



SIEMENS

Ingenuity for life

Siemens PLM Software

开发高级驾驶辅助系统

通过基于仿真的测试和验证框架获得安全性、
舒适性与燃油效率之间的平衡

本文介绍了由 Simcenter™ 工程专家开发的用于高级驾驶辅助系统 (ADAS) 的虚拟验证和测试框架，该框架基于由车辆动力学和全球建模工具组成的协同仿真平台。本研究的重点在于，在 ADAS 开发的早期阶段，借助 Simcenter Amesim™ 软件和 Simcenter Prescan™ 软件，利用基于仿真的方法进行前端加载控制设计验证。本文将通过三个使用案例对该方法进行演示：自适应巡航控制、绿波技术以及自动泊车。

目录

摘要	3
技术	6
车辆动力学	6
环境	6
规划	7
跟踪控制	7
协同仿真结构	8
路况设计	8
协同仿真设置	8
使用案例	9
自适应巡航控制	9
路况测试	9
Simcenter Amesim 与 Simcenter Prescan 协同仿真测试	10
绿波技术	11
自动代客泊车	11
结论	12
参考信息	13

摘要

近来，汽车行业对 ADAS 和自动驾驶车辆 (AV) 技术的需求正在迅猛增长，以期借此提供安全无忧、舒适环保的车辆。这些系统已超越自动紧急制动 (AEB) 和牵引力控制等以车辆为中心的辅助应用，能够整合交通和环境信息。Simcenter 工程服务为这些高级应用开发了模型预测控制 (MPC) 算法。在此过程中，机械、电气工程、控制、通信和计算机科学等领域协作开展了一系列研发活动。

在本白皮书中，我们提出了一种基于协同仿真的框架和技术，可用于在开发的早期阶段对这些基于 MPC 的 ADAS/AV 控制系统进行前端加载测试、确认和验证。该仿真工具集对车辆动力学、交通环境、车辆对车辆 (V2V)、车联网 (V2X)、传感器模型、规划和控制算法进行了全方位考量，并将通过三个 ADAS 应用示例进行演示：自适应巡航控制、绿波技术和自动泊车。

自动驾驶行业现已清晰地认识到，基于仿真的测试能够行之有效地验证 ADAS/AV 功能。交通环境中存在各种路型和路况、车辆、行人、骑行者、障碍物和天气状况，每个场景都涉及多种参数组合。场景的数量将随着参数的数量呈指数级增长，甚至可以达到数百万种。通常情况下，为了使用真实汽车测试来实现可靠的验证，汽车需要行驶数百万乃至数十亿公里，这不仅极度耗时，而且成本高昂 [Kalra 和 Paddock (2016)]¹。此外，并非所有场景都可以在现实生活中轻松进行仿真和再现。值得注意的是，真实路测对于特定的机械、电气和软件配置十分有效。但如果需要适应新的配置或软件更新，则必须要再次进行测试。因此，大多数 ADAS 性能应通过大规模仿真进行验证，也正因如此，模型在环测试 (MiL) 和软件在环测试 (SiL) 验证将在开发流程中扮演愈发重要的角色。

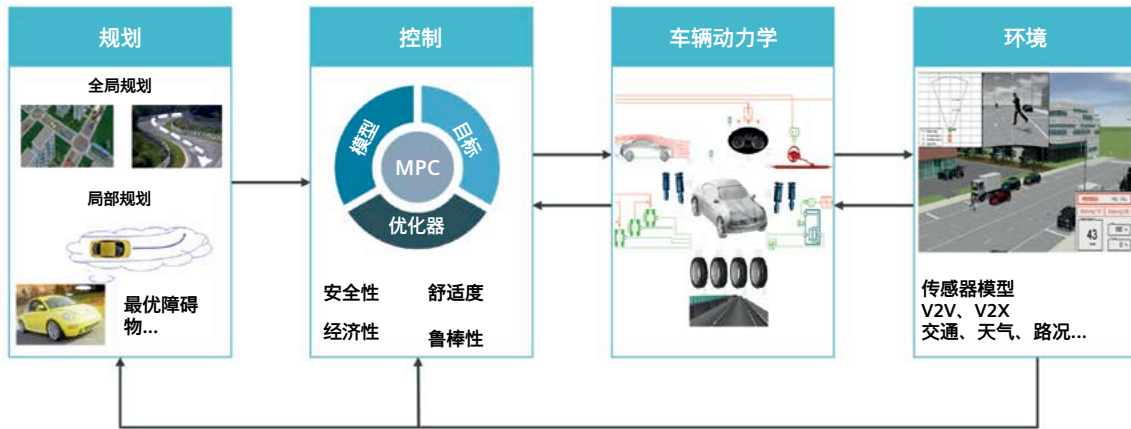


图 1：ADAS/AV 协同仿真结构。

在本文中，我们重点研究了如何使用提议的协同仿真框架开发 ADAS/AV 系统的规划和控制组件。规划算法用于规定车辆需要遵循的预定轨迹，而控制器则用于将车辆转向该轨迹。这些算法的开发和验证颇具挑战性，原因有四：

