



早在第一批原型开始驾驶测试之前，车辆就可以被驱动并进行虚拟测试。通过 FMI 标准，汽车供应商 DENSO 的开发人员能够更轻松地理利用多个组件模型进行虚拟驾驶测试。dSPACE 仿真平台是其中的一大基础。

如今的车辆基于十分复杂的系统。这些系统的进一步开发和集成需要借助不同学科和领域的知识和模型。因此，在车辆开发中，如果拥有囊括所有单个系统的整个虚拟系统，开发过程将会顺利许多。除了面临技术上的挑战，市场还需要缩短创新周期，迎合市场需求。为了缩短上市时间，开发人员所面临的挑战更大了：在所有系统的软件和硬件完成开发并相互集

成之前，需要在系统网络中尽早测试单个系统。这不仅适用于实际的车辆组件，还适用于环境条件和驾驶行为。这两方面因素对于整个系统的行为发挥着重要作用。

标准化合作

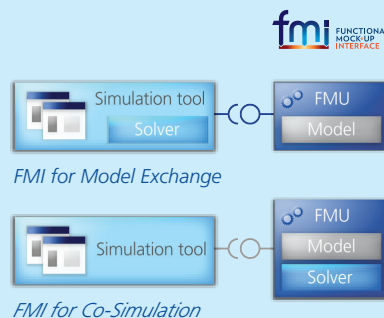
一种解决方案是在整个系统层面仿真所有系统和组件的被控对象模型。由于可用的模型通常具有不同的格式和复杂性，这需要标准化中间层，才能

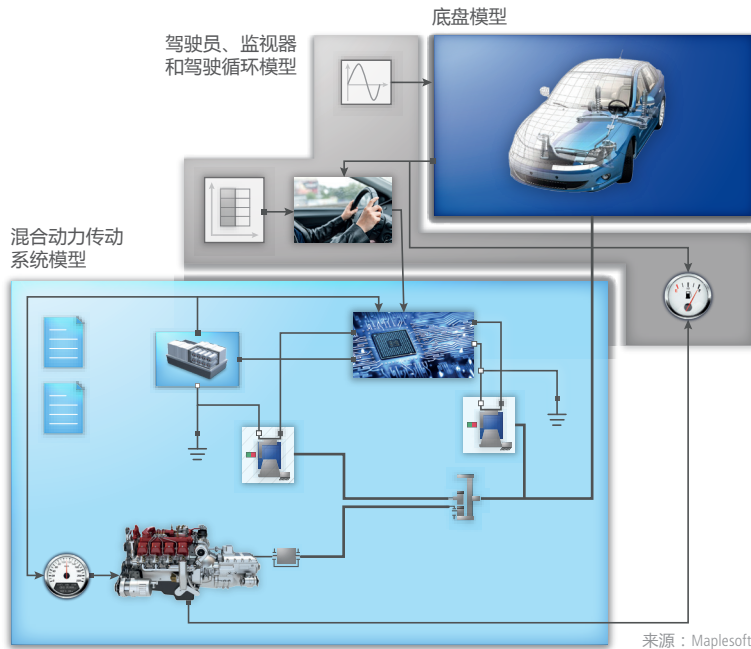
>>

for Co-Simulation 的简单接口通过使用 Functional Mock-up Unit (FMU) 功能（包括求解器的实施）和导入工具功能实现系统化分离，减少了工具链（包括各种类型和版本的支持 FMI 的工具）中潜在的兼容性问题。因

此，协同仿真 FMU 可以传输求解器代码和模型代码的组合，更易将不同的物理域模型和系统动力学模型结合在一起。

www.dspace.com/go/fmi





建立功率分流式 HEV 的商用仿真模型。突出显示的区域表示全系统模型分离产生的功能域模型。

轻松将模型结合在一起，因此我们建立了 Functional Mock-up Interface (FMI) 接口标准。此标准支持交换不同功能域（含有不同工具）的模型，并能联合仿真这些模型。为了支持仿

