



基于数字孪生技术的虚拟试验场

刘飞龙 三一重工股份有限公司



MATLAB EXPO

UNITED STATES

CHINA

BRASIL

INDONESIA



品质改变世界

三一集团

- **三一集团**主业是以“**工程机械**”为主体的装备制造行业，主导产品为混凝土、筑路机械、挖掘机械、桩工机械、起重机械、港口机械、风电设备等全系列产品，其中混凝土机械、挖掘机械、桩工机械、履带起重机械、移动港口机械、路面机械为中国第一品牌，混凝土泵车全面取代进口，且连续多年产销量居全球第一；挖掘机械一举打破外资品牌长期垄断的格局，实现中国市场占有率第一位。2012年，三一重工并购混凝土机械全球第一品牌德国普茨迈斯特，改变了行业的竞争格局。
- **数字孪生研究院**是三一集团总部职能部门，主要负责**数字孪生技术**研究、核心技术攻关、解决方案开发、技术赋能与培训、推进路径规划、最佳实践提炼、工程应用推广与成果考核评价；负责仿真体系建立与仿真技术推广等。

目录

CONTENTS

1

工程机械试验困境与机遇

- 工程机械试验困境
 - 解决方案-基于数字孪生技术的虚拟试验场

2

虚拟试验场知根知底

- 虚拟试验场功能介绍
 - 虚拟试验场技术架构

3

虚拟试验场能力涌现

- 详细介绍功能模块及应用价值

困境与机遇

- 在现代工程领域，**工程机械**是一种**复杂的机器**，由许多组件和系统组成，例如发动机、液压系统、电气系统和控制系统。
- **工程机械的设计和测试需要大量的时间和资源**。传统的测试方法涉及物理原型，**昂贵且耗时**。
- **数字孪生技术**提供了一种**新方法**，可以在**虚拟环境中测试和优化**工程机械的设计。

解决方案-基于数字孪生技术的虚拟试验场

- 虚拟试验场是数字孪生技术在工程领域中的**典型应用**。
- 虚拟试验场提供了一个**模拟平台**，使用数字孪生技术在虚拟环境中**模拟和测试**工程机械的性能。
- 虚拟试验场具有**减少**测试时间和成本、**提高**产品竞争力和可靠性、**降低**风险和安全隐患的优点。



- 虚拟试验场实现多试验场和单设备的状态映射，增加试验场和设备监控手段，**提升试验效率20%**
- **实时性**是运行数字孪生体、保障数字孪生模型与对应物理实体实现有效闭环的**关键指标**
- 虚拟试验场实现仿真通用性设计及在线化管理，**提升仿真效率30%**

状态映射

功能:

- ① 孪生试验场场景
- ② 单设备动作展示
- ③ 模型使用总览



价值: 实时展示: 全链路秒级传输

数字孪生模型实时运行

功能:

- ① 工况识别在线分析
- ② 油耗预测对标分析
- ③ 工况强度展示
- ④ 挖机实时动作展示



价值: 实时工况识别和油耗预测
降低重复分析时间成本

辅助设计

功能:

- ① 仿真模型库
- ② 在线/离线仿真
- ③ 仿真结果可视化
- ④ 挖机工况复现
- ⑤ 数据/报告下载



价值: 试验场到孪生平台的双向数据传输
提升研发效率

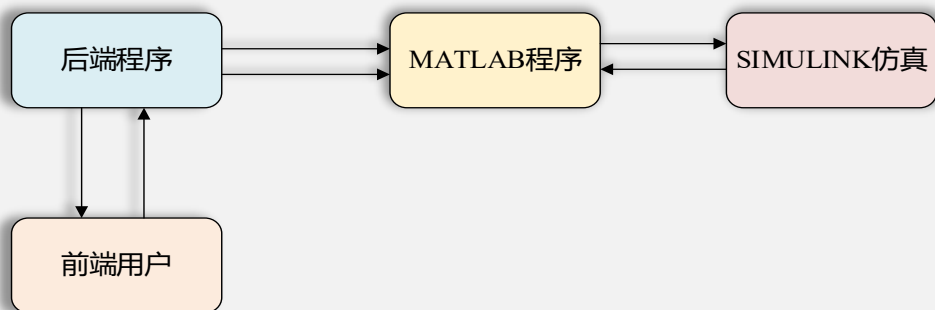


- 实现不同试验场的切换，**实时监控**试验场设备状态，便于试验场设备的在线管理。
- 实现单设备工况识别、油耗预测的**实时分析**，可快速获取设备的**工况分析**和**油耗表现**，并预留其他算法或实时模型加载的接口预留。
- **提升**试验人员进行设备分析的**效率**，及时发现问题并解决。