- 它们需要在各种交通场景中确保安全性，同时将非完整特性、加速度和转向约束等车辆动力学约束考虑在内
- 汽车应该以类似于人类驾驶的方式驾驶；也就是说，不仅需要安全合法，而且需要平稳舒适。这一要求颇具挑战性，特别是在市内行驶或在高速公路上高速行驶时尤为如此。
- 作为自动驾驶技术的主要驱动因素之一，客户要求自动驾驶车辆必须比传统汽车更环保、更省油。随着政府对燃油经济性和污染的要求日益严苛，控制规范也受到了影响。
- 从车辆建模和环境两方面来看，由于存在种种不确定性来源，因此必须要考虑规划和控制算法的鲁棒性。物理系统的模型总是存在误差（由于测量有误、生产误差和老化问题），而动力学因素遗漏问题也在所难免，因为它们过于复杂而无法纳入考量。从环境角度来看，由于测量噪声和环境条件的不确定性，传感、导航和定位算法本质上也具有不确定性。

考虑到所有这些挑战性因素，最好在基于仿真的框架内验证规划和控制算法的开发，并在其中囊括所有物理和环境因素。

如之前所述，ADAS/AV 系统的开发整合了来自不同组件的多学科知识。因此，能够在功能开发的早期阶段对这些组件进行组合并在前端加载设计开发的协同仿真框架至关重要。一方面，此框架应足够灵活，能够适应行业及学术合作者之间的共享学习，同时保护其关键知识产权。另一方面，研究某一组件的研究人员和工程师往往会对其其他组件进行某些一般性假设。例如，规划算法在设计一个可满足一系列特定约束的参考轨迹时，通常会假设传感结果精确、存在简单的车辆模型且跟踪控制器能够精确跟踪该轨迹。然而，车辆动力学和传感配置会对结果产生显著影响。协同仿真工具集可确保底盘和传感器模型的精度，有助于以确定性和结构化方式验证和改进设计开发。

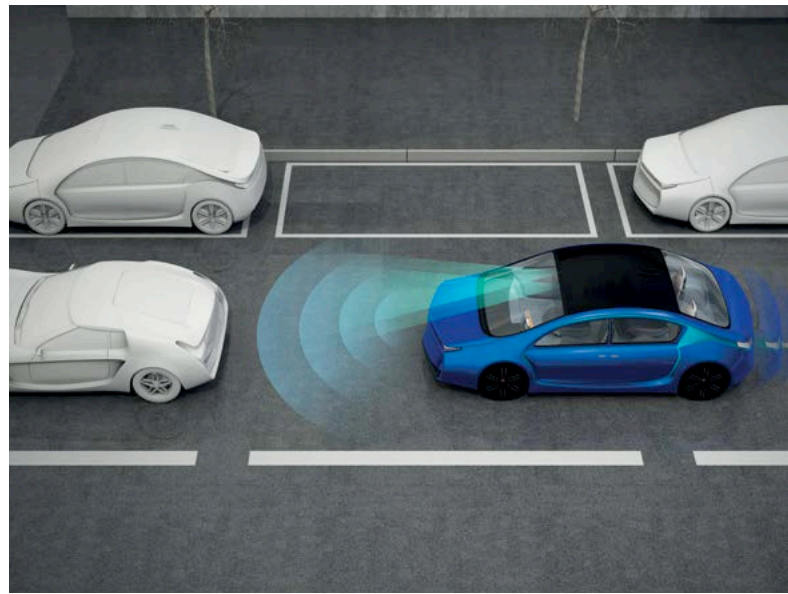


图 2：自动制动系统概念。

提议的 ADAS/AV 测试框架是西门子自动驾驶验证和确认框架的一部分，可用于 4 级和 5 级自动驾驶车辆的开发。凭借集成电路、系统和整车的设计与性能验证解决方案，该框架实现了开发流程的连续性。它基于两款软件产品的协同仿真：Simcenter Amesim 和 Simcenter Prescan。Simcenter Amesim 提供一款集成式仿真平台，可以准确预测智能系统的多学科性能，尤其是车辆动力学性能。它提供了工厂建模和仿真功能，可与控制系统的设计相连，有助于评估和验证控制策略。Simcenter Prescan 是一款基于物理场的仿真平台，可用于对复杂的交通场景和 ADAS/AV 传感器技术进行仿真，如雷达、激光雷达、超声波和摄像头。Simcenter Prescan 还可用于设计和评估 V2V 和车辆到基础设施 (V2I) 之间的通信应用。一个侧重于车辆动力学，另一个侧重于外部环境，这两款仿真框架相辅相成，为自动驾驶功能的虚拟验证和确认奠定了基础。

协同仿真结构如图 1 所示。此工具集提供了一款功能强大且简单易用的开放式系统建模和分析平台，其中的脚本功能能够以更高抽象级别的语言（Matlab® 环境、Python 等）进行应用程序编程。因此，该平台可以轻松与规划和控制算法集成，以用于前端加载测试。在这种情况下，使用提议框架的 ADAS 开发主要分为三个步骤。首先，利用 ADAS 应用和 Simcenter Amesim

