

# 自动驾驶未来今日

如何通过人工智能、数字化和仿真技术的协同，加快实现对自动驾驶功能的高效验证？



# 目录

简介	3
验证和确认生态系统的多个维度的集成	5
人工智能和数字孪生对自动驾驶汽车认证的影响	13
数字化和软件在自动驾驶汽车开发和验证中的作用	17
新兴的验证和确认方法论	18
自动驾驶汽车开发、测试和验证的关键要素	19
尾注	20

# 简介

20年前进入汽车市场的第一波现代高级驾驶辅助系统（Advanced Driver-Assistance Systems, ADAS）是一个工程上的突破，它将传感器集成到车辆中，提醒驾驶员注意异常情况，并在某些情况下进行干预。例如，1999年，捷豹以其自动车距控制系统和基于雷达的主动巡航控制系统进入市场，推出了捷豹XKR。<sup>1</sup> 2010年，沃尔沃发布行人检测系统，使用雷达和摄像头，在有行人进入到汽车正前方行驶区域时，向司机发出警告以及启动紧急制动程序。<sup>2</sup>

然而，在过去20年里，世界发生了巨大的变化。现在，基于人工智能（Artificial Intelligence, AI）的高级驾驶辅助系统（ADAS）和自动驾驶汽车（Autonomous Vehicle, AV）系统已经大量涌现，数据驱动的工程、测试和验证技术有了很大的进步。全球各国都在制定自动驾驶汽车系统的安全规范。国际组织如联合国欧洲经济委员会（UNECE）、国际汽车工程协会（SAE International）和国际标准化组织（ISO），以及区域组织如欧洲的德国技术监督协会（TÜV）和欧洲新车安全评鉴协会（NCAP）、美国国家交通安全管理局（NHTSA）和中国汽车技术研究中心（CATARC），已经为自动驾驶功能制定了路线图和严格的安全标准，如预防追尾、倒车和停车、车道辅助、保持安全距离和自动紧急制动系统。围绕ISO 26262和预期功能安全（SOTIF）的规范和标准已经在汽车行业内建立。所有这些创新都旨在提高安全性和可靠性。

随着技术的进步，产品设计变得越来越复杂，尤其是针对汽车工程协会（SAE）L3级别以上的汽车，其具有更高的自主性。<sup>3</sup> 为了实现这一目标，汽车制造商正在车内装备实时的V2X服务、高清地图以及高性能

的传感器，如摄像头、激光雷达（LiDAR）和毫米波雷达。通过复杂的数字技术和通信技术，它们将感知结果进行融合。

除此之外，汽车主机厂已经引入了自动驾驶汽车域控制器，整合了处理过程，这种进步使得证明和记录人工智能系统代表司机做决定的可预测性、合理性和完整性的决策过程更具挑战性。

这导致了汽车主机厂面临的巨大挑战之一：传统的传感器和软件工程已经非常复杂，但现在管理验证人工智能系统所需的海量数据也非常复杂。下一代自动驾驶汽车平台每天可以轻松产生高达200TB的数据。在一个星期内，它们可以产生一个PB级的数据。SAE L3自动驾驶所需的数据量很容易达到200至300TB。这比谷歌地图数据库的预计规模多出五到七倍，据估计，整个谷歌地球地图储存数据约为43PB。<sup>4</sup>

为了安全地验证自动驾驶汽车功能，需要大量的测试场景和超过1亿公里的试驾。这需要大量的驾驶、测试、验证，以及一个融合了虚拟仿真、数据挖掘和人工智能的深度设计的端到端流程。

今天，测试是在路上、在测试台和在数据中心进行的。通常，验证生态系统包括代码审查、单元和组件测试、模型在环（MiL）、软件在环（SiL）、硬件在环（HiL）、车辆在环（ViL）或更普遍的X在环（XiL），这些都需要一致的可追溯性。为了确保灵活性、可扩展性和成本效益，一个混合（多）云基础设施和数据协调是关键的成功因素。

- 
1. "Adaptive cruise control," Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Adaptive\\_cruise\\_control](https://en.wikipedia.org/wiki/Adaptive_cruise_control)
  2. Steinken, Melissa "Timeline: Milestones in ADAS Before 2010," Jan. 27, 2020, Adapt <https://www.adaptautomotive.com/articles/51-timeline-milestones-in-adas-before-2010>
  3. Webpage, "SAE International Releases Updated Visual Chart for Its "Levels of Driving Automation" Standard for Self-Driving Vehicles Dec. 11, 2018, SAE International <https://www.sae.org/news/press-room/2018/12/sae-international-releases-updated-visual-chart-for-its-%E2%80%9CLevels-of-driving-automation%E2%80%9D-standard-for-self-driving-vehicles>
  4. Mesarina, Malena "How much storage space do you need for Google maps?" Dec. 18, 2016, Stellar Peers, Medium <https://medium.com/stellarpeers/how-much-storage-space-do-you-need-for-google-maps-24e83a0d5436>



在整个工程研发过程中，不同的参与者倾向于使用不同的方法论，如V模型、瀑布或敏捷开发，并使用不同的衡量标准。汽车研发（R&D）工程师以系统工程级别和功能要求的方式思考。IT工程师以迭代的方式解决问题，通常使用更多的数据、更大的带宽和增强的计算能力，如更多的中央处理器（CPU）、内存或图形处理器（GPU）。

由于开发和验证阶段是相互关联的，多学科的研发和IT DevOps团队需要开发一种共同的语言，并让拥有开发和验证经验的高技能人员参与进来，他们可以在这两个领域安全操作，以弥合差距。

随着越来越多的人工智能和机器学习系统进入市场，特别是进入到自动驾驶汽车领域后，要证明这些系统的可预测性、可靠性、合理性和正确性就变得更加困难。这就要求有一个数据驱动的自动驾驶汽车验证和确认过程。