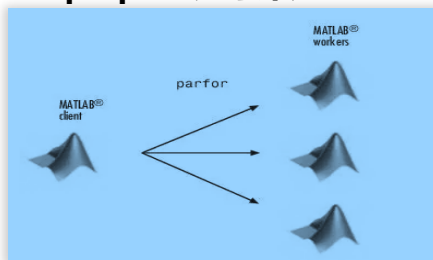
- 基于**SIMULINK模型**，通过MATLAB和JAVA的交互，实现仿真模型的在线计算。
- 支持同模型和不同模型的**并行仿真**，可以实现长时间稳定运行。

在线仿真链路



- ① 前端用户设置仿真
- ② 后端程序建立仿真任务
- ③ MATLAB程序收到任务后，通过实时链路驱动SIMULINK仿真
- ④ 仿真结果通过TCP协议返回前端

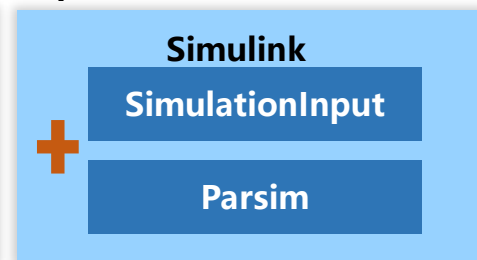
方案一：MATLAB parpool并行计算。



方案二：多MATLAB程序实现并行仿真。



方案三：SimulationInput与parsim组合实现并行仿真。



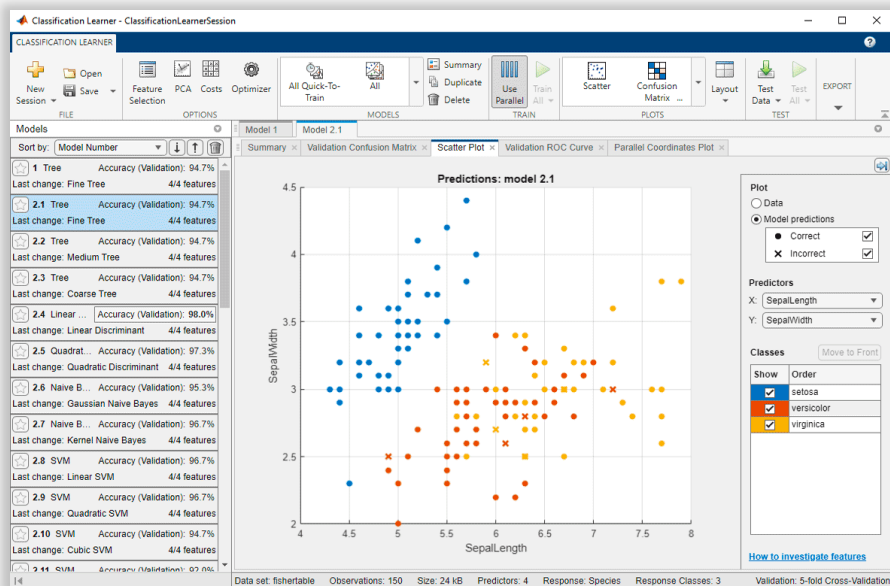
方案	特点	适用场景
方案一：基于MATLAB工具包parpool实现并行仿真	对CPU使用控制灵活；CPU使用较高，内存占用较小	多模型并行仿真
方案二：多MATLAB程序实现多仿真任务	CPU使用较高，内存占用较小	多模型并行仿真
方案三：使用Simulink并行仿真接口SimulationInput实现并行仿真	执行时间相对较快、CPU和内存占用较小	同模型并行仿真

