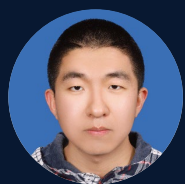




一汽解放

数据驱动的深度学习商用车控制策略开发

孟祥开, 一汽解放汽车有限公司

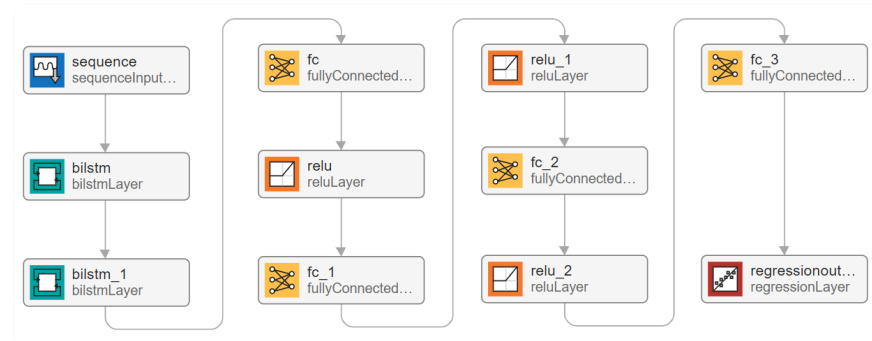


MATLAB EXPO

数据驱动的深度学习商用车控制策略开发

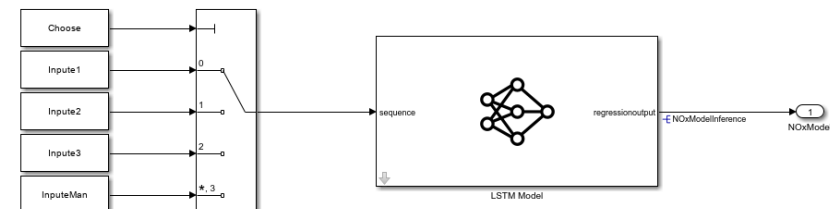
内容概要

- 公司&团队
- 为何开发-深度学习控制策略的开发背景
 - 困境
 - 机遇
- 如何开发-深度学习控制策略的诞生历程
 - 控制策略开发流程 VS Matlab深度学习工具链
 - 算法原型>>模型压缩>>迁移整合>>代码生成及部署
- 效果几何-硬件在环验证
- 回看与展望-数据驱动研发
 - 工具链助力研发
 - 数据驱动的产品开发



● 神经网络

策略集成



Code

- 主文件
 - ert_main.c
- 模型文件
 - lstm.c
 - lstm.h
 - lstm_private.h
 - lstm_types.h
- 数据文件
 - Cal.c
 - Cal.h
 - lstm_data.c
- 实用工具文件
 - rtwtypes.h

模型信息

作者	
上次修改者	
模型版本	1.10
任务模式	单任务

代码生成时的配置设置

代码信息

系统目标文件	ert.tlc
硬件设备类型	Infineon->TriCore
Simulink Coder 版本	9.8 (R2022b) 13-May-2022
生成的源代码的时间戳	Tue Apr 25 21:24:59 2023
生成的源代码的位置	D:\Control strategy development\Matlab_Project\LstmNoxModel\lstm_ert_rtw
编译的类型	模型
指定的目标	Unspecified