车辆动力学的路况数据开发算法。在这一阶段，可以进一步进行建模、试验设计 (DOE) 并对以车辆为中心的配置（底盘、动力系统、制动模型等）进行优化。其次，利用 Simcenter Prescan 交通和传感器仿真模型对所设计的算法进行验证。场景和性能要求主要遵循行业标准、现实条件或极端情况。在每个 ADAS 应用场合中，研究如何构建协同仿真配置并交换变量（车辆、传感器、环境和控制器模型变量）。第三，根据系统需求评估结果；例如，安全性、舒适性、自然驾驶和生态学性能。通过协同仿真设置，用户能够测试模型的所有方面、验证传感器精度并改善可视化效果。与物理原型测试相比，使用仿真的主要优势在于重复性高、边际成本低且模型参数易于更改。

值得一提的是，业界和学术界已针对建模系统工程 (MBSE) 开发，对多物理场建模软件 Simcenter Amesim 开展了广泛的调查研究。例如，Wissel 等人(2016)² 应用 Simcenter Amesim 开发了动力系统与 MPC 技术，同时 Vanhuysse 等人(2016)³ 使用 Simcenter Amesim 设计了混合动力车辆的非线性 MPC。尽管编创者并未考虑 Simcenter Amesim 在 ADAS 应用方面的优势，但他们集成了 Simcenter Prescan 等环境和传感器建模软件。

其发表的论文结构如下：第 1 部分介绍了协同仿真中使用的主要技术，其中提供了协同仿真框架中所用软件和算法的详细技术信息：Simcenter Amesim、Simcenter Prescan、规划和控制设计以及协同仿真设置。第 2 部分介绍了自适应巡航控制 (ACC)、绿波技术和自动泊车。最后，第 3 部分给出了我们的结论。

技术

本部分介绍了协同仿真中使用的主要技术。

1.1 车辆动力学

Simcenter Amesim 是一款多物理场仿真平台，提供了流体、热、机械、机电和动力系统等领域资源库。本研究将使用这一平台对车辆及其动力学性能进行仿真，以便测试 ADAS/AV 规划和控制算法。实际上，该软件可用于处理各种物理场，这也使其成为汽车行业一款非常有效的集成式解决方案。丰富的资源库可以显著加快建模速度。例如，在设计大灯角度控制器时，发动机的动力学性能无关紧要。在这种情况下，可以使用简单的预制发动机缸体。借助这一方法，用户可避免在非关键组件建模上浪费时间，同时最大限度地缩短计算时间。通过连接不同的模块，可以轻松地构建复杂且逼真的模型，从而进行系统级仿真。另一方面，也可以对单个组件进行详细仿真。图 3 显示了我们使用案例中

所使用的完整车辆底盘模型，其中包括动力系统、制动、悬架和转向组件。

1.2 环境

Simcenter Prescan 已广泛应用于汽车行业内的 ADAS 和自动驾驶系统开发。它提供了直观的图形用户界面 (GUI)，具有广泛的环境建模功能，可帮助用户构建和修改各种交通场景，包括路段、基础设施组件（建筑物、交通标志）、参与者（汽车、卡车、骑行者、行人）、天气状况（雨、雪、雾）和光源（阳光、大灯、灯柱）。该产品还可以为车辆模型配备基于物理场的 ADAS 传感器，以用于感测雷达、激光雷达、摄像头、超声波、全球定位系统 (GPS) 和天线等虚拟环境。ADAS 系统旨在解读环境并采取相应措施来减少驾驶员的工作量。开发这一系统的关键在于如何逼真地对环境和传感器进行仿真。此时 Simcenter Prescan 便可

