	y 轴正方向	x 轴负方向	z 轴正方向	Apollo

下图以前左上为例介绍车体坐标系，其中 roll, pitch, yaw 分别表示 x, y, z 三轴的旋转，roll 向右侧倾为正，pitch 向上俯仰为负，yaw 向左横摆为正，如图 7 所示。

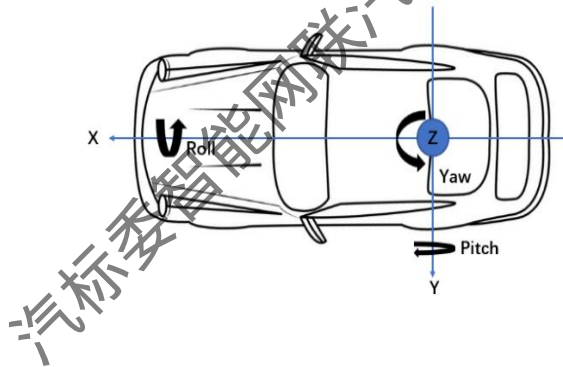


图 7 车体系姿态定义示意图

车体中心通常定义在车辆后轴中心，可有部分项目定义在车辆质心处或者车辆前轴处。具体的调研结果见第 5 节。

3.2 局部坐标系

在智能网联汽车解算定位的过程中通常并不直接采用经纬度，而是通过投影将坐标位置投影至地面，通常称之为局部坐标系或者大地坐标系。投影后，采取地面上一点作为参考点，即局部坐标系原点。通常采用东北天（East-North-Up, ENU）表达坐标系方向，即 X 轴在当地水平面内分别指向东，Y 轴指向北，Z 轴指向天。东北天局部坐标系采用三维直角坐标系来描述地球表面。

由 3.1.1 中的世界坐标系转换到局部坐标系通常会采取投影算法。比如下图所示的横轴墨卡托（The Universal Transverse Mercator, UTM）坐标系，UTM 是实践过程中应用的较为广泛的一种。

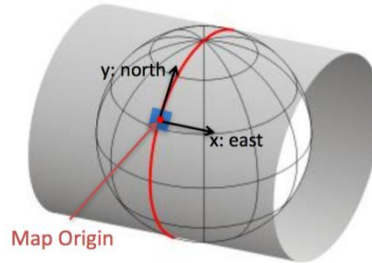


图 8 横轴墨卡托投影与东北天坐标系意图

3.3 相机

相机作为智能网联汽车最重要的传感器，其感知的信息为定位和规划控制提供最有力的支持。对于相机坐标系，虽然部分厂商确实会根据标定或者安装位置重新定义相机坐标系，但是相机坐标系还是可以达成一定的共识。

相机坐标系是以相机光心为原点，Z 轴正方向从光心出发沿光轴指向镜头方向，X 轴正方向由光心指向图像平面右侧，Y 轴正方向由光心指向图像平面下侧，见图 9。这是一种常见的约定，通常用于描述摄像头的坐标系，以便计算图像中的对象位置和方向。

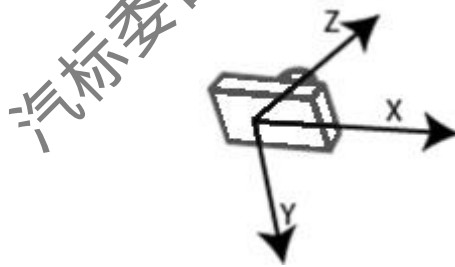


图 9 相机坐标系示意

除了相机坐标系，还有图像坐标系，图像坐标是 2D 的坐标，而相机坐标是 3D 坐标，由相机坐标映射到图像坐标的关系通常被称为相机内参。下面是对图像坐标系的定义。

图像坐标系原点为图像左上角点 o ， u 轴正方向为水平向右， v 轴正方向为竖直向下，单位通常为像素，具体见图 10。这种坐标系可以看作是业内的共识。

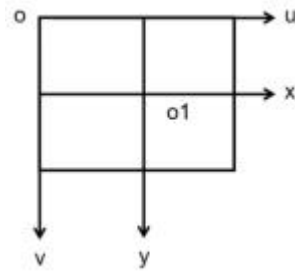


图 10 图像及像素坐标系示意

3.4 激光雷达

激光雷达是智能网联车载传感器中重要的测距设备，用于精准探测目标的相对位置，也对高精度定位和高精度建图有重要意义。激光雷达本质上是通过对激光束到达物体后返回的时间差计算出障碍物与激光雷达的距离。又因为机械原理上的不同，激光雷达大致可以分为机械式激光雷达和固态激光雷达。