选择MATLAB进行数字孪生建模

- MATLAB与Simulink可同时支持数据驱动模型以及物理模型的搭建。
- 多样化的工具帮助用户快速进行数字孪生建模与部署。

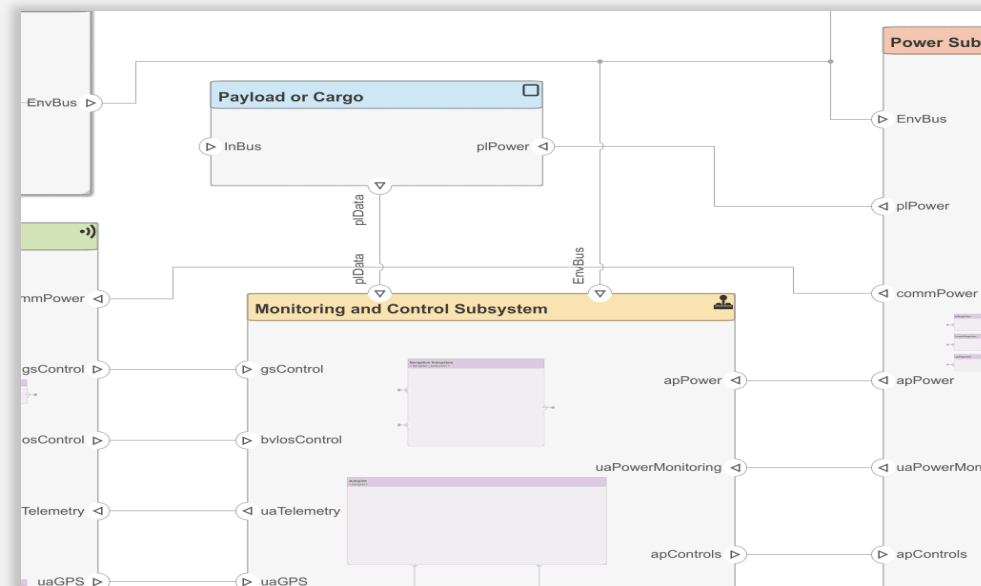
数据驱动模型

- 支持各类热门人工智能模型的搭建
- 运用成熟的可解释性方法打破机器学习的黑盒
- 快速进行模型验证，优化模型



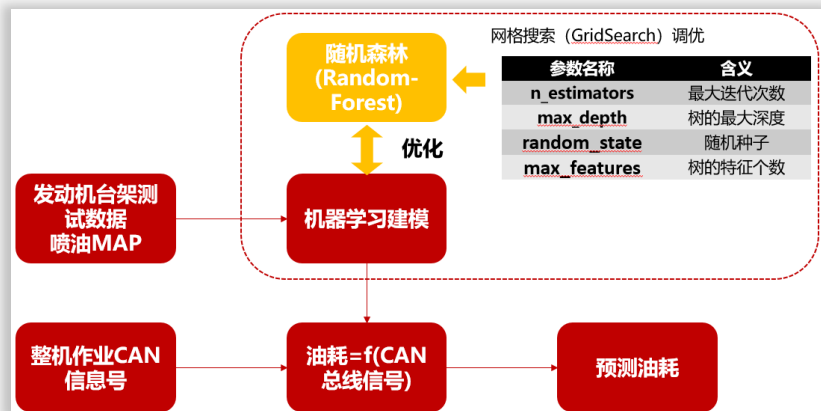
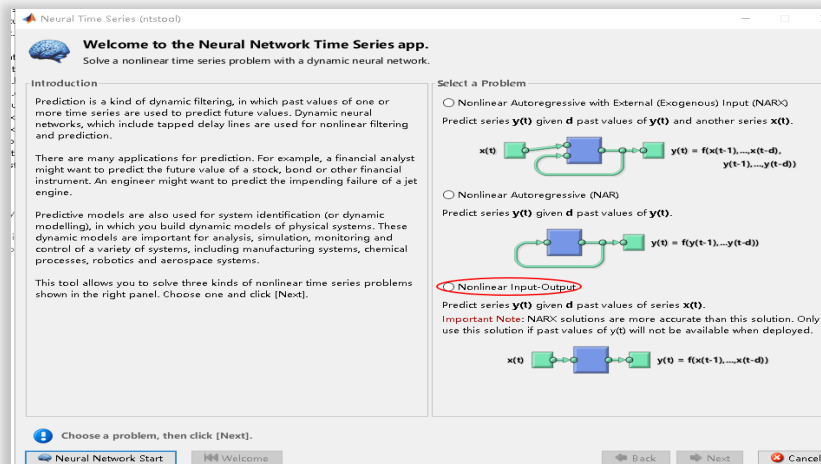
物理模型