尽管自动驾驶汽车系统和功能的开发挑战巨大，但我们致力于解决当前和下一代SAE L3+级别自主车辆验证和确认（Verification & Validation, V&V）中的关键问题。本文专门提出了五个主要挑战，针对验证和

确认领域，旨在帮助汽车制造商在自动驾驶汽车市场竞争中取得领先地位，以下是这些挑战：

1. 验证和确认生态系统的多个维度的集成
2. 人工智能和数字孪生对自动驾驶汽车认证的影响
3. 数字化和软件在自动驾驶汽车开发和验证中的作用
4. 新兴的验证和确认方法论
5. 自动驾驶汽车开发、测试和验证的关键要素

除了技术方面的挑战，自动驾驶汽车的发展还面临着法律、道德和社会方面的挑战。例如，自动驾驶汽车的责任问题、隐私和安全问题、城市规划和交通管理问题等等。因此，在自动驾驶汽车领域的发展中，不仅需要技术的进步，还需要政府、企业和社会各方的共同努力，形成全方位、多层次的合作机制，推动自动驾驶汽车的发展和普及。

总的来说，自动驾驶汽车是一个充满挑战和机遇的领域。随着技术和社会的不断进步，自动驾驶汽车的发展前景仍然十分广阔。无论是政府、企业还是个人，都需要以开放、包容的态度，积极探索、推动和参与自动驾驶汽车领域的发展。

# 验证和确认生态系统的多个维度的集成

管理一个综合的验证和确认生态系统需要考虑四个重要方面：战略、法律、企业和技术。

## 战略方面

最近的研究报告指出：

- 2020年至2030年期间，对汽车的需求正在发生急剧变化。今天，全球汽车主机厂的市值约为1万亿美元。预计到2025年将增加到1.9万亿美元，然后到2030年下降到1.4万亿美元，在短短五年内下降35%。在同一时期，自动出行即服务（mobility-as-a-service）的市值预计将从今天的1090亿美元增长到2030年的9万亿美元。<sup>5</sup> 我们预计汽车销售模式将发生变革，因为入门级汽车将更多地纳入出行即服务模式，而豪华汽车可能仍然主要面向个人购买。
- 预计自主打车服务将把出行成本降低到现在出租车平均成本的十分之一。如今，自动驾驶汽车已经成为一种趋势，这也加速了人们的广泛采用。到2030年，自动驾驶叫车平台每年将产生超过1万亿美元的利润。<sup>5</sup> 此外，汽车主机厂和车队所有者可以分别享受2500亿美元和700亿美元的利润。<sup>6</sup>
- 2019年亚太地区豪华车市场规模达到2318亿美元，并预计将在未来的十年中继续保持主导地位。中国作为该地区增长潜力最大的国家之一。<sup>7</sup> 中国、韩国和日本正制定车辆和道路安全法规，以促进高级驾驶辅助系统（ADAS）的推广和应用。

为了迎接这些变化，许多国家和地区已经在为这种模式的转变做准备。欧盟（EU）已经扩大了高级驾驶辅助系统（ADAS）系统的授权范围，如自动紧急制动（AEB）和车道偏离警告（LDW）系统，以及预碰撞系统（PCS）。

在北美，越来越多的政府采取不同举措推行驾驶辅助系统，预计将加速市场增长。驾驶辅助系统更多地在小型汽车中采用，也将进一步促进市场需求。

从历史上看，人们可以从三个方面及其相关特征区分出行方式（Mobility）。

- 范式：私家（车辆）与公共（公共汽车、火车等）与按需（出租车、共享）的出行方式
- 商业模式：买与租与按使用量付费
- 驾驶的方式：驾驶员驾驶与自动驾驶

在过去的二十年里，我们看到不同出行方式和商业模式两个维度的混合。然而，随着最近技术的进步，许多新的商业和服务模式正在出现。在未来几年，我们可能会看到从私家车/驾驶员驾驶向私家车/自动驾驶、共享/自动驾驶和按需/自动驾驶的出行方式过渡。

想象一下，未来的智慧城市，会是一个拥有共享电动、按使用量付费自动出行的城市，居民可以安心使用不同出行服务。若想成为这个潜在的巨大市场的服务提供商之一，汽车主机厂今天必须做出行动。

然而，他们面临的一个挑战是应对不同的市场差异，例如各地区的公路交通如何不同。中国上海的城市交通与印度孟买和美国洛杉矶的城市交通相比较，显然条件是相当不同的。即使有1949年9月在日内瓦和1968年11月在维也纳签订的《联合国道路交通公约》确立了标准，但在许多地区从功能角度应对市场差异方面仍然存在相当大的差异。

5. ARK Investment Management LLC <https://ark-invest.com/articles/analyst-research/autonomous-taxi-market-value/>

6. "Big Ideas 2021," Jan. 26, 2021 ARK Investment Management LLC <https://ark-invest.com/big-ideas-2021/>

7. "Transportation and Logistics, Luxury Car Market," Dec. 2020, Fortune Business Insights <https://www.fortunebusinessinsights.com/luxury-car-market-104453>



汽车主机厂必须应对以下挑战:

#### 1. 市场和销售目标

哪些市场是相关的，每个市场的正确比重是多少？

#### 2. 监管要求

在不同地区，汽车主机厂必须遵守哪些法规？

#### 3. 自动驾驶汽车功能和解决方案

哪些功能正在开发中，应被验证（尊重特定国家的行为和车道标线、路标、障碍物、动物等）？是否可以针对有相似要求的国家进行联合开发以简化验证过程？

#### 4. 安全问题

是否有安全方面的关键影响和意义？

#### 5. 测试策略

如何通过确保所有相关市场的良好测试覆盖率和测试深度来降低潜在风险？

#### 6. 测试方法

如何将开环（如物理场景）与闭环（如虚拟场景）测试混合在一起，最重要的是，如何验证虚拟机仿真技术的正确性，并与同源性检测结果相匹配。

#### 7. 测试设计和规范

什么是正确的测试案例和测试场景，以及如何定义和收集相应的测试数据？

#### 8. 测试数据

人工智能系统的开发（如训练）以及测试和验证（如净公里、净英里、净小时、净场景、净数据量等）需要多少数据量？如何建立数据湖架构，以便在数据池中轻松找到特定场景？

#### 9. 验证与确认生态系统和测试台

确认测试生态系统内的正确组合，如单元测试、软件在环（SiL）、硬件在环（HiL）、虚拟验证等？

## 10. 汇报方法和关键绩效指标 (KPI)

哪种汇报方法和关键绩效指标是监测自动驾驶汽车验证项目和衡量测试结果和最终软件质量的合适方法？

## 11. 定制重复使用场景和Delta测试

有哪些场景可以在开发或验证过程中进行重复使用，采用增量测试的概念，以确保训练和验证数据集的一致性？

这些问题可能看起来很简单，但却不容易回答。必须确定创建数据池的正确策略，注入正确的场景，并根据这一策略开发最佳测试的生态系统。

确定适当组合的确定性和统计性的物理和虚拟场景，涵盖常规驾驶场景和极端情况，对于证明系统的确定性和统计性的正确性至关重要，确保其一致性。

## 在自动驾驶汽车系统工程、验证和确认中，变化是永恒的话题。

因为变化是开发和验证项目中的一个常态，汽车主机厂必须选择更敏捷和能够应对快速变化的合作伙伴。这一特征对服务行业的合作方式和商业模式有很大影响。

### 法律方面

1949年和1968年的联合国道路交通公约规定了全球普遍接受的道路交通安全标准。伴随着自动驾驶的引入，联合国欧洲经济委员会已经为自动驾驶汽车的普及铺平了道路，对《道路交通公约》的修正案2016年3月23日生效。

从该日起，在实际交通中，将驾驶任务转移给车辆的自动驾驶技术将被明确允许使用，但这些技术必须符合联合国的车辆规范，或者这些操作功能可以被司机接管和关闭。

当前业界正在创建安全可靠的自动驾驶监管框架，其中包括ISO 26262、预期功能安全 (SOTIF)、汽车软件过程改进及能力评估 (ASPICE)、汽车安全完整性等级 (ASIL) 等规范和标准，以及汽车工程协会 (SAE)、德国技术监督协会 (TÜV)、欧洲新车安全评鉴协会 (EuroNCAP)、美国国家交通安全管理局 (NHTSA)、中国汽车技术研究中心 (CATARC) 等国际法律框架提议正在进行中。然而，实现可信和安全的SAE L3+自动出行和最终认证的道路具有挑战性。

对于汽车主机厂来说，能够追溯测试用例和各自的场景需求，以及每个硬件或软件版本的相关测试结果，是至关重要的。他们需要阐明适当的测试深度和测试覆盖率，将传统的僵化的基于系统工程的开发过程转变为更敏捷的，同样可信任的数据驱动的开发和验证过程。

除了系统和功能本身，尊重每个国家适用的区域和国家数据隐私和安全法规也至关重要的，特别是在大规模全球活动中，需要从公共道路收集实际数据时。

除了ISO 26262、预期功能安全 (SOTIF)、汽车软件过程改进及能力评定 (ASPICE) 和汽车安全完整性等级 (ASIL) 等安全相关规范和标准外，汽车主机厂还应该考虑数据隐私政策、网络安全和国家安全的法律影响。

数据隐私和安全可能会涉及到关键的法律问题，这些问题因国家而异，并在不断发展变化。例如，欧盟《通用数据保护条例》（EU GDPR）对个人信息的使用非常严格，如行人的面部图像、车牌和个人的精确全球定位系统（GPS）位置。欧盟《通用数据保护条例》明确规定了收集数据、数据安全性的合法基础和透明度，确认了问责制和治理措施，以保障个人隐私权。

在俄罗斯，拍摄桥梁、发电厂、地铁站或任何其他相关基础设施的图像和数据都是非法的，并被归类为间谍行为。

2020年1月6日，美国政府修订了军民两用出口管制，以涵盖人工智能和机器学习（ML）应用中使用的特定软件，如使用相机或激光雷达（LiDAR）点云作为训练数据的深度神经网络。因此，美国工业与安全局（BIS）修订了《出口管理条例》（EAR），对出口和再出口专门用于自动分析地理空间图像（以及任何此类培训或验证数据）的软件施加许可证要求，出口到加拿大以外的所有目的地均需获得许可证。

中国关于国家安全和网络安全法律和法规也禁止在没有适当许可的情况下收集地理空间信息——包括由相机、激光雷达（LiDAR）和全球定位系统（GPS）传感器生成的相关信息。

在从任何国家出口数据之前，汽车主机厂必须确保不会违反任何数据出口管制条例。

鉴于对数据存储和处理地点的限制，工程研发公司、基础设施供应商和汽车主机厂必须部署区域或本地项目站点，以根据区域和国家的规定提供服务。我们强烈建议他们计划或在公共道路上进行任何测试活动之前寻求当地的法律顾问，并在启动任何活动之前与有关当局保持一致，因为不遵守规定的后果可能很严重。当计划使用混合（私有）云基础设施在全球范围

内共享数据时，各方必须实施适当的数据安全措施。强烈建议在与不同国家的其他实体或项目合作伙伴共享数据，或让他们远程访问敏感信息之前对数据进行匿名处理。强大的数据安全管理和限制性的数据治理是至关重要的。