激光雷达的坐标系没有严格的全球标准，通常有不同的厂商进行定义。激光雷达的坐标系如下图所示，坐标系以设备中心作为坐标系的原点，Z 轴正方向从原点位置垂直向上指向天空，X 轴正方向从原点出发指向雷达正前方，Y 轴正方向由右手坐标系最终确定朝向雷达左方，见图 11。

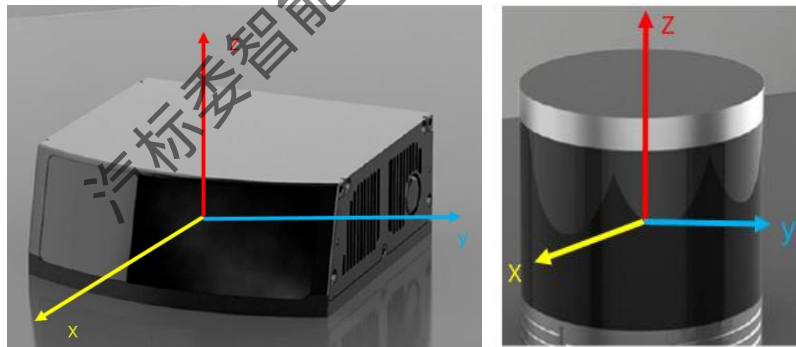


图 11 激光雷达坐标系示意（立体图）

激光雷达的点云坐标输出方式分为两种类型，第一种类型为“水平角+俯仰角+距离”的极坐标系输出方式，如图 12 所示，左图为激光雷达俯视图，其中水平角一般为 X、Y 平面上与+X 方向的夹角，以顺时针方向角度由 0 到 360 度。右图为激光雷达侧视图，俯仰角由不同的激光束与 X、Y 平面的夹角或者特定通道平面的夹角得出，角度向天为正，向地为负，距离为点云到坐标系原点的距离。