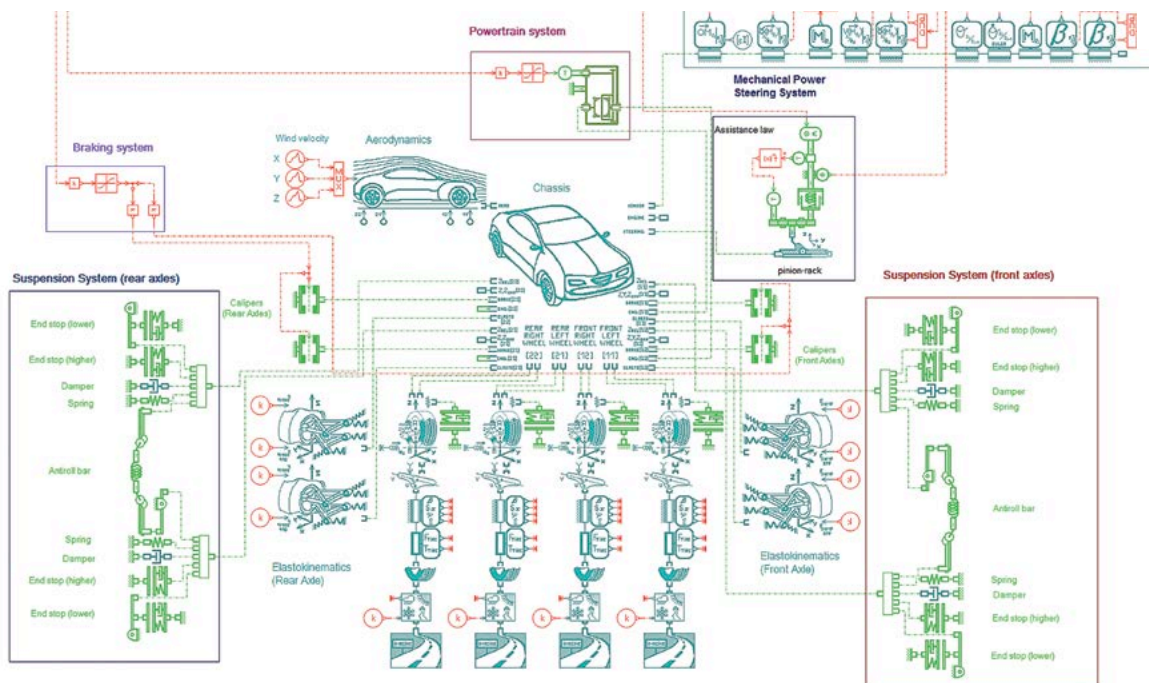


图 3：Simcenter Amesim 车辆底盘动力学仿真。

大显身手，这要得益于其先进的可视化功能。强大的可视化功能具有双重优势。首先，它能够帮助工程师开发全新 ADAS 系统功能。其次，良好的可视化效果有助于向管理层和客户汇报工作进度。图 1 中的环境模块提供了 Simcenter Prescan 可视化视频的屏幕截图。

1.3 规划

规划设计因具体的 ADAS 应用而异。例如，在 ACC 中，规划算法会生成参考速度和转向曲线，以便与前车保持安全距离。这一功能在高速公路上高速行驶时十分常用，因此计算必须足够快速，并且必须考虑车辆动力学分析情况，因为车辆特定的行为会显著影响最终轨迹。绿波技术通常用于直道/车道行驶情况，此时汽车会通过 V2X 通信从交通灯基础设施接收参考速度。规划算法主要从基础设施方面实施，在车辆端作用不大。进行自动泊车时，汽车将以低速行驶；因此，规划计算时间不如在高速公路上行驶时那般重要。然而，停车场通常空间有限，并且障碍物种类较多（其他汽车、行人、物体等）且可能来自四面八方。在某些情况下，需要换挡（前进挡/倒退挡）和转向时，任务难度将进一步增加。规划算法需要在设计中将所有因素考虑在内。通常，在我们的使用案例中，规划阶段主要分为两步：

- 全局规划：以较高级别规划路线（或途经点）。这适用于泊车使用案例，其中全局规划算法需要基于最短路径等标准粗略地生成从起点到目标停车场的路径。
- 局部规划：根据全局规划算法提供的参考路径（或途经点），车辆将规划自己的详细轨迹，包括时间表。但是，车辆无需分毫不差地遵循预定路径，因为以下要求更为关键：
 1. 车辆约束，其中包括非完整约束（例如，车辆无法更改为其他配置）、转向、速度和加速度约束
 2. 避开障碍：在沿预计算路径行驶时，会遇到意外的障碍（例如，行人、其他行驶的汽车等）。因此，局部规划是一个在线规划阶段
 3. 在时间或油耗等给定标准下的最优性

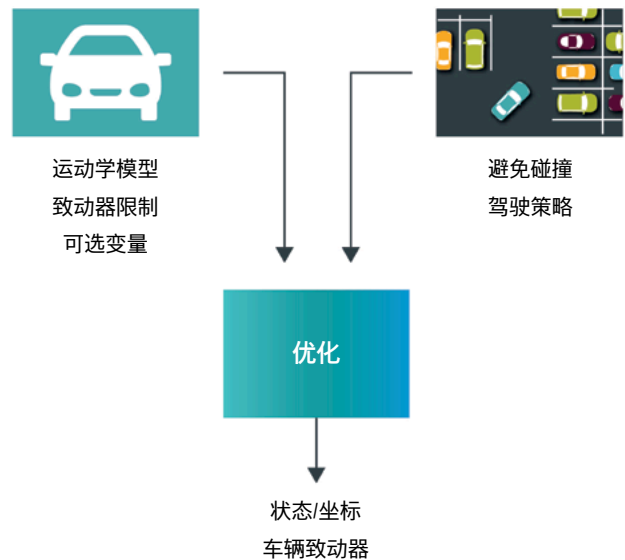


图 4：局部规划结构。

图 4 展示了自动泊车应用中使用的局部规划结构。请注意，在其他 ADAS 系统中可能还存在另一层规划；例如，交通规划算法决定变道或超车，但这不是本使用案例的重点。