理想情况下，自动驾驶汽车的测试和验证基础设施以及数据储存地应始终位于每个相应的国家或地区，特别是对于中国、欧洲和美国。

## 企业方面

现代全球化的自动驾驶汽车开发和验证企业是跨国、具备多种行业能力的。他们灵活、敏捷，并且执行力强。他们可以对新情况作出快速反应，并在整个产品开发生命周期中应对变化。这些开发和验证企业不受有害竞争和政治的影响，能够快速找到问题的解决方案。他们重视文化差异和多样性，同时遵循共同的核心价值观。通过利用远程、现场、异地、近岸和离岸的能力，这些企业搭建了高技能的全球人才库。

公司必须在企业流程（特别是与开发安全关键系统有关的流程）和企业文化中植入的敏捷和灵活的主人翁意识之间找到良好的平衡。速度、敏捷性和快速决策与当地的客户文化整合同样重要。服务提供商必须能够在所有地区（亚太、欧洲、中东和非洲以及美洲）提供本地服务。



在认证的过程中，汽车主机厂正在实施几乎相同的自动驾驶汽车验证与确认生态系统：

- **测试策略整合制**

从流程设计到测试执行和报告，定义清晰的测试策略和自动化测试，利用人工智能有效地整合和管理开发过程中的变化

- **数据生产**

开展实际的道路车辆数据收集活动，并为符合全球和地区法规的测试场景制作相应的仿真数据

- **数据管理和人工智能**

覆盖从注入、后处理、数据标注和信息富集的过程，利用人工智能确保数据的质量、隐私和安全

- **工具链集成和数字连续性**

通过将所有软件工具无缝连接到一致的工具链中，并将集成扩展给其他合作伙伴和数据源，确保数字连续性

- **混合云基础设施**

定义基础设施策略，设计其架构，并提供可扩展的混合云解决方案来支持高级驾驶辅助系统（ADAS）开发

以上部分工作应该在现场或相应地区实施，其他的工作则是集中统一展开。工程师们应经常问自己，他们是否能够获得有关测试过程的所有必要的关键信息。这就是分析和人工智能派上用场的地方。

汽车主机厂必须弥合传统系统工程、敏捷、基于SCRUM的方法、DevOps、LeSS、持续集成（CI）和持续交付（CD）之间的差距。



汽车主机厂应该致力于在生产过程的每个阶段,都招募具有相应专业知识、思维方式和背景的人才。合格的工程师需要有大约八年的经验,包括汽车行业的知识,以及管理大规模项目的的能力。越来越重要的是,团队成员应该具有协作和灵活的心态。人才将大大影响自动驾驶汽车项目的成功与否。

汽车主机厂和一级供应商需要在开发过程中尽早建立一个联合、跨职能架构的管理团队。该团队将对整个价值链的完整端到端数据流进行建模,并解决车辆、测量系统、硬件在环/软件在环(HiL/SiL)的重新模拟和数据管理基础设施之间的依赖关系,以确保整齐流畅的操作。

那些能够建立跨国、文化包容、灵活、敏捷和不同行业背景的团队的工程研发企业,并且主要负责管理包括云和IT在内的汽车研发领域,将在竞争中领先。

## 技术方面

自动驾驶汽车系统、传感器和功能的开发在技术上非常复杂。当涉及到这些系统的验证时,验证工具链的复杂性不应该被低估。验证生态系统的主要技术构件包括:

- **车辆和网络**

通常情况下,现有的量产车是下一代系统和技术的载体平台。常规来说,现有的网络和信号必须转换为下一代协议。5G将成为共享和智能出行的重要驱动力。

- **(预)系列开发的传感器和电子控制单元**

在测试中,这些单元包括正在开发的下一代系统,如摄像头、雷达、激光雷达(LiDAR)、远红外线(FIR)或类似的传感器技术。

- **二级传感器**

这些传感器,包括高性能激光雷达(LiDAR)、高性能摄像头、不同的全球定位系统(GPS)或类似的传感器,通常用于自动创建经过验证的真实数据。

- **自动驾驶汽车功能和高清地图**

自动驾驶功能以主动模式或去活化(被动/阴影)模式进行开发和验证,动态高清地图被创建并不断更新。

- **测量系统和技术**

在数据收集活动中,重要的是要确保(理想情况下是加密的)记录和可视化系统。系统必须能够处理所需的数据速率,并提供必要的日志记录通道和监控程序来监控整个系统状态,以便及早发现问题。

- **测试生态系统和测试台**

测试和验证的实验室环境必须包括模型在环(MiL)、软件在环(SiL)、车辆在环(ViL)、硬件在环(HiL)、硬件虚拟化等。

- **验证工具链、分析和人工智能平台**

产品生命周期管理(PLM)需要的软件工具链包括测试管理套件、数据管理套件、问题管理、仿真工具、DevOps和持续集成/持续交付(CI/CD)集成。

- **微服务平台**

该平台提供了一个抽象框架，用于在底层IT基础设施之上集成各种微服务。它利用虚拟化和容器化、实现安全和治理，并为整个服务生态系统提供所需的协调器、日志机制和更通用的接口。

- **IT基础设施、混合云和互联互通**

基础设施包括地理分布式、虚拟化和安全的混合内部/外部扩展云和IT基础设施，具有热、温、冷归档存储、计算、网络和互联。通常可跟踪的数据流、摄取和数据质量都很重要，但往往被低估。

在预开发期间，必须选择合适的传感器组。此外，有必要确保现有工具和新工具的数字连续性。汽车主机厂和一级供应商带来了他们多年来投资开发的历史工具，抛弃它们是没有意义的。相反，它们需要被整合和对接，以建立一个连贯的系统架构和工具生态系统。为了实现虚拟测试的准确性，必须了解并明确定义需要投资的领域。

