



捷豹路虎实施虚拟验证

# 虚拟 革命

捷豹路虎的座右铭是“为客户打造舒心的生活体验”。为了实现这一宗旨，继续为客户呈现优质产品，并增配更多先进功能，必然需要更智能的软件验证。捷豹路虎解决这个问题的方法是虚拟验证，它能在早期开发阶段实现公司的目标。



客户对复杂的软件功能和交互技术（如某些高级驾驶辅助功能提供的自主性功能）的需求不断增加，因此需要引入全新的、改进之后的方法来设计和测试相关软件。如此一来，不仅一般测试需求增加，尽可能提前和高效地测试新功能的需求也有所增加，这样可以降低出错几率，进而减少后续高昂的修复成本。智能的软件验证帮助捷豹路虎节省了时间和成本。此外，开发、验证与确认 (V&V) 迭代次数增加，为客户提供了优质的车辆体验。捷豹路虎的一个明智之举是引入虚拟化，即虚拟软件验证与确认，这样可以尽早排查错误，缩短车辆的上市时间。其中，采用虚拟 ECU (V-ECU) 的方法尤为实用，无需使用实际的目标 ECU，即可在 AUTOSAR 软件架构中开发和测试应用程序，并执行功能验证。捷豹路虎借此可以在供应商完成 ECU 构建之前进行测试，尽早为供应商提供反馈，因为开发人员的测试工作可与供应商活动同步进行。 >>



**最初的挑战与解决方案**

动力系统 (PS) 小组在实施虚拟验证流程的初期遇到了一些挑战, 包括更改现有的软件开发流程 (图 1)、重新配置工具链以支持 V-ECU 开发和测试。为了解决这些问题, 他们采取了各种各样的措施。

首先他们设立了一个论坛, 让不同部门进行密切的交流与互动。

论坛成员来自不同的专业领域, 包括软件验证与确认、AUTOSAR 架构和硬件在环 (HIL) 测试, 还有一些相关的系统团队的成员。大家群策群力, 想出了两种可以灵活地将 V-ECU 开发集成至现有软件开发流程的方法: 一种是自上而下方法, 这种方法可以让拥

有已验证手写软件组件 (SWC) 的部门对这些组件进行快速组合并构建集成式 V-ECU; 另一种是自上而下方法, 这种方法适用于为了 AUTOSAR 或其他开发目的重新设计 V-ECU 的部门和开发新功能时使用 V-ECU 的部门。