● 代码生成

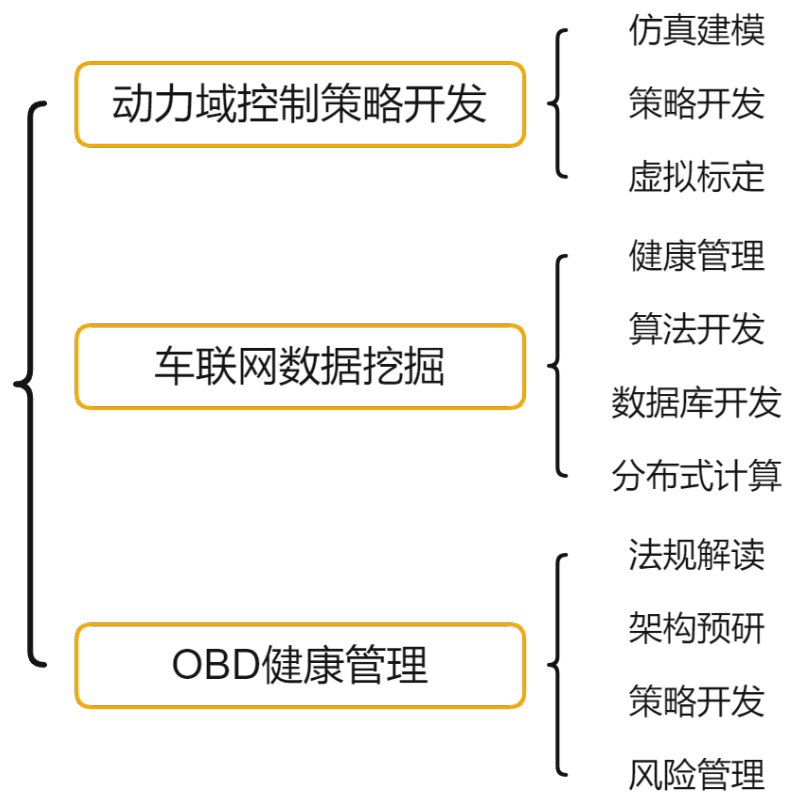
一汽解放汽车有限公司

- 拥有牵引、载货、自卸、专用、新能源、轻卡、客车七大产品系列。J7、鹰途、J6V、JH6、J6P等14个卡车产品平台覆盖重、中、轻三大领域。
- 22年中重卡终端份额25.7%，保持行业第一，牵引车销量连续十七年行业绝对领先。
- 具备中国最为强大和完整的自主研发体系，覆盖前瞻技术、发动机、变速器、车桥到整车，研发团队超3000人。
- 一汽解放始终秉承自主创新使命，本着‘创新、协调、绿色、开放、共享’的发展态度，致力于研发国际领先的商用车前沿技术，倾力推动行业发展。



一汽解放商用车开发院-发动机开发部

电控开发团队



一汽解放商用车开发院-发动机开发部

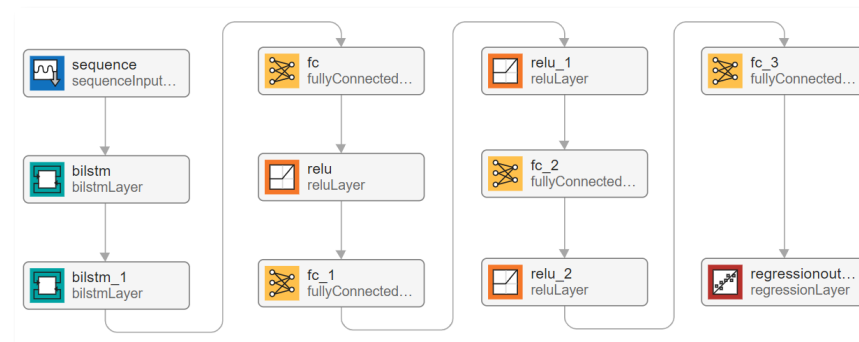
电控开发团队



数据驱动的深度学习商用车控制策略开发

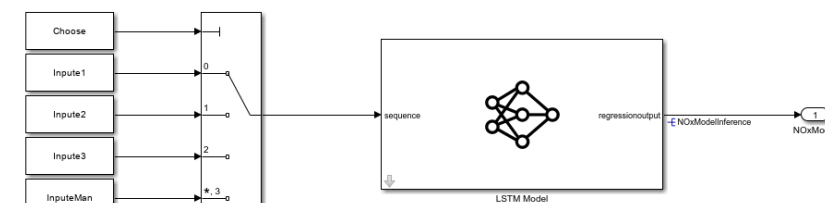
内容概要

- 公司&团队
- 为何开发-深度学习控制策略的开发背景
 - 困境
 - 机遇
- 如何开发-深度学习控制策略的诞生历程
 - 控制策略开发流程 VS Matlab深度学习工具链
 - 算法原型>>模型压缩>>迁移整合>>代码生成及部署
- 效果几何-硬件在环验证
- 回看与展望-数据驱动未来
 - 工具链助力研发
 - 数据驱动的产品开发



● 神经网络

策略集成



Code

- 主文件
 - ert_main.c
- 模型文件
 - lstm.c
 - lstm.h
 - lstm_private.h
 - lstm_types.h
- 数据文件
 - Cal.c
 - Cal.h
 - lstm_data.c
- 实用工具文件
 - rtwtypes.h

