

自动驾驶技术概览

王 翠 任 河

北京北咨信息工程咨询有限公司 北京 100123

摘 要：本文给出了单车自动驾驶的技术架构，并就架构的各组成部分逐项进行介绍，包括高精地图、环境感知、自动驾驶决策及执行。然后给出促进自动驾驶发展的建议，包括行车数据的共享开放以及其他政府支持措施。

关键词：自动驾驶，高精地图，环境感知、发展建议

引言

1 为什么要有自动驾驶

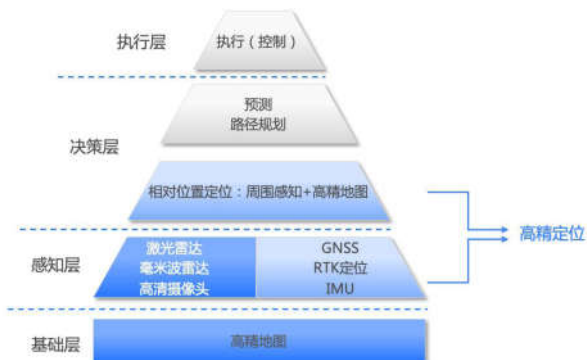
根据WHO的统计，2022年全球因交通事故死亡超过100万人，而自动驾驶车辆则“经验丰富”，且不会酒驾、不会疲劳驾驶、不会分心，可以有效减少人为因素导致的交通事故；除此之外，自动驾驶解放了人的手脚，提供舒适友好的驾乘体验，同时还有助于合理管控道路交通流量以改善道路的通行能力。

2 自动驾驶的分级标准

目前，公认的自动驾驶技术分级标准由SAE（国际自动机工程师学会）制定，将自动驾驶技术分为L0-L5共六个等级。其中L0代表无自动化，L1-L2为辅助驾驶，L3-L5为自动驾驶。

2021年8月20日，我国发布《汽车驾驶自动化分级》（GB/T 40429-2021），也将驾驶自动化等级分为6级：从L0到L5，与SAE分级标准基本一致。不同之处在于，该标准将L0定义为应急辅助，且从名称上强调了0到2级为辅助驾驶。

1 自动驾驶技术框架，如图表 1



图表 1 自动驾驶技术框架

自动驾驶系统可分为四个层级，即基础层、感知层、决策层和执行层。基础层主要提供高精地图服务，用于车辆的自定位和导航；感知层类似于人类的感官器官，用于获取周围环境信息；决策层则相当于人类的大

脑，根据感知层获取的信息进行位置分析，并规划路径以制定自动驾驶决策；执行层类似人类的手脚，负责控制方向盘、刹车、油门等操作，精准地执行由决策层发出的指令。

2 自动驾驶技术框架分解

2.1 高精地图

高精度地图是为自动驾驶而专门设计的地图，是自动驾驶的重要基础设施之一。它包含了丰富的行车辅助信息，如车道模型、道路部件、道路属性等，并将这些信息存储为结构化数据。对于L3及以上级别的自动驾驶而言，高精度地图的支持是必选项，因为它能够为自动驾驶提供车道级的导航信息，可以应对如潮汐车道、辅路入口、虚实线等多变的道路状况。同时，高精度地图还能为自动驾驶提供道路先验信息，如无限速牌路段车辆的最高时速、前方道路的曲率、坡度、航向、横坡等，这些信息可以帮助自动驾驶汽车更加智能地规划行驶路线。此外，高精度地图还可以为自动驾驶提供交通信号灯、道路标识线和其他路面标识、标志标牌等各种道路部件信息，以确保自动驾驶汽车遵守交通规则、安全驾驶。除了以上三点之外，自动驾驶系统还可以依托GPS、IMU、LiDAR或摄像机等感知设备采集到的数据，结合高精度地图的结构化数据进行精确定位，并引导自动驾驶车辆行驶。

2.2 环境感知

环境感知是自动驾驶汽车获取周围环境信息从而“看清”这个过程的过程，是实现自动驾驶的关键环节^[1]。这个过程包括两个方面，一是自身的定位，二是周围环境的感知。用于定位的传感器主要有GNSS、RTK和IMU，这些传感器实现自动驾驶汽车的绝对定位。摄像机和雷达是常用于看清周围环境的传感器，它们感知的信息也可以与高精地图进行比对，实现自动驾驶汽车的相对定位。各类传感器与信息融合构成了自动驾驶的感知系统，这些传感器设备是智能驾驶算法的基础。

