

# 基于 FMI 的多物理系统仿真 研究与应用

文 | 航空工业信息技术中心（金航数码） 吕文军

目前系统仿真工具众多，但由于商业利益等因素，工具之间的接口并不完善，不同平台软件建立的模型无法有效转换到其他平台软件进行重用，造成同类型不同工具的重复采购和模型的重复开发，耗费大量的人力和科研经费支出。为了解决此类问题，欧洲仿真界提出了标准接口模型数据传输协议，即 FMI (Functional Mock-up Interface) 功能模型接口标准。

FMI 标准是一个不依赖于工具的标准，其通过 XML 文件和已编译的 C 代码的组合形成的 FMU (Functional Mock-up Unit) 文件来同时支持动态模型的模型交换和联合仿真。2014 年，由 Modelica 协会制定的 FMI2.0 标准发布后，越来越多的公司、研究所和高等院校使用或宣布支持 FMI 标准。至 2016 年 6 月，FMI 标准已经成为全球公认的功能和性能模型重用的接口标准。

## 一、基于 FMI 的多物理系统仿真的工程价值

随着科学技术的发展，面对复杂系统设计和分析的手段也逐渐丰富和完善，其中仿真技术越来越受到重视，在航空、航天、汽车、船舶和核工业等领域得到了广泛应用。仿真技术的成熟应用为复杂系统设计提供了贯穿 V 流程全生命周期的分析手段，由于其分析方便、快捷，并可作为实物试验有效的补充手段，在仿真可信度较高的情况下，可有效

降低实物试验次数，进而节约成本、提高效率。仿真技术应用过程中为打破平台软件对模型的垄断和重复开发，实现集成商有效的系统集成验证，FMI 标准提供了较为理想的解决方案，如图 1 所示。

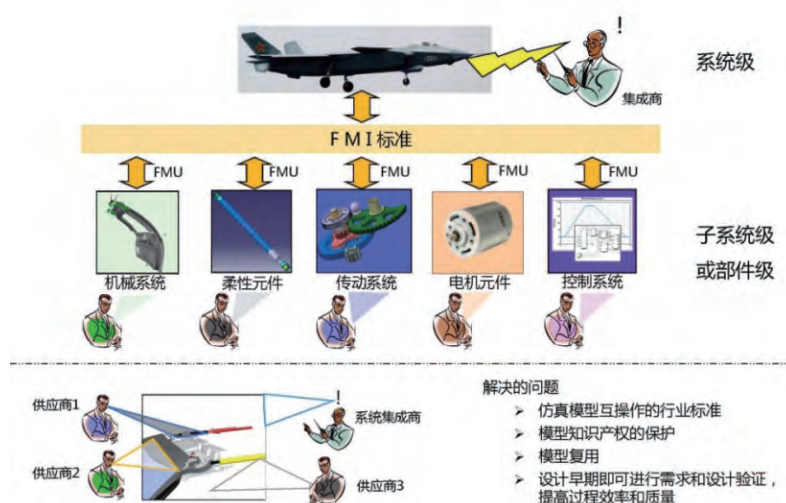


图 1 FMI 标准的作用

FMI 标准的应用解决了仿真工作开展过程中的以下问题：

◎ 解决了不同仿真工具之间的接口不能普遍兼容而导致的仿真工具碎片化的问题，避免了模型在不同仿真软件中的重复建设难题。

◎ 仿真分析工作从 V 流程的前端到后端无需切换不同的软件平台和投入过多的精力开发联合仿真软件接口，

在整个研制 V 流程中模型的通用性、一致性得到保证。

◎ 解决了复杂系统研发单位为提高系统的设计效率和质量，期望能在设计初期对需求进行验证和确认，以及集成商和供应商模型传递方法与知识产权保护的难题。

## 二、基于 FMI 的联合仿真研究和开发

Co-Simulation 意为联合仿真方法，即在同一仿真环境下，实现多源异构模型集成和联合仿真。此方法导出的 FMU 模型自带求解器，通过联合仿真方法实现主控（Master）软件下不同模型的集成。主控软件实现仿真进度的总体推进和从属 FMU 的综合调度，被集成的模型来自于不同的从属（Slave）软件导出的带求解器的 FMU 模型，如图 2 所示。