真，模型被制成标准化 Functional Mock-up Units (FMU)，其中包含模型实施、模型元数据以及 FMI 接口实施。此标准分为两种类型：FMI for Co-Simulation 和 FMI for Model

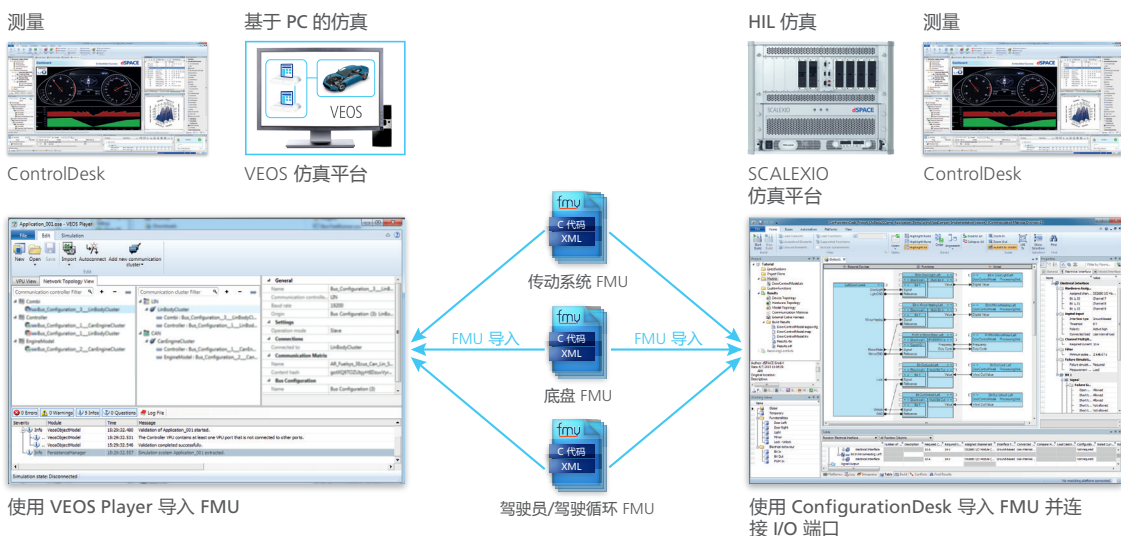
所建立的 FMU 在仿真平台 VEOS (左) 和 SCALEXIO (右) 上集成。

Exchange。这两种标准均支持模型交换，但是基于不同的技术途径。

通过所安装的工具链评估 FMI

DENSO 的目标是分析在开发中运用基于 FMI 的途径会有哪些优点。考虑到 DENSO 使用的工具链，有两种主要方法：

- 在第 1 步中，DENSO 通过重复使用项目组件，分析了由多个 FMU 组成的车辆模型能否用于基于 PC 的 VEOS 仿真和 SCALEXIO 硬件在环仿真 (HIL)，并分析了整个系统模型的仿真结果能否以这种方式重现。FMU 按照 FMI for Co-Simulation 标准进行建立。
- 在第 2 步中，DENSO 计划首先连接多个组件，例如车辆某一功能域中建模为 FMU 的密切级联模型组件（按照 FMI for Model Exchange 标准）。所产生的功能域模型随后按照 FMI for Co-Simulation 标准导出为 FMU。最后，DENSO 将检查第 1 步是否有可能实现。