1.4 跟踪控制

控制器用于按照计算的轨迹控制车辆。出于种种不确定性原因，控制器变得至关重要，而工厂模型不匹配和对车辆的干扰是其中两大典型原因。比例-积分-微分 (PID) 控制已成为比较基准。PID 控制器不仅可轻松实现，而且具有易于理解的特性。实际上，从数学角度而言，PID 十分简单，而黑盒型控制（无需建模）使其成为工业应用中广泛使用的实用工具。

控制设计的重点在于模型预测控制算法的开发，以便在各种运行条件下提供最佳控制。MPC 设计依赖于基于模型的优化问题的解决；与 PID 控制相比，这种设计具有两大显著优势：它可以高效处理多输入多输出 (MIMO) 系统和车辆系统约束。汽车行业正在积极研究 MPC 的应用，因为其算法、实现和调整都非常高效，而且基于 MPC 的虚拟传感器拥有巨大潜力。

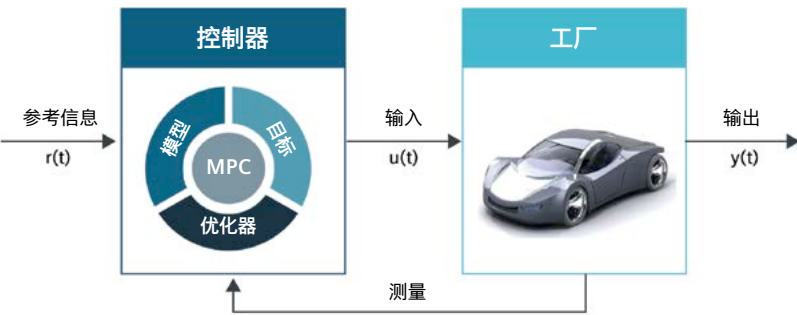


图 5：模型预测控制结构。

1.5 协同仿真结构

在本部分中，协同仿真结构整合了之前所述的技术。

1.5.1 路况设计

第一个调整步骤在 Simcenter Amesim 的路况仿真环境中执行。为了能够调整控制器以获得最佳性能，需要进行客观的性能测量并据此进行调整。在这一阶段，无需考虑传感器动力学以及环境对测量信号的影响。Simcenter Amesim 求解器可运行车辆模型，在该模型中可以使用所有 Simcenter Amesim 相关功能，并且模型变量易于访问。其主要目标在于正确设置控制器的动力学特性，使控制器在理想情况下良好运行。控制器可以使用 Simcenter Amesim 开发，也可以通过其他环境（例如 Matlab® 环境、Python）开发。

1.5.2 协同仿真设置

随后，可集成 Simcenter Prescan，以对环境和传感器进行仿真。这样便可通过更为相关的场景对规划和控制算法进行测试和验证，而无需进行路况假设。协同仿真设置的分解并不简单，因为某些部件可以在不同的软件包之间移动。对于特定的 ADAS 应用以及进行测试时，应将这一点考虑在内。显而易见，进行团队协作时，不同的可能配置会导致混乱。为简化 workflow，在项目开始之前，必须就连接不同模型的接口达成一致。此接口可用于定义在模型之间交换哪些变量以及如何交换。

为举例说明，我们展示了 ACC 使用案例的模型分解和变量交换接口。Simcenter Prescan 可对环境进行仿真，而传感器安装在自我意识车辆上，可对环境进行感测。这些传感器的输出信号将从 Simcenter Prescan 导入 Simulink® 环境中的 ACC 控制器。控制器也将使用来自 Simcenter Amesim 模型的当前加速度和偏航角速度信号。此外，控制器还将计算节气门和制动信号。这些信号随后被馈送至 Simcenter Amesim 车辆模型。Simcenter Prescan 中的路径跟随程序也会计算出合适的转向信号，使车辆保持在预定路径上。为此，路径跟随程序需要使用车辆模型的偏航角。转向信号将通过 Simulink 馈送至 Simcenter Amesim 模型。此外，对于全部四个轮胎，道路摩擦系数值（基于汽车位置和路况）均将通过 Simulink 发送至 Simcenter Amesim 模型。基于这些输入（轮胎摩擦、转向角和节气门/制动信号），Simcenter Amesim 求解器可计算出车辆的状态（位置和速度）。随后，Simcenter Prescan 中的车辆模型状态可根据新的车辆状态进行更新。相应地，环境感测信息也将随之更新，循环往复。

使用案例

三种使用案例如下：ACC、绿波技术和自动泊车，三者通常分别处于高速、中速和低速状态。它们使用三种不同的协同仿真分解/界面设置以及规划/控制设计开发，同时还包括 V2V 和 V2X 技术。本文首先将详细探讨 ACC 系统的开发，以便用户了解提议的框架，然后将介绍另外两个使用案例。

2.1 自适应巡航控制

ACC 的开发取决于关键绩效指标 (KPI)。系统的性能可使用某一数据或某组数据进行描述，这些数据也可用于以高效实用的方式比较不同 ACC 系统的性能。KPI 的计算基础通常是由行业标准设定的基准。在我们的研究中，我们使用以下四大特性来描述 ACC 控制器的性能。