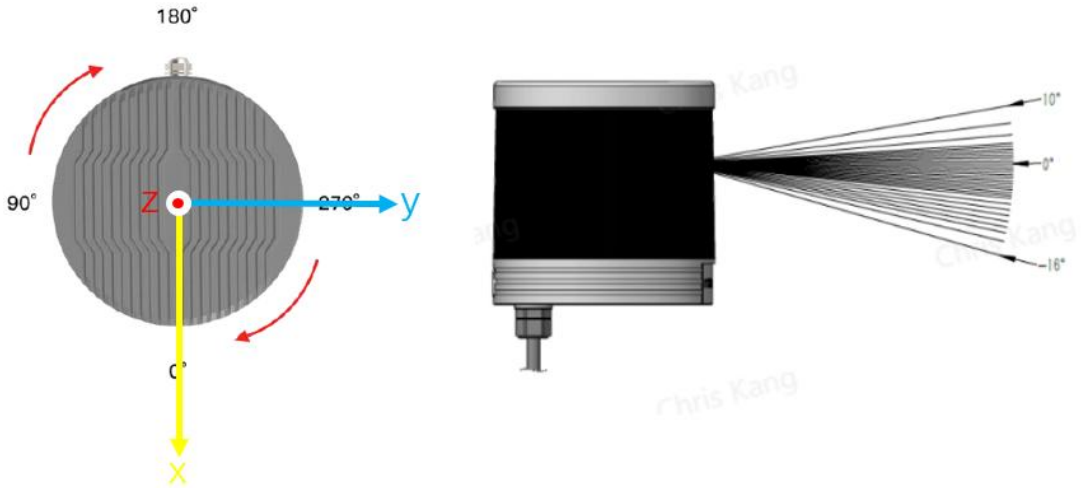


图 12 激光雷达极坐标输出示意

第二种激光雷达感知目标的坐标输出方式为直接输出笛卡尔坐标 X 、 Y 、 Z ， X 、 Y 、 Z 为点云距离激光雷达坐标系原点的相对位置。

3.5 毫米波雷达

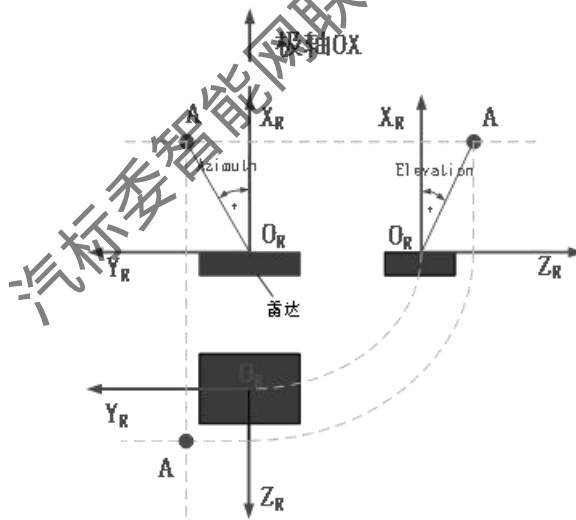


图 13 雷达坐标系

雷达坐标系为球坐标系（二维下为极坐标系），以与其重合的直角坐标系说明其极性。雷达坐标系定义：原点 O 为雷达第一罩面外侧的几何中心点； X 轴正方向为雷达天线法线方向； Y 轴为面向天线法线的左侧为正，与 X 轴垂直， Z 轴为与 X 轴、 Y 轴垂直，满足右手法则。

如图 13, OA 为极径 Range, 单位为米 (m), 取值范围: $[0, +\infty]$, 有效范围需要依据具体项目; OA 在 XOY 面上的投影线与 OX 正半轴的夹角为方位角 (Azimuth), 其正负通过 OZ 正半轴的右手定则定义, 其单位为度 (deg), 取值范围: $[-180, 180]$ deg, 有效范围需要依据具体项目; OA 与 OXY 平面的夹角为俯仰角 (Elevation), 偏向 OZ 正半轴为正, 偏向 OZ 负半轴为负, 其单位为度 (deg), 取值范围: $[-90, 90]$ deg, 有效范围需要依据具体项目。位移单位均为 m。

3.6 超声波雷达

一般情况下, 车辆会安装若干个超声波传感器, 这些传感器按照某种规律分布在车辆的不同位置。如图 14 所示, 在车体坐标系下, 不同位置的传感器法线方向 (原点出发径向朝外) 与车辆 X 轴夹角是不相同的, 其中, 车体坐标系以车辆后轴中心点为原点, X 向车头前方为正值, Y 向车身左侧方向为正值。

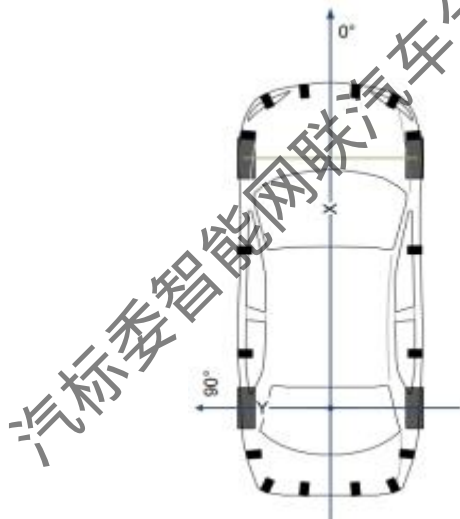


图 14 超声波传感器分布示意图

如图 15 所示, 传感器安装信息包括: X, Y, 方向角和满载高度, 在车体坐标系下, X, Y 和满载高度以毫米为单位, 满载高度只有正值。

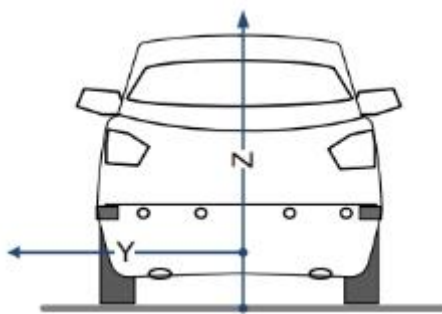


图 15 传感器安装示意图

如图 16 所示，对于超声波传感器本身来讲，构成以传感器表面为原点的极坐标系，通过计算回波距离 (D_D)， $D_D = T_o F_D \times C_{AIR} / 2$ ($T_o F_D$ 为飞行时间， C_{AIR} 为传播速度)，角度是以传感器法线方向（原点出发径向朝外）逆时针方向为正，可以计算得到反射点在传感器坐标系下的坐标。