- 使用 Simulink 中的多域建模工具快速创建物理模型
- 数据驱动融合物理模型，MATLAB 和 Simulink助力数字孪生



- 基于深度学习与机器学习方法，实现挖掘机油耗的**实时预测**，可为挖掘机**油耗分析**、**节油策略**制定提供数据支持，实现油耗的动态优化。
- 通过结合工况识别、循环功率分布统计，为工程师快速提供**油耗优化**的方向。

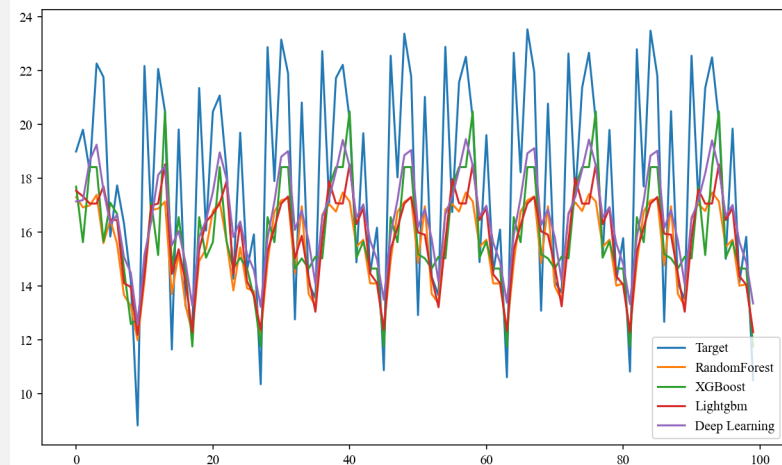
MATLAB神经网络模型与机器学习模型工具箱



模型预测精度分析

Model	MSE	与最优值相比	MAPE	与最优值相比	预测精度
随机森林	9.99	-12.12%	16.46%	-2.75%	83.54%
XGBoost	10.42	-16.95%	16.02%	0.00%	83.98%
Lightgbm	9.7	-8.87%	16.04%	-0.12%	83.96%
深度学习模型	8.91	0.00%	16.97%	-5.93%	83.03%

模型预测对比分析



- **自助式仿真服务**: 模型管理->模型查询->C端数据下载->新建仿真->仿真结果查询。
- **通用性服务**: 支持SIMULINK等仿真模型的离线、在线仿真及结果查询
- **在线服务**: 实现模型与C端数据的结合
- 新建仿真可以实现仿真工作的在线化, 有效**降低**工程师的**线下沟通成本20%**

1.模型管理



2.模型列表



3.数据下载



4.新建仿真



5. 仿真列表



6. 仿真结果查询



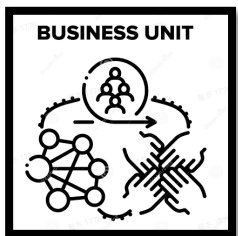
- ✓ **自助式服务**: 模型上传、管理、查看
- ✓ **通用性服务**: 支持amesim、simulink仿真模型的离线仿真及结果查询
- ✓ **在线服务**: 实现模型与C端数据的结合

展望

借助MATLAB等软件，未来实现更多虚拟试验代替物理试验

虚拟试验场将成为装备制造设计开发不可或缺的一部分，助力智能制造业实现高质量、高效率的发展

... ..



多个产品：推广至更多产品



多个机型：覆盖范围由“燃油产品”扩展到“电动产品”



多种传感器信号：由单一CAN信号数据到兼容多种传感器信号数据采集/传输



多种应用场景：从“工况识别”“油耗预测”，到“操控性”“热管理”

MATLAB EXPO

Thank You



© 2023 The MathWorks, Inc. MATLAB and Simulink are registered trademarks of The MathWorks, Inc. See [mathworks.com/trademarks](https://www.mathworks.com/trademarks) for a list of additional trademarks. Other product or brand names may be trademarks or registered trademarks of their respective holders.