- **安全性**：用于描述 ACC 控制器如何避免和应对危险情况。系统应始终避免碰撞。有一个定量参数可用于描述控制器在避免易碰撞情况方面的表现，即以秒为单位测量的碰撞时间 (TTC)
- **舒适性**：用于描述控制器的平稳程度，以确保乘客的乘坐舒适性。为了达到理想的舒适度，国际标准化组织 (ISO) 标准设定了容许的加速和减速限制。此综合考量的结果就是代表控制器舒适性能的 KPI 数字。
- **自然驾驶**：用于描述控制器在各种交通状况下的行为方式。在这种情况下，将计算需保持的车距，以确定乘客的心理舒适度。如果 ACC 系统的行为方式不同于普通人，则会让乘客感到不适，此时驾驶员会不断强烈想要自己控制汽车。自然地，驾驶员会保持一个视车速而定的车距，该距离可以用秒来表示，我们将其称之为单位时间。

- **生态学性能**：用于描述控制器的燃油经济性和污染影响，并将其与扭矩需求相关联。扭矩需求越高，发动机排放越多。柴油发动机排放的颗粒物较多，而汽油发动机排放的碳氢化合物和氮氧化物 (NOx) 较多。

路况测试

上述方法可用于计算四种不同的 KPI：安全性、舒适性、自然行为和生态学性能。下一步是创建控制器的测试场景。这些场景会在实际路况环境中进行仿真。这意味着控制器可以处理始终可供访问且完全准确的输入变量。它可以与具有无限分辨率、无限取样比和零噪音的完美传感器相媲美。这一路况环境将通过 Simcenter Amesim 与 Simulink 的协同仿真进行创建。车辆模型在 Simcenter Amesim 中运行，而控制器模型在 Simulink 中运行。在仿真过程中，可以从 Simcenter Amesim 模型中提取精确的相对速度、车距、速度和加速度等信号，并将其输入至控制器。为制定决策，决策者必须考虑安全性、舒适性、自然驾驶行为和燃油经济性等不同驾驶特性的重要性，然后根据相对重要性对各个控制器的四个 KPI 进行权衡。控制器的调整过程分为两步。第一步是找出可配置参数，以便优化控制器的性能。例如，显而易见，在 PID 控制器中，可配置参数为 P、I 和 D 增益。MPC 控制器需要考虑目标功能中的一系列权重。第二步是确定最佳参数配置，其效果优于其他配置。这可以通过使用不同参数集进行随机或详尽测试来实现；某些实验设计工具有助于实现这一目标。

Simcenter Amesim 和 Simcenter Prescan 协同仿真测试

很显然，在实际路况环境下开发的控制器不能用于处理真实的传感器信号。它无需区分几个可能的目标，只有自我意识车辆前方的那辆车的的数据会馈送至控制器。另一方面，真实传感器可同时感测多个目标，而控制器必须先确定自我意识车辆前方的车道上有哪些目标。为了创建行之有效的控制器，必须通过附加模块对路况控制器进行扩展：目标选择模块。随后可对控制器进行调整，使其能够处理真实传感器输出。接下来，便是在 Simcenter Prescan 中对传感器和环境进行建模。

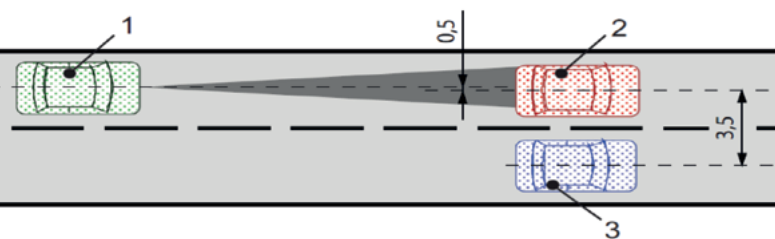


图 6：辨别能力测试 [ISO15622]。

根据 ISO 标准中规定的测试，Simcenter Prescan 软件将构建三种场景。第一种场景将测试所开发的 ACC 系统的辨别能力。第二种场景将测试重定向能力。重定向意味着控制器可以自主判断前方行驶的车辆，并在当前交通状况因超车或停车事件而变化时，根据传感器输出调整其判断。第三种场景将测试控制器的弯道能力。所有测试均在能见度为 1000 米 (m) 且温度在 -20 至 40 摄氏度之间的晴朗天气条件下在干燥沥青路面上进行。