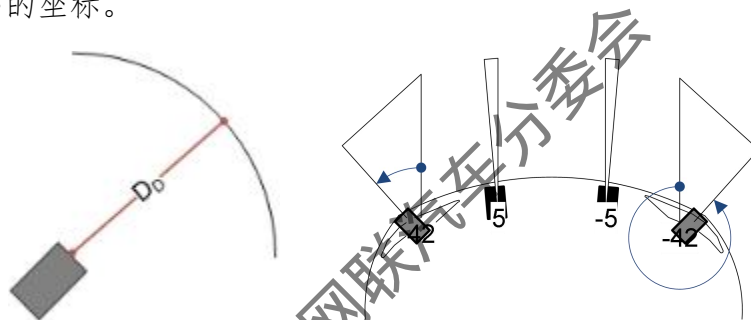


图 16 回波距离和角度示意图

3.7 V2X

汽标委在研国标项目《基于 LTE-V2X 直连通信的车载信息交互系统技术要求和测试方法》送审稿，规定了车体坐标系的相应内容，具体如下：

定位参考点为车辆投影至道路平面上的（纬度、经度和高度）包络矩形的中心，此矩形覆盖车辆的最前端和最后端，以及侧边到侧边的点，包含外部后视镜等原始设备。定位参考点及坐标系如图 17 所示。

- 1) 加速度其中方向定义为“前/右/下”，如图所示。即：
 - a) 纵向加速度 (Longitudinal Acceleration)，正方向为车头方向；
 - b) 横向加速度 (Lateral Acceleration)，正方向为车辆右方；
 - c) 垂直加速度 (Vertical Acceleration)，正方向为车辆下方。