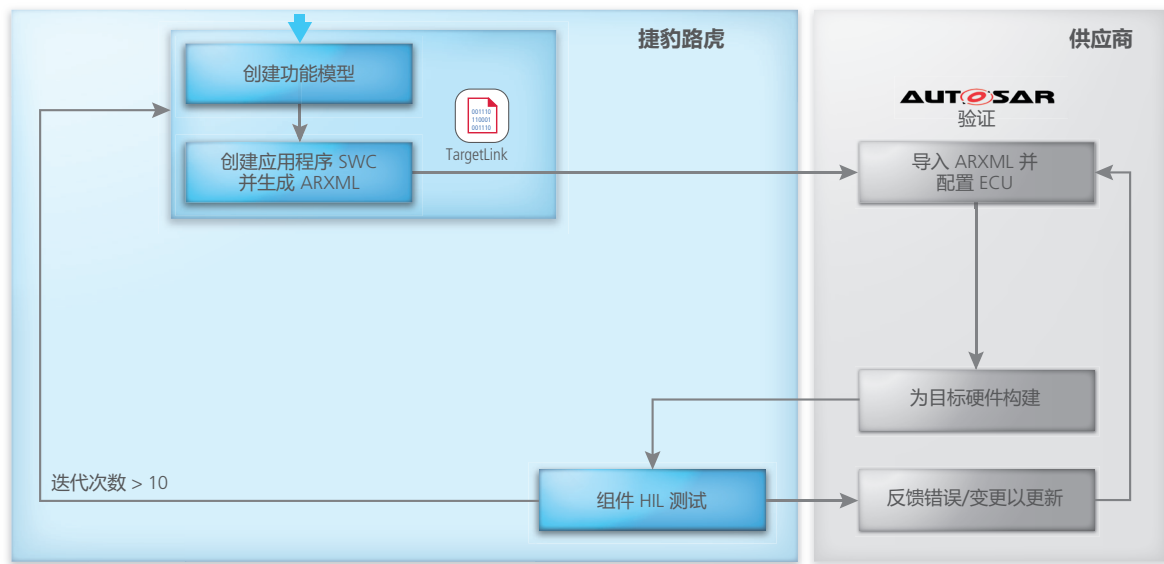
**“虚拟验证彻底改变了我们的工作流程。”**

这两种开发方法使用相同的工具链 (图 2), 因此最适合用于特殊功能开发的项目。在时间允许的情况下, 还可以使用自下而上方法开始开发, 再使用自上而下方法完成开发。其次, 论坛研究了如何使用 Functional Mock-up Units (FMU) 将现有的被控对象模型和激励模型导入 VEOS®

仿真环境以改进 V-ECU 测试。论坛还评估了 dSPACE 的 Legacy Code Integrator 集成器, 该集成器用于从遗留源代码生成虚拟 ECU, 也是一种构建 V-ECU 的工具。最后, dSPACE 员工与捷豹路虎的 HIL 测试工程师一

同对工具链自动化 (用于构建 V-ECU Will Suart, 捷豹路虎 并在测试环境中进行设置) 展开研究。dSPACE 能够通过 Python 脚本自定义工作流程, 并为 V-ECU 和 ControlDesk® 被控对象模型的创建提供一键式解决方案。通过创建 ControlDesk 被控对象模型, 捷豹路虎的软件工程师能够重复使用完全相同的测试过程 (之前用于真实 ECU 的 HIL 测试) 来测试 V-ECU。