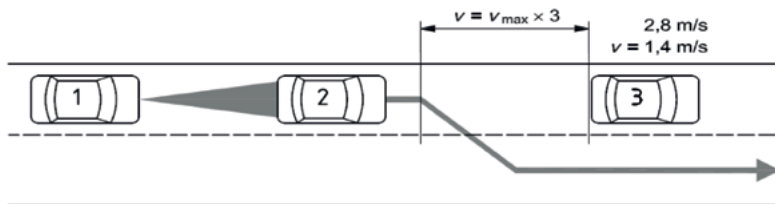


图 7：重定向能力测试 [ISO22178]。

- 辨别能力：此测试用于衡量 ACC 控制器辨别两个相邻车辆并确定哪一车辆与自我意识车辆位于同一车道上的能力。根据 ISO 15622 的规定，此测试在直道上进行。车辆 1（自我意识车辆）和车辆 2 在同一车道上行驶。自我意识车辆将以最大允许时间间隔在稳态跟随模式下跟随前车。然后，当车辆 3 匀速行驶时，车辆 2 加速。ACC 控制器可对情况进行解读并控制自我意识车辆的纵向行为。如果自我意识车辆能够正确加速以跟随车辆 2 行驶并对车辆 3 进行超车，则表明测试成功

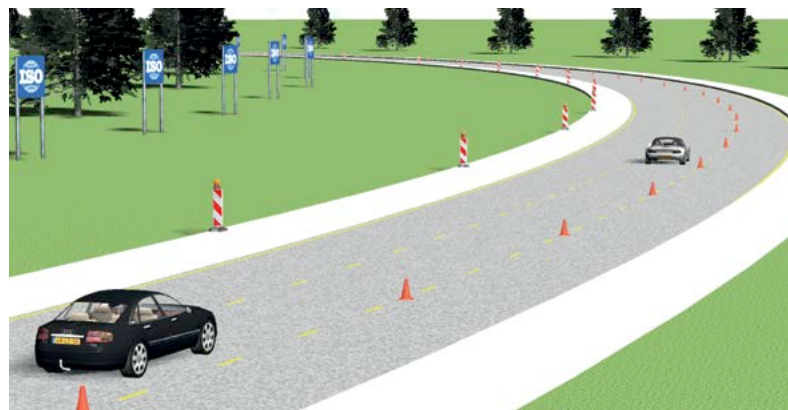


图 8：ACC 使用案例：弯道中的对象选择 [ISO 15622]。

- 重定向能力：此测试用于衡量 ACC 控制器对前方车辆的停车行为做出反应并相应地重定向的能力。根据 ISO 22178 的规定，此测试在直道上进行。自我意识车辆由 ACC 控制器控制，并稳定地跟随前方车辆。前方车辆随后转向右侧车道，因为其前面有一辆速度极慢的车。如果自我意识车辆减速并开始缓慢车辆在后方行驶，则表明测试成功

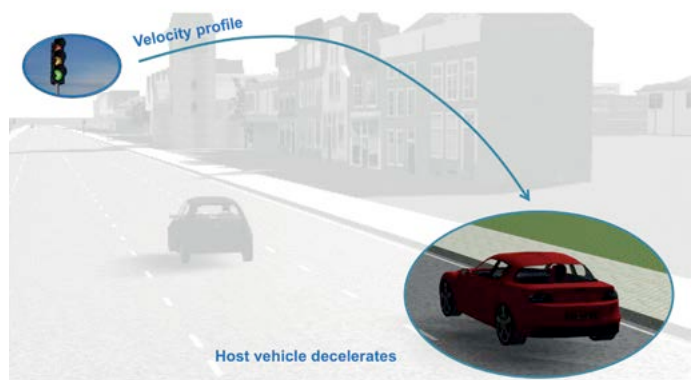


图 9：绿波技术

- **弯道能力：**此测试用于衡量 ACC 控制器在弯道行驶时执行稳定纵向控制的能力。根据 ISO 15622 标准的规定，在这种情况下，必须选择半径为 125 米的弯道。前方车辆和自我意识车辆在同一车道上以稳定状态行驶。10 秒钟后，前方车辆开始减速。如果自我意识车辆在时间间隔小于所选时间间隔的三分之二之前开始减速，则表明测试成功

2.2 绿波技术

绿波技术的主要理念在于，通过在车辆和基础设施之间传输信息，汽车会通知驾驶员交通灯何时变绿，以及以怎样的速度匀速通过一系列绿灯。其优势在于可以减少交通堵塞、降低燃油消耗并减轻驾驶员的压力。图 9 显示了此 ADAS 应用的 Simcenter Prescan 演示。其协同仿真设置和控制开发类似于 ACC 使用案例。

2.3 自动代客泊车

代客泊车是驻车辅助系统的扩展功能，预计将成为最早实现商业化的全自动驾驶功能之一，因为此时车速较低，且可对交通环境进行监控。经用户激活后，该功能

将与停车场管理 (PAM) 系统一同接管车辆的完全控制权，并且车辆将驶入停车场，直至到达指定的停车位。在此应用中，需要进行不同级别的规划和控制：

- **全局规划：**规划从初始移交区到目标停车场的路径（或途经点）。此任务由 PAM 根据停车场地图生成
- **局部规划和控制：**根据全局规划中的参考路径，车辆将使用其自有传感器和感知功能来规划自己的轨迹，以遵循预定路径或途经点。规划算法应将停车场内的不确定性因素（行人、其他进出的汽车等）考虑在内
- **挪车规划和控制：**此组件用于定义车辆如何挪向停车位。相关方法和要求与局部规划阶段大体相似，但由于空间狭小且障碍物较多（停放汽车），所以需要更加谨慎。此外，在某些情况下，需要随着前进/后退方向的改变（或换挡）进行多次挪动。图 10 显示了 Simcenter Prescan 中的代客泊车场景