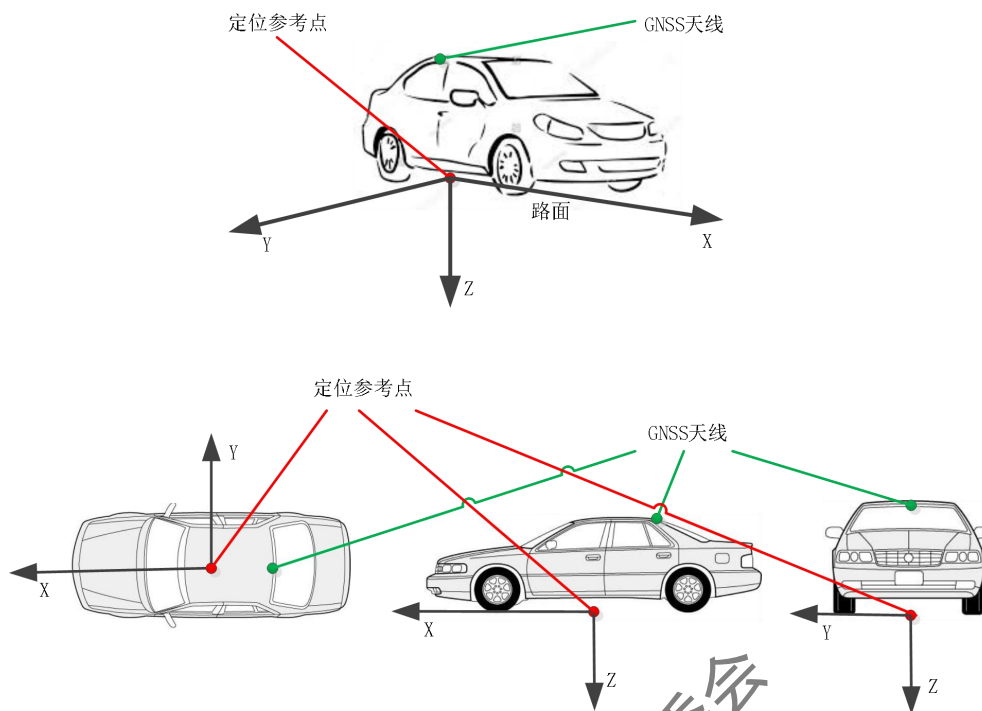


图 17 V2X 系统中涉及坐标的信息传输

- 2) 车辆航向角：车辆运动方向与正北方向的顺时针夹角。
- 3) 路侧发送的消息和车侧发送的消息其中相同字段的含义应保持一致。CSAE 团标《T/CSAE 159-2020 基于 LTE 的车联网无线通信技术 直连通信系统路侧单元技术要求》的后续修订中也会与此保持一致。

4 科研中对于车体坐标的定义

第四章从科研的角度探索了车体坐标的定义。智能网联汽车的应用过程中有两个主要的对于坐标变换的依赖。第一是时间维度的，第二是空间维度。所谓时间维度指的是车辆需要不断推算自车的位置，也就是航迹推算算法。所谓空间维度指的是智能网联汽车通过传感器检测周围环境的目标时，对于周围交通参与者坐标的表达。由于检测的算法是科研工作中一个关键分支，因此重点检索了检测车辆的研究，并关注于其中的坐标系定义。

4.1 航迹推算算法中对于自车中心位置的定义

单车模型：左/右前轮合并为 A 点，将左/右后轮合并 B 点。根据坐标系原点定义不同可以分为两类。第一类的原点定义在车辆质心。第二类的原点定义在车辆后轴中心。如下图中红点所在位置。通常选定前左上分别对应 XYZ 轴。

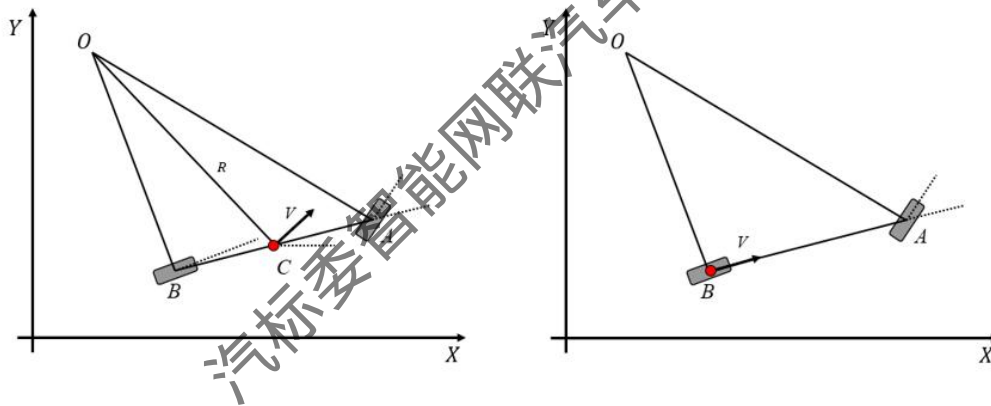


图 18 两类单车模型示意图

阿克曼转向几何模型：与单车模型将两个转向轮的转角视作相等对比，阿克曼转向几何模型表示了更符合实际情况的模型，即两转向轮转角不同。该模型中车辆原点一般选在车辆后轴中心。由于是几何模型，在计算时无特定坐标系选取。若必要，通常选定前左上分别对应 XYZ 轴。