图 1 : 原来的动力系统 (PS) 开发流程需要进行多次高成本的迭代才能获得成熟可用的应用程序。



应用程序 SWC : 应用程序软件组件 ARXML : AUTOSAR XML 文件

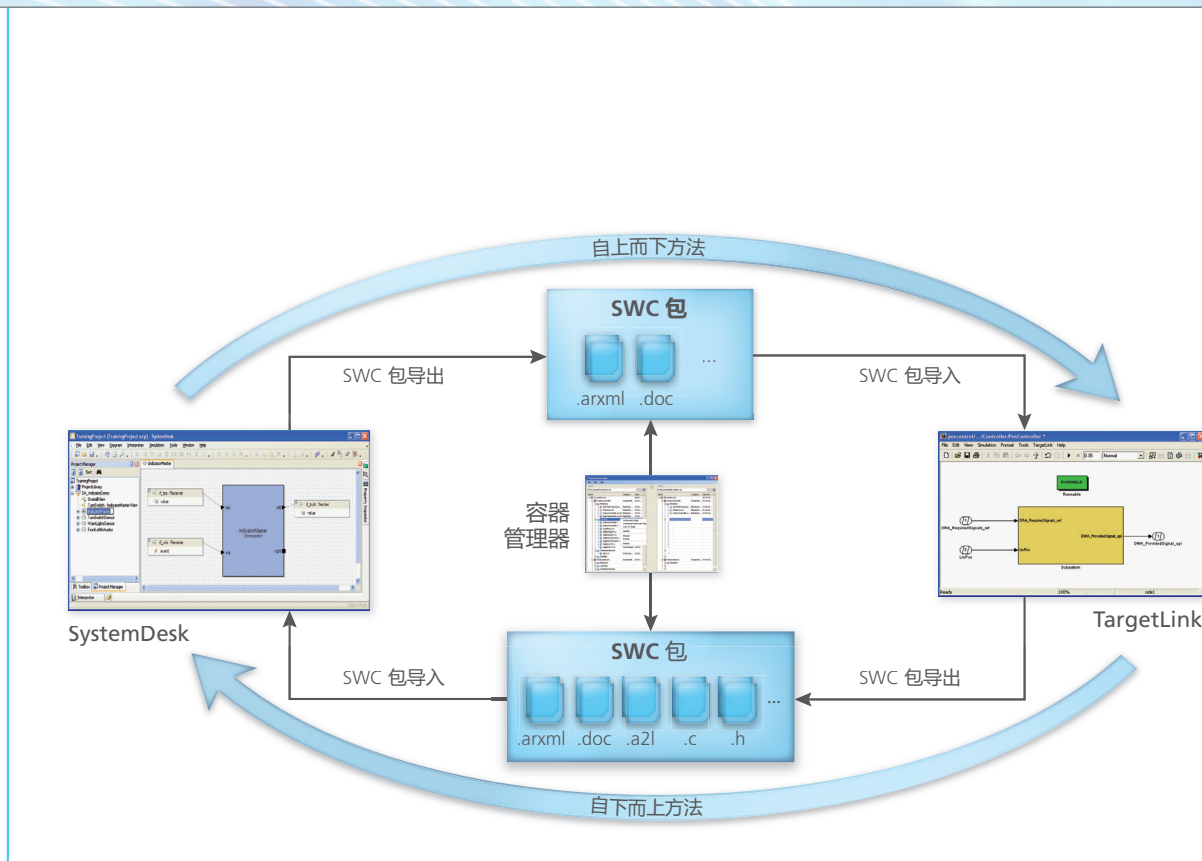


图 2：自下而上方法，从 TargetLink 中建模的软件组件开始；自上而下方法，先在 SystemDesk 中定义架构。

### 使用 dSPACE 产品

为了在 PS 小组中高效实施 V-ECU 开发和测试流程，可以广泛使用以下 dSPACE 工具：

1. TargetLink® (数据字典和产品级代码生成器) 用于开发软件组件，被普遍认为是一款生成产品级代码的优秀行业标准工具。
2. SystemDesk® 被引入 PS 小组的工具链，事实证明它是一款出色的系统架构工具，用于对 AUTOSAR 架构建模、验证与 AUTOSAR 规则集、软件组件集成以及 V-ECU 生成的兼容性。SystemDesk 不仅是 PS 小组的新增工具，而且还为软件开发团队引入了新任务，这些任务之前都是由供应商执行的。因此，虽然它很容易上手，但其文档的确用处颇大，而且它现在是此类任务中不可或缺的工具。

3. VEOS 也是一款新工具，引入的目的是仿真 V-ECU，并用于测试。由于仿真平台具有灵活性，它能够通过虚拟测试显著提高质量。VEOS 的主要优势是它能够与第三方模型交互、通过 PAUSE 和 STEP 等功能进行仿真控制以及设置执行步长。
4. ControlDesk 已被 HIL 工程师用作仿真实验软件。无论从时间角度还是技术角度，能够在 V-ECU 和真实 ECU 测试中使用相同工具和共享实验都是难能可贵的。

综上所述，由于 dSPACE 产品已被用于 AUTOSAR 软件开发和虚拟/HIL 测试，基于这些现有的功能，这些产品在捷豹路虎虚拟验证工作流程的实施中发挥了至关重要的作用。

### 虚拟验证的优点

虚拟验证用于将测试提前到开发周期早期阶段（左移），同时提高整体测试质量。使用 V-ECU 可以左移组件级测试（图 3）。虚拟验证不仅可以显著提高所开发软件的质量和置信水平，而且还将测试提前到捷豹路虎产品开发周期的早期阶段执行。在 AUTOSAR 组件开发中，新的虚拟验证工作流程对于加快模型与组件测试平台之间的切换起了重要作用。通过使用 V-ECU 开发和测试流程，PS 小组节省了 12 周的验证与确认时间（图 4）。虚拟验证流程还有其他优点，比如排查错误的能力更强；由于能够尽早执行测试能力，其能实现更广泛的 HIL 测试和强大的 ECU 集成。捷豹路虎提升了早期阶段虚拟测试的数量和能力，并利用节省的时间在组件级别和系统级别增加强大的