2.2.1 GNSS、RTK以及IMU

自动驾驶汽车的绝对定位依赖于全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 完成, GPS 是使用最广泛的 GNSS 系统^[2]。通常自动驾驶汽车的GPS接收器同时接收4颗卫星的信号, 并通过四球面相交法获得一个绝对的位置信息。然而, GNSS定位精度会受到卫星轨道误差及钟差、电离层延迟、对流层延迟、接收机钟差、观测噪声和多路径效应等多种因素的影响, 误差可达到米级, 无法满足自动驾驶汽车的定位精度要求^[4,5]。因此, 在定位过程中, 自动驾驶车可以使用实时动态差分定位技术 (Real Time Kinematic, RTK) 降低GPS接收器的误差方差, 并实现厘米级别的定位精度。虽然GNSS结合RTK提高了定位精度, 但长时间的GPS信号丢失依然会对自动驾驶汽车定位带来很大风险, 例如行驶过程进入山区或隧道等信号覆盖不佳的局域。这种情况下, 自动驾驶汽车可以结合惯性测量单元 (Inertial Measurement Unit, IMU), 根据自动驾驶汽车最后一次接收到的定位数据, 结合前进的速度、方向和角度等信息, 自行建立一个坐标系并计算出一个位置信息, 结合地图实现短时自主导航。

2.2.2 摄像机

摄像机是自动驾驶视觉影像处理系统的基础, 可用于目标分类, 例如感知车道线、障碍物、交通信号灯、交通标志牌和地面标志, 以及可通行的空间。摄像机具有极强的环境细节信息提取能力, 信息提取最丰富, 因此基本每个自动驾驶的感知方案都会使用摄像机。然后, 摄像机在测距方面的精度较低, 同时受光照影响大, 在夜晚的效果不佳。

根据不同的镜头和布置方式, 摄像机主要分为四种类型: 单目摄像机、双目摄像机、三目摄像机和环视摄像机。由于每个摄像机的感知范围与其焦距有关, 因此无法同时兼顾感知范围的视野和距离, 自动驾驶汽车一般在挡风玻璃下使用三目摄像机弥补感知范围的问题。

2.2.3 雷达

自动驾驶环境感知中, 雷达是一种重要的传感器。根据不同的探测距离、分辨率等因素, 可以使用不同类型的雷达, 包括激光雷达 (Light Detection and Ranging, LiDAR)、毫米波雷达 (Radio Detection and Ranging, Radar) 和超声波雷达 (Ultrasonic Sensor) 等。

(1) 激光雷达

激光雷达是一种以发射激光束探测目标的位置、速度等特征量的雷达系统, 可用于检测物体表面、尺寸及准确位置朝向, 也可以通过点云数据实现 3D 空间建模。

激光雷达具有测距精度高、测距范围大、对温度和光照的适应性强、抗有源干扰能力强等优点, 因此在自动驾驶环境感知中扮演着重要的角色。但是在开阔地带, 会由于缺乏特征点存在点云稀疏甚至缺失的情况, 面对不规则表面物体, 激光雷达也不易分辨出其特征, 另外无法应对沙尘天气。目前来说激光雷达还有价格高昂的缺点, 量产不易。激光雷达可安装在自动驾驶车的四周, 其激光线束一般小于8, 常见的有单线激光雷达和四线激光雷达, 例如奥迪A8在汽车的进气格栅下布置了一个四线激光雷达。另一类激光雷达可安装在自动驾驶车的车顶, 其激光线束一般不小于16 (感知范围达到360°), 例如理想L7 Max安装在车顶的128线激光雷达。

(2) 毫米波雷达

毫米波雷达常用于检测远距离物体, 能够准确地估计其速度和朝向。与激光雷达相比, 毫米波雷达使用的是频率在10GHz~200GHz的电磁波, 其波长在毫米级别, 被称为毫米波。毫米波雷达由于电磁波的特性, 具备更强的穿透性和更远的探测距离。毫米波雷达能够实现障碍物检测、盲区检测、变道辅助、紧急制动和高速公路跟车等功能。与传统的摄像机测距、测速方法相比, 毫米波雷达能够更加准确地检测目标物体的运动状态, 并且在沙尘天气等恶劣环境下, 也能够正常工作, 大大提高了车辆的安全性能。同时与其他传感器相比, 毫米波雷达价格适中, 性价比较高, 被称为自动驾驶汽车“量产必备”的感知设备。为了充分发挥毫米波雷达的探测效果, 通常将其安装在汽车的保险杠内, 用于大范围检测车辆的运行情况。

(3) 超声波雷达

超声波雷达是一种基于超声波原理的距离测量传感器, 其工作原理类似于蝙蝠使用超声波探测周围环境。相比其他雷达技术, 超声波雷达的感知范围相对较窄, 但其最大优势在于成本很低, 通常会安装多个超声波雷达以覆盖整个车身, 如汽车前后保险杠上各安装4个, 汽车前后左右四个角各安装1个, 共12个, 被广泛应用于停车辅助、停车位检测、高速横向辅助等场景。