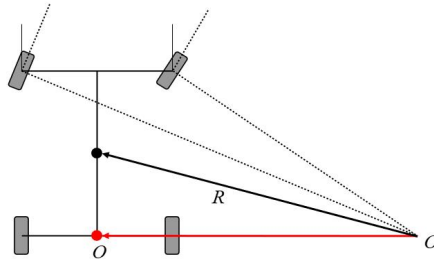


图 19 阿克曼转向几何模型

Double Track model: 该模型通常采用汽车几何中心（COG）作为坐标原点，选定前左上分别对应 XYZ 轴⁹。

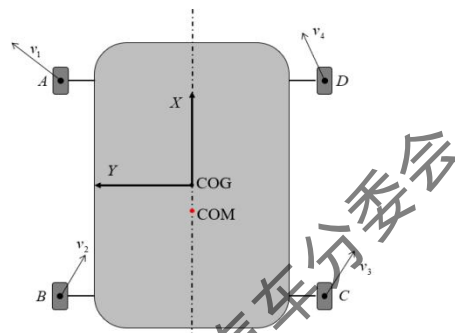


图 20 Double Track Model 示意图

商用车: 基于车辆模型考虑，将商用车分为两轴车（一般包括微卡、轻卡、客车等）、多轴车（一般包括中重型货车、自卸车、牵引车等）和挂车（包括半挂车、全挂车等）。

两轴车车辆模型与乘用车类似，使用阿克曼模型处理，车体坐标系原点定义在后轴中心位置，方向按照前左上定义，即 X 轴与车辆前进方向一致，Y 轴指向车辆左侧，Z 轴与 X 轴和 Y 轴垂直指向天向。

多轴车中仅讨论前轮转向的车辆，对于多轴协同转向、后轮转向等特殊车辆暂不做说明。多轴车车辆模型采用等效阿克曼模型处理，即将多个非转向轴近似成单轴，车体坐标系原点定义在等效后轴中心位置，方向按照前左上定义。

⁹ 龚建伟, 姜岩, 徐威. 无人驾驶车辆模型预测控制[M]. 北京理工大学出版社, 2014.

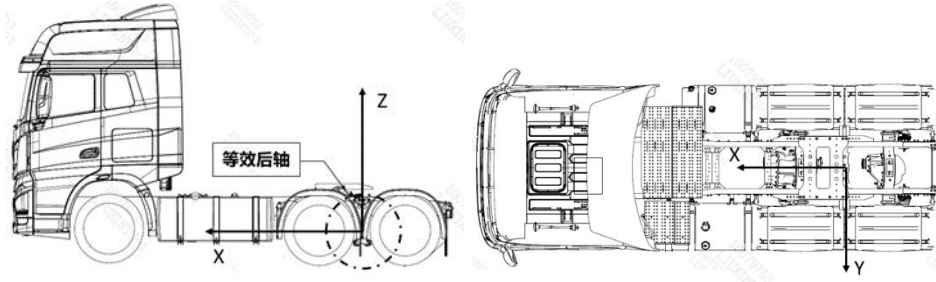


图 21 多轴车示意图

本文只调研了主流乘用车和商用车的航迹推算模型，最终得到各类模型的原点及坐标选取如下表所示：

表 7 各类模型常用原点及坐标选取情况

模型名称	定义原点位置	坐标轴
单车模型 1	后轴中心	前左上
单车模型 2	质心	前左上
阿克曼几何模型	后轴中心	前左上
Double Track Model	几何中心	前左上
商用车	等效后轴的中心	前左上

4.2 目标检测算法中对于车辆位置的表达

对于目标车辆而言，往往选用各类框的几何中心作为其中心点。在视觉感知情况下，大多数 3D 单目、双目视觉感知方法都是通过不同的算法或步骤得到目标车辆的 3D 边界框，以 3D 边界框的中心位置作为目标车辆的中心位置¹⁰。在 2D 图像平面和鸟瞰图上显示即为矩形的中心作为目标车辆的中心。

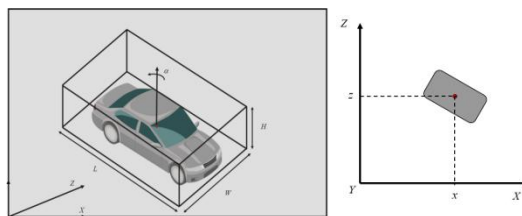


图 22 以边界框几何中心作为目标车辆中心

¹⁰ Li, H., Sima, C., Dai, J. et al. Delving into the devils of bird's-eye-view perception: A review, evaluation and recipe.[J] arXiv preprint arXiv:2209.05324

少数视觉感知方法会直接采用 3D 车体框底部矩形的中心作为目标车辆的中心。该情况适用条件往往是无需考虑目标车辆的高度信息。另外，还存在一种视觉感知的思路是，通过检测车辆，检测车轮，检测车轮接地点，并且通过相机外参计算出车轮在车体坐标系下的位置。最终计算出两个车轮在空间中的位置，以车辆两后轮接地点（通常为检测框的矩形中心）的连线中点作为整车位置中心。对于前视目标车辆，通常会采取后轴中心作为目标车辆的中心，对于侧向车辆，则会选择车辆质心，对于后视车辆，则会选择车辆前轴中心。