>>

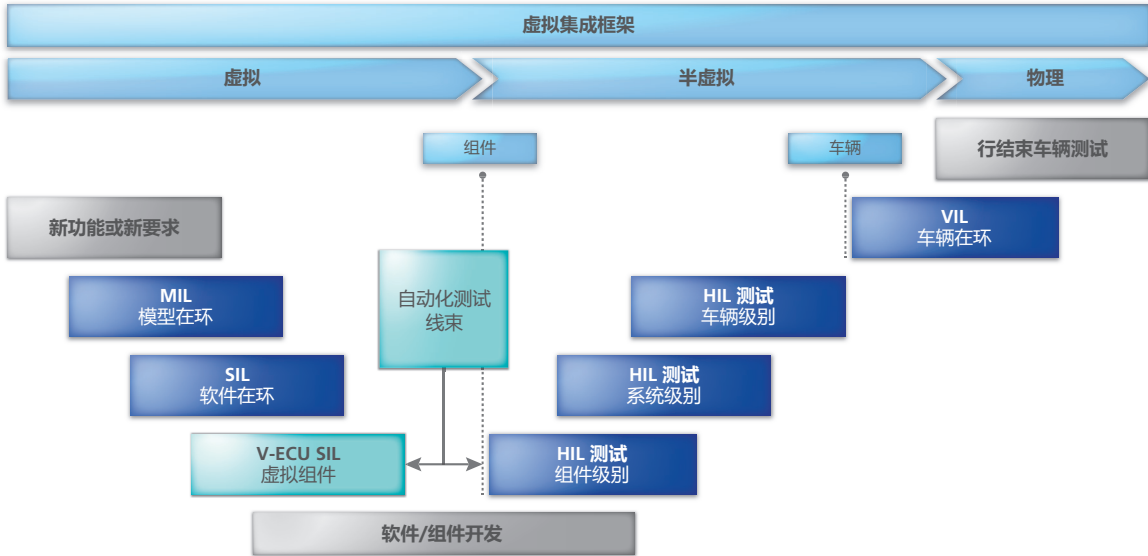


图 3：使用 V-ECU 的虚拟验证可以左移组件测试。

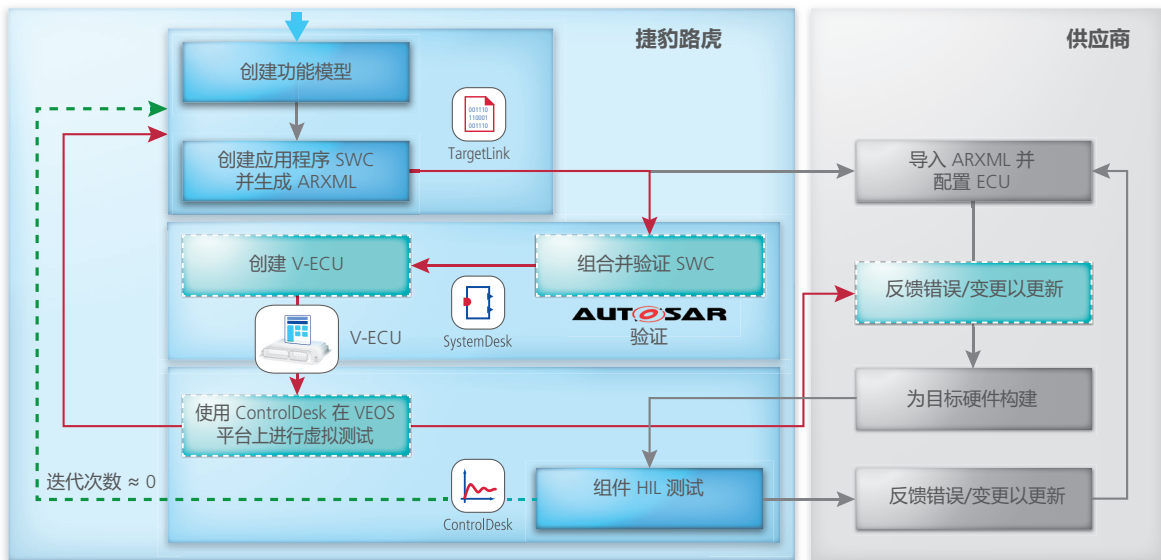
HIL 测试，这些举措明显提升了质量置信水平并缩短了功能软件的总体上市时间。此外，针对虚拟验证流程的