典型的系统工程工具包括IBM Rational DOORS和Rhapsody、Intland codebeamer、Sparx Systems Enterprise Architect，以及MATLAB Simulink/TargetLink、AUTOSAR相关工具集、Vector CANape或CANoe、Elektrobit EB tresos、Continental MTS、仿真环境如IPG Automotive CarMaker或VIREN Virtual Test Drive、dSPACE vEOS 或 ControlDesk，以及其他许多工具。这些工具在最好的情况下是有标准化格式的，在最坏的情况下所有的结果产出均是用不同专有文件格式。

在经典工具集的基础上，在整个过程中为数据摄取、数据解码、数据质量、编排和报告提供正确的数据管理工具是很重要的。在平台和框架方面，使用Docker、Kubernetes或类似平台的轻量级虚拟化非常重要，与Caffe和TensorFlow等人工智能框架的集成也很重要。

此外，DevOps和持续集成/持续交付（CI/CD）工具，如Atlassian、Jira和Confluence、Git版本管理和许多其他工具可以集成到一致的生态系统中。许多其他工具已经存在，包括数据摄取和质量保证或与合作伙伴和供应商的数据交换工具。许多需求不断变化的工具共存，需要集成到软件或硬件循环、虚拟模拟编排、KPI生成仪表盘分析、人工智能以及场景检测和分类的历史工具集中。

汽车主机厂和供应商必须考虑，用于自动驾驶汽车培训和验证数据生产的车辆、传感器和系统往往处于最终产品的早期预开发阶段，容易出现故障。整体的稳定性和准确性可能比预期的要差，所以必须实施持续的质量保证和问题管理流程，以适当地管理系统可用性并应对意外问题。

在进入验证阶段或传感器校准问题时，没有人想到要收集的信号和参数可能会导致重新模拟时出现严重的问题。不能正确地相互同步数据通道，或者不能确定地重新模拟在实验室或随后在测试台上创建的系统和功能行为，最多可能导致严重的项目延迟。在全球数据收集活动中，如果传感器组没有经过充分验证，可能会产生无用的数据，要么必须在随后付出巨大努力进行修复，最坏的情况下，需要重新创建数据收集。

今天的自动驾驶汽车测试车每天很容易产生超过64TB的数据。定期的测试活动涉及超过100万公里的测试里程，这相当于8到12辆车一整年的行驶里程。因此，汽车主机厂在每个开发项目中产生了超过150PB的大量数据，必须对这些数据进行管理、组织、存储和处理，并依靠透明的报告和分析来获取有价值的信息。

凯捷科技研发与亚马逊云服务（AWS）、微软（Microsoft）和谷歌等基础设施提供商以及英伟达（NVIDIA）、英特尔（Intel）和戴尔（Dell Technologies）等技术提供商正在合作建立一个集成的端到端自动驾驶汽车验证和确认生态系统。该团队正在共同应对复杂的测试挑战，测试一个Level 3+项目，在驾驶员参与的情况下进行部分自动驾驶和完全自动驾驶，团队针对项目潜在可行性提出了五个问题。至关重要的一点是，能够在自动驾驶汽车项目中应对不断发生的变化。工程师需要在整个产品开发生命周期中（从早期设计阶段到最终认证）评估变化产生的影响。

例如，当传感器在汽车中的位置发生变化时，可能会影响传感器的校准和它对世界的感知。另一个很好的例子可能是挡风玻璃角度的改变，这很可能会影响到前置摄像头的光路和它对现实的感知。同样，车辆保险杠设计的改变可能会影响安装在保险杠后面的近程转角雷达传感器。这也引发了一些问题，例如，在传感器重新定位之前收集的数据是否可重用？这是汽车行业正在努力解决的最具挑战性的问题之一。

考虑到传感器定位的许多变量，以及在任何特定时间有50多辆测试车运行的必要性，因此整个验证与确认过程需要绝对精确，以确保得到高质量测试结果。

为了获得最高质量的测试结果，确保数据能够再利用，汽车主机厂必须回答三个基本问题：

- 如何优化测试过程？
- 如何能以更智能的方式收集数据？具体而言，是否有办法通过从更少的数据中分析到更多的信息来提高数据的价值？
- 在面临未来几个月内难以预测和计划的情况下，如何最优化地分配测试预算？

# 人工智能和数字孪生对自动驾驶汽车认证的影响

随着人工智能的兴起，要证明基于统计学习的人工智能算法是按预期运行的，变得越来越有挑战性。日益严格的法规、对海量数据的需求、上市时间的压力以及流程日益复杂，这些都推动了汽车验证与确认服务的发展。虚拟化和仿真等新技术为汽车主机厂设计、销售和维护车辆的方式带来了重大变化。

汽车主机厂必须证明其验证与确认过程的安全性，才能获得监管机构对自动驾驶系统和功能的批准。这意味着他们必须回答有关整体系统安全和质量的六个问题。

## 正确性

例如，高度自动驾驶功能是否功能按预期工作？

## 完整性

从涵盖所有可能情况的意义上说，系统是否完整？

## 合理性

在任何情况下，这些功能都会做出理性的决定吗？这本身就已经是一个具有挑战性的哲学问题。

## 稳定和鲁棒性

在不利条件下，系统和功能是否仍能在预期的规范内运作？

## 安全性

这些系统是否值得信任？

## 合规性

最重要的是，系统和功能是否符合适用的规范、标准和条例？

这些问题都很有挑战性，但我们可以运用真实世界的的数据，以及运用虚拟模拟模型，就可以给出肯定的答案。

例如，验证一个完全自动化的SAE L4系统需要在公共道路上收集2.4亿多公里的数据，这对应着理论上超过2000辆汽车的车队规模，需要运行一整年得到的数据。一个由十辆汽车组成的车队运行一年，意味着产出大约150至200PB的数据。将测试规模扩大到2,000辆车的成本是非常昂贵的，特别是当它需要艾字节区域 (1 EB = 1,000 PB =  $10^{18}$  B) 的IT基础设施时。汽车主机厂唯一的选择就是改变测试方法。虽然现实世界的物理测试将继续进行，但关注重点将逐渐改变为包括仿真在内的新技术。这意味着只需更低的成本，汽车主机厂就能够更迅速地扩大测试覆盖率。