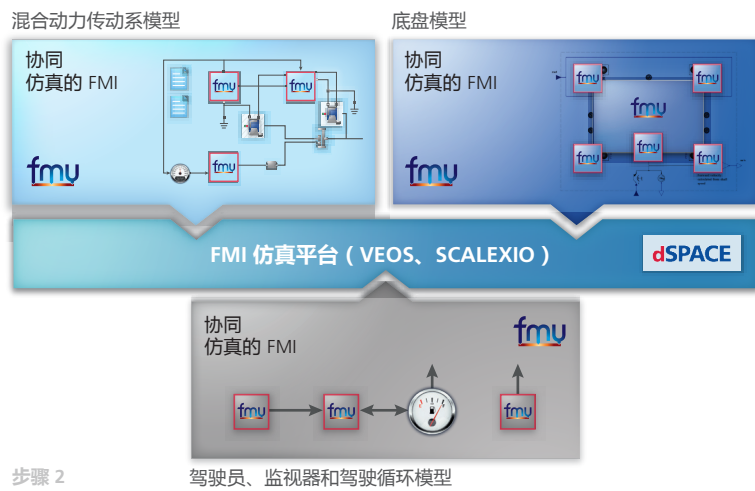
顶部：全系统模型分为多个功能域模型 FMU (FMI for Co-Simulation)，并在 VEOS 和 SCALEXIO 仿真平台上执行。
 中间：某些单独的组件模型组件在功能域模型中被 FMU (FMI for Model Exchange) 替换。这些功能域模型导出为 FMU (FMI for Co-Simulation)，并在 VEOS 和 SCALEXIO 仿真平台上执行。
 底部：dSPACE ControlDesk 中通过 VEOS (红色) 和 SCALEXIO (蓝色) 获得的仿真结果进行定性概述和比较。在图示中：(1) 车速，(2) 发动机转速，(3) 油耗，(4) 电量状态。



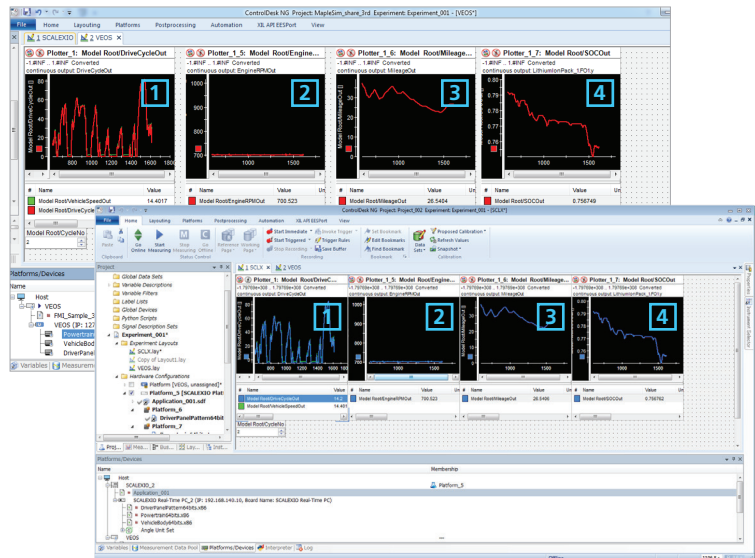
评估模型

在分析过程使用了 MapleSim® 库中的功率分流式混合动力汽车 (功率分流式 HEV) 商用模型。使用此模型能够检查现有整车模型工作流程的适用性 (基于 FMI)。以下为多种模型的详细描述：

- **整体系统模型**：是指由多个 FMU 组成的整车模型。
- **功能域模型**：是指功能单元的模型，例如由内燃机、电机、变速箱等组成的传动系统。
- **组件模型**：是指功能域组件的模型，例如变速箱模型。



功率分流式 HEV 模型由发动机、变速箱、节流阀、简单控制器、电动发电机、电池、逆变器、车轮、差动变速器和底盘的组件模型组成。



>>

“我们在仿真平台 dSPACE SCALEXIO 上成功实施了混合动力汽车模型，它由多个 Functional Mock-up Unit 组成，并可进行实时仿真。”

Fumiyasu Shirai, DENSO

建立 FMU

在第一步中，全系统模型被分成三个功能域模型，这些模型按照 FMI for Co-Simulation 标准建立为 FMU。分成混合动力系统、底盘和驾驶员/驾驶循环模型之后，可将每个 FMU 分配到四核 SCALEXIO Processing Unit 上专门的处理器内核。第四个内核用于与上位机通信。