全新工作流程还提高了捷豹路虎 PS 小组内部的工作效率，改善了该团队与组件供应商的互动方式。

**结论和后续措施**

虚拟验证帮助捷豹路虎对开发过程进行必要的改善和提高。这还展现了工

图 4：更改后的虚拟测试工作流程（蓝绿色方框和红线），提高了捷豹路虎的测试能力。这些变更提升了应用程序移交给供应商之前的置信水平，并减少了产品在上市之前所需的供应商迭代次数。



应用程序 SWC：应用程序软件组件 ARXML：AUTOSAR XML 文件

## “dSPACE 产品在我们实施虚拟验证工作流程中发挥着至关重要的作用。”

Leonardo Poeti, 捷豹路虎

具链和工作流程的灵活性，其可根据捷豹路虎及其供应商的现有流程灵活调整。总的来说，捷豹路虎通过实施虚拟化验证和支持正式统一的 AUTOSAR 软件开发方法获得了显著的效果。今后，捷豹路虎计划通过以下方式扩展虚拟验证功能：

1. 通过在 SCALEXIO® HIL 试验台和 MicroAutoBox® II 上使用 V-ECU 来提高测试能力。
2. 建立由多个 V-ECU 组成的整车网络，以便执行全系统和车辆级别虚拟验证。

3. 在 HIL 仿真环境中集成多个 V-ECU 和真实 ECU。
4. 在验证与确认环境中，从虚拟 ECU 无缝迁移至真实 ECU。
5. 向现有 ECU 添加新功能时，重复使用现有系统架构实现 V-ECU 生成。 ■

Will Suart,  
Leonardo Poeti,  
Karthik Ponudurai,  
Renjith George,  
捷豹路虎

Will Suart

Will Suart 是捷豹路虎公司 (英国) 基于模型的设计及软件验证与确认小组技术负责人。



Leonardo Poeti

Leonardo Poeti 是捷豹路虎公司 (英国) 系统与软件小组首席虚拟验证性能工程师。



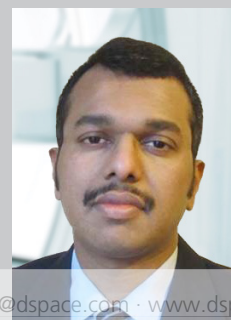
Karthik Ponudurai

Karthik Ponudurai 是捷豹路虎公司 (英国) 动力系统小组首席软件工程师。



Renjith George

Renjith George 是捷豹路虎公司 (英国) 系统与软件小组软件架构工程师。



## 为什么使用虚拟验证？

- 新的虚拟验证工作流程实现更快切换。事实上，Power Systems 小组节省了 12 周的验证与确认时间。
- 使用 V-ECU 可以将组件级别测试左移至捷豹路虎产品开发周期的初期阶段。这种左移显著提高了所开发软件的质量和置信水平。
- dSPACE 能够使用 Python 脚本自定义工作流程，并提供一键式 V-ECU 创建解决方案。
- 捷豹路虎能够将之前用于真实 ECU HIL 测试的过程重复用于 V-ECU 测试。
- 迭代次数从 10 次以上几乎降为 0，极大地降低了成本。
- 多达 80% 的 ECU 测试通过 V-ECU 来完成