凯捷科技研发致力于成为汽车企业的战略合作伙伴，与客户举办联合开发会议和研讨会，使得汽车主机厂可以参与到端到端的决策过程中，在共同研发过程中，凯捷科技研发将共享我们的想法、愿景和战略。

### 将物理世界的测试作为虚拟仿真的基础

在过去，测试数据或多或少是在测试期间同期收集的。现在，由于需要大量的测试数据，方法正在改变。测试数据是独立于实际测试过程本身并且在验证和确认发生之前收集的。今天的测试生态系统和测试工具被用于模拟仿真和物理测试的结合。

测试必须包括真实的汽车、人和道路以捕捉现实情况。然而，有可能无法捕捉到足够多的数据量来验证这个过程。值得注意的是，物理测试不仅将更频繁地用于验证系统和功能，而且还将用于验证它们的模型。最后，这一切都归结为一个核心和关键的问题：您手头是否有正确的数据池，您能否管理它？

### 基于仿真的验证

与物理世界测试相比，仿真可能是一种更优越、更经济的解决方案，因为它能够通过增加数据中心增加计算能力来轻松扩展。然而，关键是要证明仿真测试的结果与物理测试一样可靠，并能产生足够相似的结果。一个典型的例子是虚拟障碍物，它们通常

来自于物理世界的场景。这些测试可以比设计真实世界测试更加实用。例如，可以在虚拟环境中添加虚拟儿童、行人和骑自行车的人，并设计他们进行意想不到的动作，比如从障碍物后跳到移动汽车的前面。这些场景测试是必要的，而且在虚拟世界中更加容易和安全。

以Cognata为代表的初创公司，与VIRES和IPG Automotive，AVSIMULATION等其他仿真公司，以及dSPACE、National Instruments和Elektrobit等工具供应商一起，正在引领虚拟仿真市场的发展。借助DRIVE Sim和DRIVE Constellation Vehicle，Nvidia提供了一个测试和验证套件，可以在数据中心对数十亿英里进行虚拟验证。<sup>8</sup>

走向虚拟认证的最后一步是极其关键的。诸如国际工程师协会、德国技术监督协会（TÜV）、美国国家交通安全管理局（NHTSA）和中国汽车技术研究中心（CATARC）等组织正在努力为安全和可信的虚拟认证定义适当的标准。

8. Autonomous Vehicle Simulation, Nvidia <https://www.nvidia.com/en-us/self-driving-cars/drive-constellation/>

通过自动二维（2D）和三维（3D）标注技术，凯捷科技研发可以基于物理世界中获得的数据搭建完全虚拟的场景，同时利用OpenDRIVE和OpenSCENARIO等行业标准，提供定义好的数字孪生。一致的环境和传感器模型以及基于人工智能的测试流程优化器有助于处理难以验证的极端情况。

## 人工智能的崛起

另一个关键趋势是人工智能驱动的自动化。要测试传感器是否在正确的距离和时间点上感知到一个物体，需要一个经过验证的基础事实来确认传感器正确地感知到实际发生的事情。例如，传感器能否准确地验证行人离汽车很远，并朝着特定的方向移动？要正确识别行人等物体，需要人工标注。人工智能驱动的方法，如自动场景提取，在综合、虚拟化、模拟和自动化方面表现突出，可以改善端到端的测试过程。

为了获得更丰富的自动数据（如自动2D和3D标注和元数据标注），需要为车辆配备高质量的次要传感器，如激光雷达系统或高分辨率的相机系统，这些传感器彼此校准，并与车辆的其余传感器系统校准。

随着深度神经网络的兴起——特别是基于生成模型的网络（GANs）——人工智能极大地加快了测试和验证过程。在数据中心进行培训后，将决策过程带到车辆中。更进一步，人工智能方法甚至可以通过解决固有的优化问题来显著提高测试覆盖率，从而提高整体测试质量。





# 数字化和软件在自动驾驶汽车开发和验证中的作用

想象一下，在智慧城市中，完全自动的电动车以按使用付费的方式向居民提供智能出行服务。新的自动驾驶汽车功能在云端使用深度学习进行训练，并通过OTA推送新功能到车辆端。有了这个概念，创新的新商业模式将出现。

对于自动驾驶私家车，消费者可以自由决定何时激活哪些功能，只需在使用时付费即可。例如，假设一个消费者想买一辆车，主要是为了在城市环境中购物和上下班，以及在城市附近跑腿。在这种情况下，他们不太可能经常需要在高速公路上启用自动驾驶。那么，他们为什么要将自动驾驶功能纳入购车需求呢？相反，他们可以在进行长途旅行时，在有限的时间内订购自动驾驶功能。

随着汽车主机厂开始在按次计费的基础上提供软件升级，要了解智能驾驶如何适应社会需要，就需要重新思考汽车的生命周期模型。例如，在美国墨西哥湾沿岸的飓风警报期间，特斯拉通过OTA技术更新为需要疏散的特斯拉车主安装了延长电池续航时间的软件。