真器上，以检查 FMU 在两个平台上的功能和性能是否正常。所有测试均表明基于 PC 的仿真与 HIL 仿真之间存在紧密的相关性，而且与 MapleSim 中的全系统模型的仿真结果相匹配。因此，可以实时执行复杂的动力学模型，并且强大的 SCALEXIO 处理器平台将具有更强的储备能力，可应对更复杂的模型、I/O 和总线仿真。

配合，实现 HIL 测试和虚拟验证。这意味着开发人员可以通过 dSPACE ControlDesk 和 AutomationDesk 等工具以及 XIL API 标准重复使用实时 FMU 及相关的测试和实验。这又一次体现了 FMI 中模型复用的概念，即在虚拟验证和 HIL 测试中简单直接地重用模型，从而实现高效、无缝的开发过程。

实施和评估 FMU

所建立的功能域 FMU 首先用在基于 PC 的 VEOS 仿真平台上，然后通过完全相同的参数化流程用在 SCALEXIO HIL 仿

无缝高效的开发

dSPACE 工具链确保在两个仿真平台上使用 FMU 时能实现持续的仿真和参数访问。它还能与其他工具无缝

更加广泛地使用 FMI

DENSO 在开发仿真模型的过程中，不断将行业经验运用到功率分流式 HEV 模型的开发中。这便于在涉及多

“基于 PC 的仿真平台 dSPACE VEOS 可以让我们将复杂的、基于 FMI 的仿真提前到早期开发阶段。”

Nobuya Miwa, DENSO

面向 SCALEXIO 多核处理器的 FMI 模型

各种建模工具的实时 Functional Mock-up Units (FMU) 可以直接集成在基于 SCALEXIO 的 HIL 项目中。FMU 可以与其它 FMU 和其它受支持的模型格式集成在整体模型

中。为了达到最佳计算性能，可以将 FMU 分配到特定的 SCALEXIO 处理器内核。利用 dSPACE Release 2017-B，SCALEXIO 还支持在一个 SCALEXIO 处理器内核上执行多个

FMU。SCALEXIO 能够始终支持 FMI 标准，是一款可集成不同来源模型的 dSPACE 开放式系统。

“无缝 dSPACE 工具链使我们基于 FMI 的开发过程变得更高效。”

Satoshi Koike, DENSO

方的车辆开发项目中交换模型。DENSO 的目标是按照 FMI for Model Exchange 标准将开发中的车辆的现有组件模型建立为 FMU，然后按照 FMI for Co-Simulation 标准将这些模型结合为功能域 FMU。这种方法能将两种 FMI 标准的优点结合起来，从而建立灵活、实时和数值稳定的全系统模型。■

Satoshi Koike, Nobuya Miwa,
Fumiyasu Shirai,
DENSO 公司

概览

任务

- 评估基于 FMI 的开发途径。
- 使用子模型（来源可能不同）仿真整个汽车系统。

挑战

- 在安装的工具链中实施基于 FMI 的工作流程。
- 确保实现高效的开发。

解决方案

- 将 FMU 集成在仿真平台 VEOS（基于 MIL/SIL）和 SCALEXIO（基于 HIL）中。
- dSPACE 提供的这种无缝开放式工具链使您能够高效地重复使用项目数据。

FMI/FMU：Functional Mock-up Interface/Unit
MIL/SIL/HIL：模型/软件/硬件在环



Satoshi Koike 先生
Satoshi Koike 是 DENSO CORPORATION（日本爱知县）电子平台研发事业部过程开发和工程部门的项目负责人。

Nobuya Miwa 先生
Nobuya Miwa 是 DENSO CORPORATION（日本爱知县）电子平台研发事业部第二研发部门的项目负责人。

Fumiyasu Shirai 先生
Fumiyasu Shirai 是 DENSO CORPORATION（日本爱知县）电子平台研发事业部第二研发部门的员工。