2.4 环境感知的技术路线分歧

目前环境感知的技术路线主要有两种, 一种是摄像机和毫米波雷达的融合方案, 另一种是激光雷达、摄像机以及毫米波雷达的融合方案, 焦点在于是否使用激光雷达。鉴于当前处理图像的深度学习方法还远没有达到人脑那么智能, 笔者认为自动驾驶汽车的环境感知设备中加入激光雷达是更为稳妥的方式。

3 自动驾驶决策

在对周围环境清晰感知之后，自动驾驶汽车需要进行运动预测和路径规划，以进行自动驾驶决策。

3.1 运动预测

运动预测主要针对的是周围环境中的其他运动物体，比如汽车、自行车、行人等，需要对这些运动物体未来一段时间的行为意图进行预测，并形成这些运动物体可能的运动轨迹，作为自动驾驶汽车决策的输入数据。

3.2 路径规划

路径规划决定自动驾驶汽车即将做什么，主要由两个步骤组成：路线规划和轨迹规划。在确定出发点和到达点之后，首先进行路线规划，基于地图等信息规划一条合适的路径。然后进行轨迹规划，考虑路况、车速、车体限制、可行区域、其他运动物体的位置和运动等多种因素，生成一条免碰撞和舒适的可行轨迹。路径规划和轨迹规划需要紧密结合，以便自动驾驶汽车可以实现高效、安全、舒适的行驶。

4 执行

执行即自动驾驶汽车根据决策好的轨迹前行，具体控制包括转向、加速和制动等。执行控制需要确保准确性、可行性和平稳性。准确性意味着需要避免偏离目标轨迹。可行性指执行策略需要考虑汽车的物理特性和可行性。平稳性意味着要提供舒适的乘坐体验，行进必须连续，避免突然转向、加速或制动等不平稳的操作。总之，使用可行的执行输入，最大限度地降低与目标轨迹的偏差，同时最大限度地提高乘坐的舒适度。

5 自动驾驶发展建议

自动驾驶汽车依赖于机器学习算法，因此需要吸收大量数据以学习驾驶技巧。然而，不同自动驾驶系统开发商主要的测试区域不同，对非主要测试区域的气候、环境和路况的适应性不足，加上棘手的“edge cases”，比如遇到一头牛站在路中间这一类少见但影响巨大的事件，会导致失灵风险。因此，共享开放行车数据是解决这一问题的关键措施之一。

共享行车数据不仅可以让更多自动驾驶系统开发商使用“全量”训练数据来对各自的机器学习算法进行训

练和优化，提高自动驾驶汽车的安全性和可靠性，还可以支持交通、公安等政府部门维护道路交通安全和社会治安、调查事故原因。然后，根据毕马威会计事务所2020年发布的《自动驾驶汽车成熟度指数》报告，我国自动驾驶发展的主要问题之一是数据共享度低，这导致高精地图制作、算法的深度学习等高度依赖数据的自动驾驶技术发展空间受限。

因此，政府需要建立完善的法律法规体系，明确数据采集、使用和共享的原则和规范，以保护公众利益和数据隐私。政府还可以制定开放共享的激励政策，以及为数据的共享和开放提供相应的技术支持，鼓励企业和组织积极参与自动驾驶数据共享和开放。

除了推动自动驾驶数据的开放共享，政府还可设立专项资金，对自动驾驶技术攻坚进行财政补贴；对积极参与自动驾驶技术研发的企业和组织减免相应的税收，降低其研发成本，促进技术创新；或出资支持自动驾驶技术研发基础设施建设，如数据中心、测试场地等。同时，政府还可以在全球范围内进行合作，共同推进自动驾驶技术的发展，提高我国在自动驾驶技术领域的国际竞争力。

结束语

随着城市化进程的不断推进，道路日益拥堵、交通事故频发，这些问题对人们的生活和工作造成了巨大的负担。而自动驾驶技术的发展，将为我们带来更为便捷、安全和舒适的出行方式。未来，自动驾驶技术将与电动、共享经济等形成有机结合，共同改变汽车的基因，在推动出行方式全面升级的同时，还能缓解石油依赖和全球变暖。让我们期待自动驾驶技术的发展和应用于人类出行带来更美好的未来。

参考文献

- [1]田睿,刘晓辉. GNSS定位原理及误差综述[J]. 数码世界,2020(7):25.
- [2]高峰,郑晨. GNSS差分定位中的误差源分析[J]. 现代导航,2019,10(3):177-181.