迄今为止，对于传统的汽车主机厂来说，汽车开发的基础主要是基于硬件。特斯拉和Lucid等科技公司采用的是更加以软件为中心的方法。许多汽车主机厂目

前正在为系统工程和系统开发流程中加入全球OTA软件功能。目前的趋势是在车辆中安装强大且更通用的控制器，并定期增强功能软件。即使在汽车销售一年后，它可能也不需要任何硬件升级，而只需要软件更新，因此可以安装新的、更复杂的软件功能。该模型支持更低成本和更有效的本地软件升级和更细化的功能发布管理。

在一个定义明确的持续集成（CI）和持续交付（CD）环境中，新的自动驾驶汽车功能的测试版可能首先在仿真环境中验证，然后仅在受控条件下的部分车队中以被动影子模式激活。该功能并不活跃，但工程研发团队可以收集宝贵的测试数据。一旦测试完成，该功能被批准，汽车就可以通过由OTA激活，应用到车队中。等待下一个车型的发布来获得技术升级已成为过去。这为汽车主机厂开辟了一个新的世界，建立了以软件为中心的敏捷、DevOps和持续集成/持续交付（CI/CD）驱动的开发流程，加快了上市时间，同时不牺牲整体产品质量，保证满足严格的安全标准。

凯捷科技研发与我们的合作伙伴一起，提供了一个参考架构，将Adaptive AUTOSAR平台与基于云的持续系统工程流程和一致的验证生态系统集成在一起。

# 新兴的验证与确认方法论

智能产业正以传统研发、云计算和信息技术的混合体出现。<sup>9</sup> 对于自动驾驶汽车的开发和验证，我们认为以下大趋势是最重要的：

- **虚拟仿真和数字孪生**  
物理测试本身仍然适用，但无论如何都不足以对自动驾驶汽车进行完整和可信的验证。物理世界的数字孪生将被用来证明模拟的正确性，并需要建立复杂的模拟模型和现实的数字孪生。
- **数据和云**  
这是数据驱动的工程与验证、未来的自动驾驶汽车和智能物联网机器的基础。
- **分析和人工智能**  
整个开发和验证与确认过程的透明度将是信任与安全认证的关键。利用机器学习、人工智能和深度学习将成为优化和加速自动驾驶汽车验证与确认过程中的最关键驱动因素。
- **协作和标准化**  
政府、监管机构、标准化机构、汽车主机厂、科技公司、供应商以及工程和IT服务提供商现在必须联合起来，共同创造自动驾驶的未来。

随着人工智能的崛起，测试方法变得更加以数据为导向，而流程、方法和工具需要快速调整。随着人工智能的兴起和SAE L2-plus及以上车型所需的测试量，汽车主机厂进入了数据驱动工程的领域。之前从分离数据集中收集的数据被用于训练、测试和验证高度自动驾驶功能，越来越多的汽车主机厂运用机器学习来实现这些功能。数据必须巧妙地收集，并在统计上

合理分布。例如，用春季和夏季创建的数据来训练AI算法，然后用秋季或冬季的数据来验证它，这没有多大意义。从物理世界中收集的公路数据也被用于构建现实的数字孪生，并通过虚拟场景进一步扩大数据湖。

自动驾驶是由数据驱动的智能产业的产物。当今复杂的系统工程项目需要一个可扩展的混合云基础设施，它比单一的本地数据中心环境更好地适应项目每个阶段的项目需求。数据的重要性和敏感性日益增长，因而要求在隐私政策、网络安全、国家安全、出口法规、数据审查和匿名化方面加强数据安全和治理。数据的丰富性和质量以及顺利管理数据的能力是成功的关键。

作为功能开发的核心，人工智能有助于优化整体验证与确认流程。例如，虚拟场景和行为可以从数据中学习。分类器和数据挖掘优化了数据池，使得特定场景更容易被识别。分析提供数据驱动的见解，以便在早期和整个工程项目中得出明智的项目决策。

在合作方面，SAE宣布成立IAMTS联盟，其中包括德国技术监督协会（TÜV）、美国国家交通安全管理局（NHTSA）和中国汽车技术研究中心（CATARC），以及工程服务和工具供应商。<sup>10</sup> 联盟成立的主要目标是跨地域标准化自动驾驶汽车验证过程。例如，在美国，自动驾驶汽车法规可能因州而异，与其他州相比，加州已经非常活跃和成熟。在欧洲，其目标是建立未来的标准。竞争很激烈，如果公司希望获得正确的流程、工具和方法，以便在未来具有竞争力，就需要提早参与竞争。

9. "Intelligent Industry – Powered by Data," Capgemini <https://www.capgemini.com/service/intelligent-industry/>

10. Kucinski, William "IAMTS association will establish standardization and testing for connected vehicles," Apr. 10, 2019 SAE International <https://www.sae.org/news/2019/04/wcx-2019-iamts-association-will-establish-standardization-and-testing-for-connected-vehicles>

# 自动驾驶汽车开发、测试和确认的关键因素

消费者将对自动驾驶汽车提出的最关键问题是：“我可以信任它们吗？”那么，汽车主机厂该如何让公众对这些汽车及其底层技术产生信任呢？

**安全和信任：**OTA是一种通过软件定义的手段逐步改善当今车辆功能的智能方式。但对于自动驾驶来说，必须按照ISO 26262、ISO/DIS 21448

(SOTIF)、SAE J3016和预期功能安全(SOTIS)的功能安全标准实施严格的安全和信任流程。事实上，这些标准和其他标准对自动驾驶汽车的成功至关重要。

一些走在前沿的玩家和科技或出行服务公司，如特斯拉、Uber、Lyft和Waymo正在取得重大进展。另外，传统的汽车主机厂，如沃尔沃、戴姆勒、奥迪、丰田和许多其他公司，以及主要的一级供应商，如博世、大陆、麦格纳和其他公司，正在加紧应对自动驾驶汽车的挑战。