与 ACC 和绿波技术使用案例不同，代客泊车功能的规划和控制算法主要在 Matlab 和 Python 中开发，两种环境均用于进行速度及转向规划和控制。



图 10：代客泊车场景，其中展示了 Simcenter Amesim 与 Simcenter Prescan 的协同仿真。

结论

Simcenter Amesim 与 Simcenter Prescan 的协同仿真测试框架具有多重优势。首先，使用基于物理的传感器，可在高精度的车辆动力学和现实环境中对完整的规划和控制器开发成果进行测试和验证。第二大优势在于标准的测试场景，或任何其他极端情况测试场景，更侧重于与环境的交互。这一点至关重要，因为它能够显著减少必须执行的物理原型测试的数量。此外，测试的重复性远远高于在真实原型中进行的测试：其他交通和天气状况可完全由控制工程师控制。最后，Simcenter Prescan 的可视化效果十分出色，可使工程师和客户清楚地了解关键问题所在。

参考信息

1. Kalra, N., Paddock, S., 2016. "Driving to Safety: How Many Miles of Driving Would It Take to Demonstrate Autonomous Vehicle Reliability?" Santa Monica, California: RAND Corporation
2. Wissel, D., Thomas, V., Lansky, L., 2016. "Linking model predictive control (MPC) and system simulation tools to support automotive system architecture choices," 8th European Congress on Embedded Real Time Software and Systems
3. Vanhuysse, J., De Bruyne, S., Nicolai, M., Atarashi, D., Van Der Auweraer, H., Desmet, W., 2016. "Nonlinear MPC design using Amesim models." TMCE 2016 Symposium. Aix-en-Provence, France
4. Simcenter Amesim : <https://www.plm.automation.siemens.com/en/products/lms/imagine-lab/amesim/>
5. Simcenter PreScan : <https://www.tassinternational.com/prescan>

致谢

本研究在欧洲高度自动化安全和保障系统验证倡议 (ENABLE-S3) 项目内进行，欧洲电子元件与系统领先计划 (ECSEL) 联合项目根据第 692455 号拨款协议为本项目提供了资金。这一联合项目得到了“地平线 2020”(HORIZON 2020) 欧盟科研创新项目以及奥地利、丹麦、德国、芬兰、捷克共和国、意大利、西班牙、葡萄牙、波兰、爱尔兰、比利时、法国、荷兰、英国、斯洛伐克和挪威的支持。此外，Flanders Make ICON 自动驾驶与主动安全环境建模 (EMDAS) 项目也为本研究提供了大力支持。

Siemens PLM Software

总部

Granite Park One
5800 Granite Parkway
Suite 600
Plano, TX 75024
USA
+1 972 987 3000

美洲

Granite Park One
5800 Granite Parkway
Suite 600
Plano, TX 75024
USA
+1 314 264 8499

欧洲

Stephenson House
Sir William Siemens Square
Frimley, Camberley
Surrey, GU16 8QD
+44 (0) 1276 413200

亚太地区

Unit 901-902, 9/F
Tower B, Manulife Financial Centre
223-231 Wai Yip Street, Kwun Tong
Kowloon, Hong Kong
+852 2230 3333

关于 Siemens PLM Software

西门子数字化工厂事业部旗下业务部 Siemens PLM Software 是全球领先的软件解决方案提供商，致力于推动行业数字化转型，为制造商创造新的机会并实现创新。Siemens PLM Software 的总部位于美国得克萨斯州普莱诺市，在全球拥有超过 140,000 个客户，并与所有规模的企业协同工作，帮助他们转变将想法变成现实的方式、产品实现方式以及使用和了解运行中产品和资产的方式。要了解有关 Siemens PLM Software 产品和服务的更多信息，请访问 www.siemens.com/plm。

www.siemens.com/plm

© 2019 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. Siemens 和 Siemens 徽标是 Siemens AG 的注册商标。Femap、HEEDS、Simcenter 3D、Simcenter Nastran 和 Teamcenter 均为 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. 或其附属公司在美国及其他国家/地区的商标或注册商标。Simcenter、Simcenter Amesim、Simcenter Samcef、Simcenter SCADAS、Simcenter Testxpress、Simcenter Soundbrush、Simcenter Sound Camera、Simcenter Testlab 和 LMS Virtual.Lab 为 Siemens Industry Software NV 或其任何附属公司的商标或注册商标。Simcenter STAR-CCM+ 和 STAR-CD 为 Siemens Industry Software Computational Dynamics Ltd. 的商标或注册商标。MATLAB 和 Simulink 为 The MathWorks Inc. 的商标或注册商标。Python 为 Python Software Foundation 的商标或注册商标。所有其他商标、注册商标或服务标记均属于其各自持有方。

69193-A6-ZH 3/19 o2e