图 2 FMI 的联合仿真

根据 FMI 标准的 Co-Simulation 方法，信息技术中心（金航数码）开发了联合仿真机制的数字化模型集成仿真工具软件，如图 3 所示。

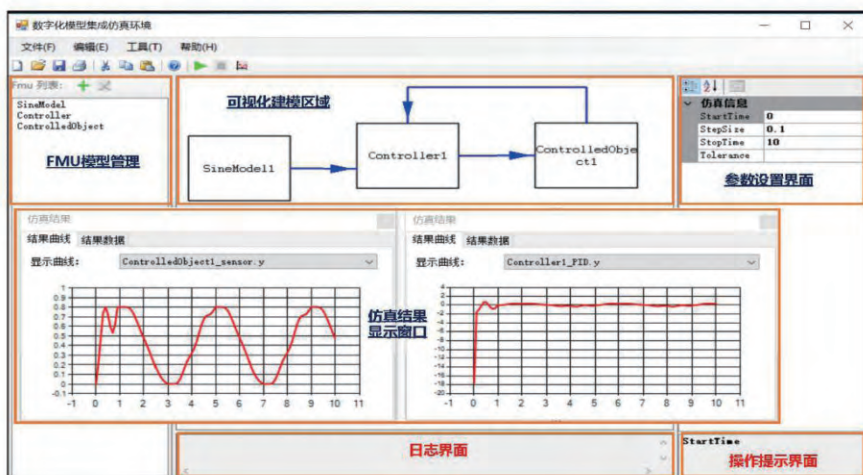


图 3 联合仿真机制的金航集成仿真工具软件

开发工具软件突破了 FMI 标准 Co-Simulation 方法的软件实现机制问题，尤其解决了 FMU 文件解析、多 FMU 调度求解算法、数据统一存储和显示问题。

FMI 联合仿真研究和开发形成的仿真集成工具软件包括的功能如下：

- ◎ FMU 文件解析和模型管理功能。
- ◎ FMU 提取和设置功能。
- ◎ 可视化拖拽建模功能。
- ◎ 结果曲线多样化显示功能。
- ◎ 仿真日志记录和界面操作提示功能。

## 三、基于 FMI 的多物理系统仿真研究进展

自 2014 年 FMI 标准发布 2.0 版本后，获得了仿真界的大力支持，工具供应商和工程用户皆投入较多的资源开发和完善 FMI 标准。国内也有部分高校和企业初步尝试 FMI 标准的研究，但是未形成可用于商业使用的成熟工具软件。信息技术中心（金航数码）研究和开发工作初步完成了基于 FMI 的系统联合仿真底层机制研究与仿真集成工具软件开发方法，已经迈出了第一步。未来将通过持续而深入的研究，进一步完善软件功能和成熟度，并与航空产品研发相结合，通过实践检验软件、通过软件提升设计方法，进而实现自主可控的大规模多来源模型集成仿真核心软件。

## 四、研究与应用推进建议

FMI 作为功能和性能模型的重用、互换和集成的接口标准，解决了工具碎片化导致的各种问题。用户只需遵循 FMI 标准即可比较便捷地完成模型集成和重用。但是，FMI 标准仅提供了完成模型重用和互换的技术方案，对于希望重用的模型是什么、符合什么标准的模型可以重用、集成协作流程、组织和制度保证等问题并没有解决，所以建议在推广应用 FMI 标准的同时，能根据实际工程需要，探索并完善符合各厂所或行业的相关标准、规范和流程等内容。<sup>[1]</sup>