**安全和隐私：**汽车主机厂必须尽一切努力保护乘坐人和基础设施，并在即将投入运营的所有自动驾驶出行服务中保障市场和国家的主权。ISO 27001定义了数据安全和隐私标准，并确保对海量数据集的测试得到正确处理、加密和匿名化，以避免未经授权的访问。这一标准对于供应商获得欧盟《通用数据保护条例》(EU GDPR)批准至关重要，合作方涉及到汽车主机

厂的下游客户，上游的供应商，特别是国际供应商，因为其中数据可能在不同的国家边界之间移动。

遵守这些标准可以确保每个级别的关键决策者参与到开发过程中。汽车主机厂必须与他们经营所在国家的地方当局一起开展测试活动。这将确保他们避免所收集的数据被没收或销毁，或更糟的情况，导致外交问题，甚至遭遇间谍指控。

**效率：**汽车行业要想在短期内以显著的速度和合理的开发成本使自动驾驶汽车成为现实，唯一的机会就是与数字化、云和工程服务供应商行业的公司联合起来。

自动驾驶汽车工程研发和验证与确认项目依赖于非常复杂的成本机制，取决于规模经济以及成本是固定的还是可变的。例如，对于全球数据收集项目，车辆运输是一个固定成本。车辆在该国使用的时间和收集数据所需的运行公里数都是可变成本。例如，如果一辆车被运到新加坡行驶两天，每天的固定成本就相对较高。如果在该国停留6周，费用就会低得多。

汽车主机厂必须了解这些机制，并找出正确的战略，以保持支出在预算之内。具体来说，他们针对哪些国家进行检测，需要在这些国家花费多少时间？

为了应对自动驾驶汽车开发和验证与确认项目的不断变化，必须与供应商建立智能商业模式，例如定价目录和复杂的按次付费模式。

安全、保障、隐私和效率的要求体现在自动驾驶技术发展的所有方面，包括战略、法律、组织、技术和财务。

# 尾注

自动驾驶正在改变我们对出行看法；它将有助于使道路更加安全，防止事故和死亡。这既是一个庞大的市场，同时也是一个复杂和快速变化的领域。随着该领域的发展和算法的自动学习，人工智能系统在自动驾驶汽车开发中发挥着关键作用，但问题仍然存在。

## 汽车行业如何应对变化？汽车主机厂是如何管理车中的人工智能系统的进化的？

特斯拉目前正在研究可预测的神经网络和确定性的人工智能算法，以创建融合传统系统工程和基于人工智能的系统的混合系统。其他汽车主机厂也在采取类似的措施。

关键是要考虑这些模型的不可预测性，并确保企业通过经过验证的、理性的和聪明的决策建立对人工智能的信任。黑盒解决方案是不可接受的。

## 汽车主机厂如何明确地证明他们的自动驾驶汽车的安全性？

一方面，为确保安全，自动驾驶车辆测试法规越来越严格。另一方面，技术正变得越来越复杂。在汽车上

采用人工智能系统必须是一个循序渐进的过程，涉及政府、立法者、汽车制造商和智能产业的多方意见与决策。

例如，在上海，已经建立了一个测试场地，对应于一个拥有数百万人口的城市，L4和L5自动驾驶汽车将被允许，新技术将在获得批准后被整合。这样的投资有助于建立对自动驾驶汽车的信任。政府可以在开发阶段与制造商合作制定立法。这种分阶段的合作是正确的方式。

今天的关键问题是：我们对自动驾驶的技术有多大信心？自动驾驶是否会通过消费者的考验，真正被消费者所接受？

答案在几年内将见分晓。

# 作者



**Ralf Nikolaus**  
汽车与自动驾驶系统验证  
技术专家，凯捷科技研发



**Yang Liu**  
智能驾驶解决方案负责人，  
凯捷科技研发

# 智能驾驶中国业务联系人

致谢本白皮书中文翻译贡献者（排名不分前后）：

Weiwei XI, Monica WANG, Terry TANG, Derek LAM, Yang LIU

## 关于凯捷科技研发

凯捷科技研发是全球工程研发 (ER&D) 服务的企业合作伙伴，基于其在数字化和软件领域的深厚行业知识及前沿技术积累，凯捷科技研发赋能客户实现数字世界和现实世界的融合，并结合集团其他部门的能力，加速其产业智能化的发展步伐。凯捷科技研发现有超过60,000名工程师和技术专家，遍布全球30多个国家，服务于航空、航天、国防、海军、汽车、铁路、基础设施与交通、能源、公用事业与化工、生命科学、通信、半导体与电子、工业与消费、软件与互联网等产业。

## 关于凯捷科技研发中国

自2006年以来，凯捷科技研发（以亚创进入中国）一直勤于工程和研发服务领域，专注于汽车、航空、通信、半导体和电子等关键产业。目前，凯捷科技研发在国内有1,000多名工程师和技术专家，总部位于上海，并在北京、西安、合肥设有办公室和交付中心，业务遍布全国10多个城市（苏州、无锡、深圳、广州、成都、天津、哈尔滨、沈阳、青岛等）。凯捷科技研发正与国内和跨国企业合作，共同提供从概念到产业化的下一代产品、运营和服务，包括汽车电子驱动技术，车载信息娱乐系统，自动驾驶，车联网；软件工程、5G互联、物联网、大数据；芯片工程、设计与验证；航空系统工程等领域。

欲了解更多详情，请浏览官网：

[www.capgemini-engineering.com](http://www.capgemini-engineering.com)

邮件联系我们：

[contact.china.cn@capgemini.com](mailto:contact.china.cn@capgemini.com)