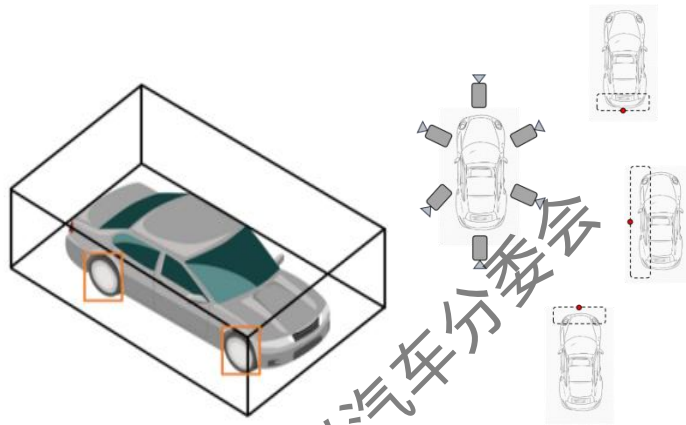


图 23 根据相对位置调整目标车辆中心

5 行业调研结果汇总

工作组于 2022 年 12 月在组内部进行了调研，参与调研的单位包括：重庆长安汽车股份有限公司、重庆大学、小米汽车科技有限公司、广州导远电子科技有限公司、深圳市速腾聚创科技有限公司、一汽解放汽车有限公司、中国信息通信科技集团有限公司、华域汽车系统股份有限公司电子分公司、福特汽车（中国）有限公司、北京汽车研究总院有限公司、广州汽车集团股份有限公司汽车工程研究院、江铃汽车股份有限公司、梅赛德斯-奔驰中国有限公司、上海机动车检测认证技术研究中心有限公司和北京智能车联产业创新中心有限公司，其调研结果见下图。

表 8 行业调研结果汇总¹¹

坐标系系统	主流坐标系描述	统计结果	
		主流	不同
世界坐标系	WGS84 坐标系	100%	
局部坐标系	东北天 ¹²	100%	
车体中心点	车体后轴中心	80%	20%
车体姿态	前左上	80%	20%
相机坐标系	见第 3.3 节	100%	
组合导航坐标系	前右下	90%	10%
激光雷达坐标系	见第 3.4 节	80%	20%
毫米波和超声波	车体坐标系 ¹³	100%	

¹¹ 表中橙色为主流的坐标系意见，红色为不同的意见。

¹² 东北天:东向代表 x 轴正方向，北向为 y 轴正向，天向为 z 轴正方向

¹³ 供应商通常会安装完成之后转换至车体坐标系下，也就是说毫米波和超声波的输出的坐标同车体坐标系是主流的调研结果

6 标准化建议

坐标系是智能网联汽车对于车辆自身、周围环境以及交通参与者的信息收集和信息处理的一个基础且关键的系统。随着近些年行业的实践，智能网联汽车的坐标系定义已经可以逐步达成共识。但目前智能网联汽车缺乏统一的坐标系标准，这严重影响了智能网联汽车及相关技术的迭代速度和应用范围。因此，我们为推进智能网联汽车行业的成熟，构建行业更加紧密高效的协同合作，提出以下建议：

1. 制定统一的智能网联汽车坐标系标准。标准围绕智能网联汽车本身的应用展开，明确规定世界坐标系、地图坐标系、车体坐标系和各个传感器坐标系及其变换关系，形成完整的智能网联汽车坐标系定义。

2. 推进传感器相关标准中对于坐标转换的标准化测试。传感器相关的坐标转换和传感器本身的设计、安装和标定有紧密的关系，建议相关标准中应规定传感器相关坐标系的标定方法、测试方法和评价方法。

3. 探索制定车载传感器标定间的相关标准。智能网联汽车需要在标定间（出厂前或者维修后）标定传感器之间的坐标变换并确定其精度。对于标定间的设计、制造和标定后的精度指标是否需要出台相应的标准，是一个标准化工作可以探索的方向。