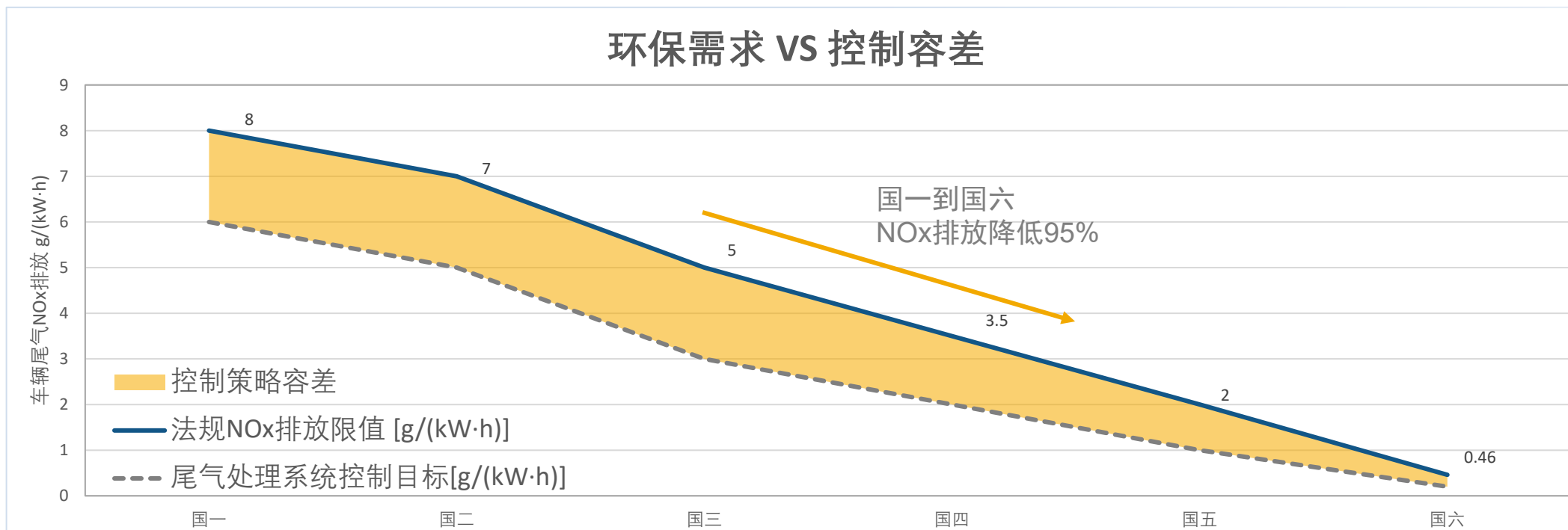
模型信息	
作者	
上次修改者	
模型版本	1.10
任务模式	单任务

代码生成时的配置设置

代码信息	
系统目标文件	ert.tlc
硬件设备类型	Infineon->TriCore
Simulink Coder 版本	9.8 (R2022b) 13-May-2022
生成的源代码的时间戳	Tue Apr 25 21:24:59 2023
生成的源代码的位置	D:\Control strategy development\Matlab_Project\LstmNoxModel\lstm_ert_rtw
编译的类型	模型
指定的目标	Unspecified

● 代码生成

环保需求使控制策略容差不断收窄

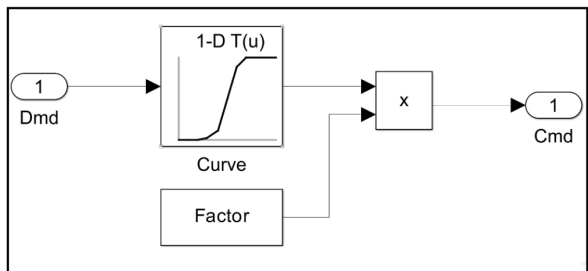


困境-精度不足:

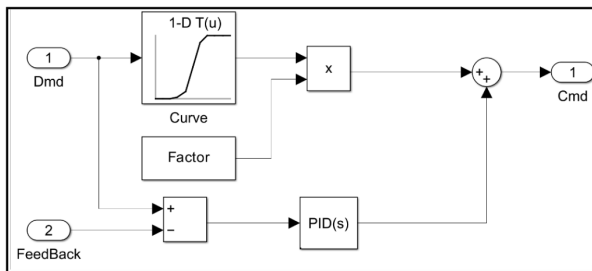
- 动态工况/延迟系统中精度难以保持
- 多样化运行场景下的适应性不足

控制策略发展历程

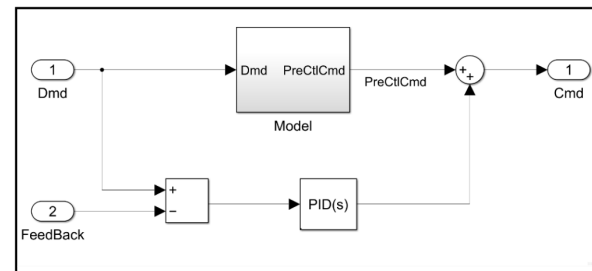
开环逻辑



闭环算法



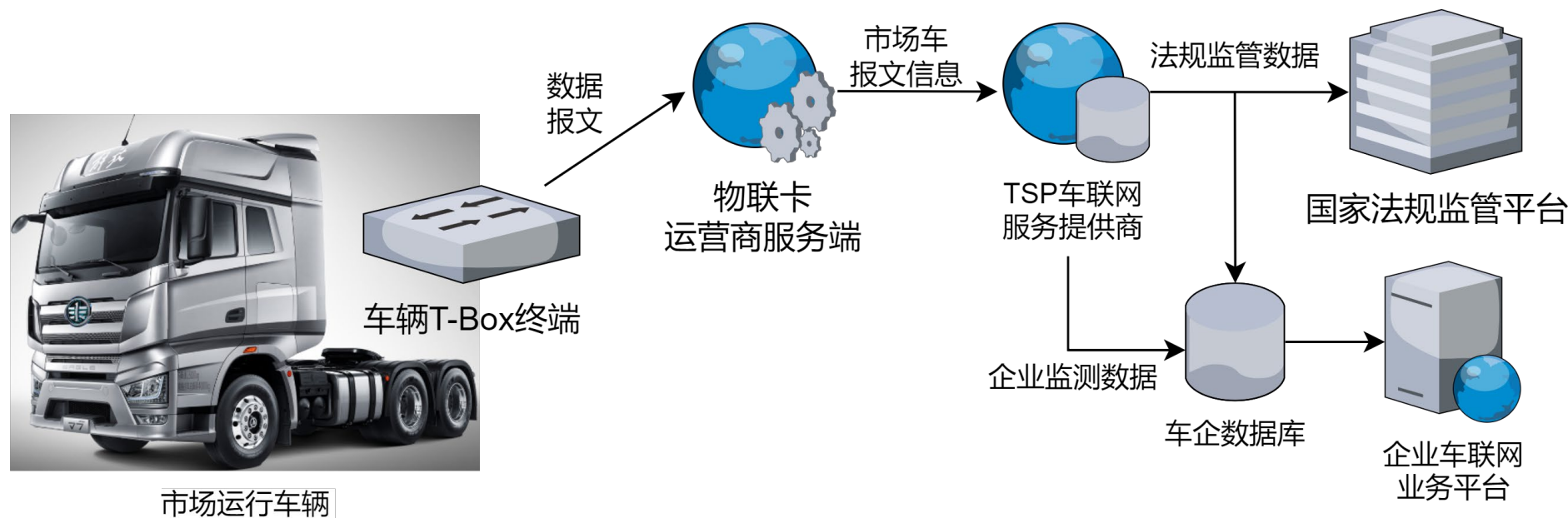
基于模型



困境-成本膨胀:

- 复杂的物理化学过程建模导致算法开发难度增大
- 庞杂的标定试验导致标定开发周期延长

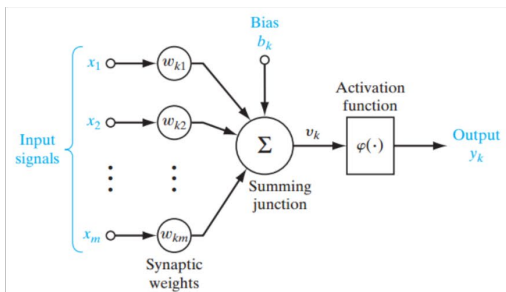
车联网的普及为车企积累了海量数据资产



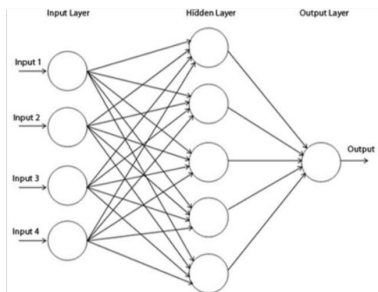
机遇-数据资产：

- 时间跨度：覆盖车辆全生命周期的时间序列数据
- 场景广度：覆盖全量市场用户的实际运行场景数据

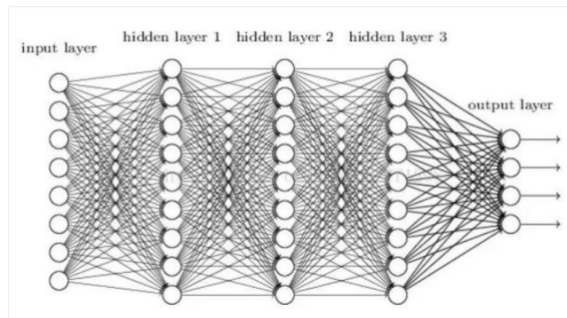
深度神经网络算法已具备强大能力



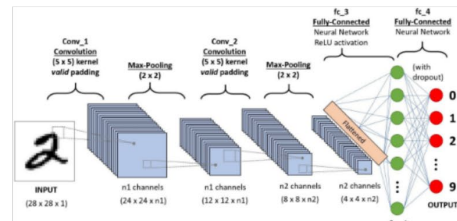
单层感知机SLP



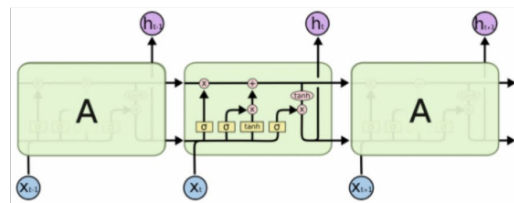
反向传播神经网络BP



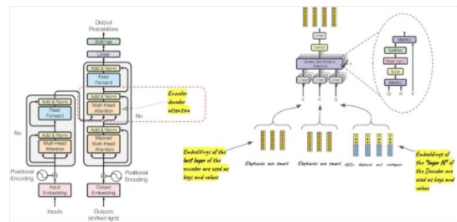
深度神经网络DNN



CNN



LSTM



Transformer

机遇-数据建模：

- 性能：深度学习算法已经具备解析复杂系统的能力
- 适用性：丰富的技术分支满足各类控制场景



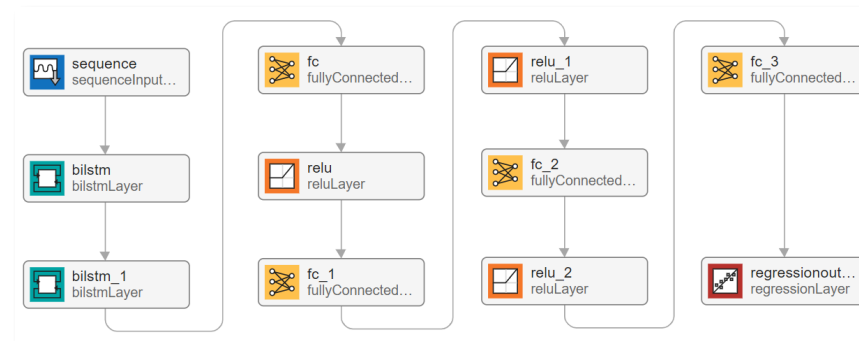
预期目标:

- 利用深度学习算法提升策略精度、简化建模过程、缩短标定周期
- 将深度学习算法融入传统控制策略的开发流程中

数据驱动的深度学习商用车控制策略开发

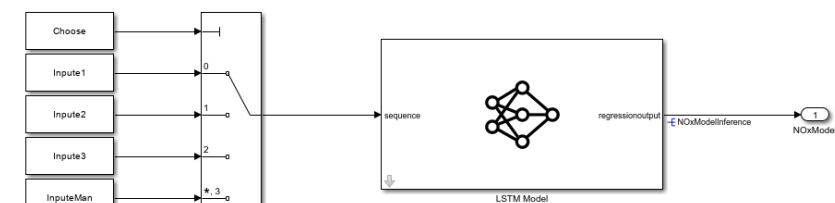
内容概要

- 公司&团队
- 为何开发-深度学习控制策略的开发背景
 - 困境
 - 机遇
- 如何开发-深度学习控制策略的诞生历程
 - 控制策略开发流程 VS Matlab深度学习工具链
 - 算法原型>>模型压缩>>迁移整合>>代码生成及部署
- 效果几何-硬件在环验证
- 回看与展望-数据驱动研发
 - 工具链助力研发
 - 数据驱动的产品开发



● 神经网络

策略集成



Code

- 主文件
 - ert_main.c
- 模型文件
 - lstm.c
 - lstm.h
 - lstm_private.h
 - lstm_types.h
- 数据文件
 - Cal.c
 - Cal.h
 - lstm_data.c
- 实用工具文件
 - rtwtypes.h

模型信息

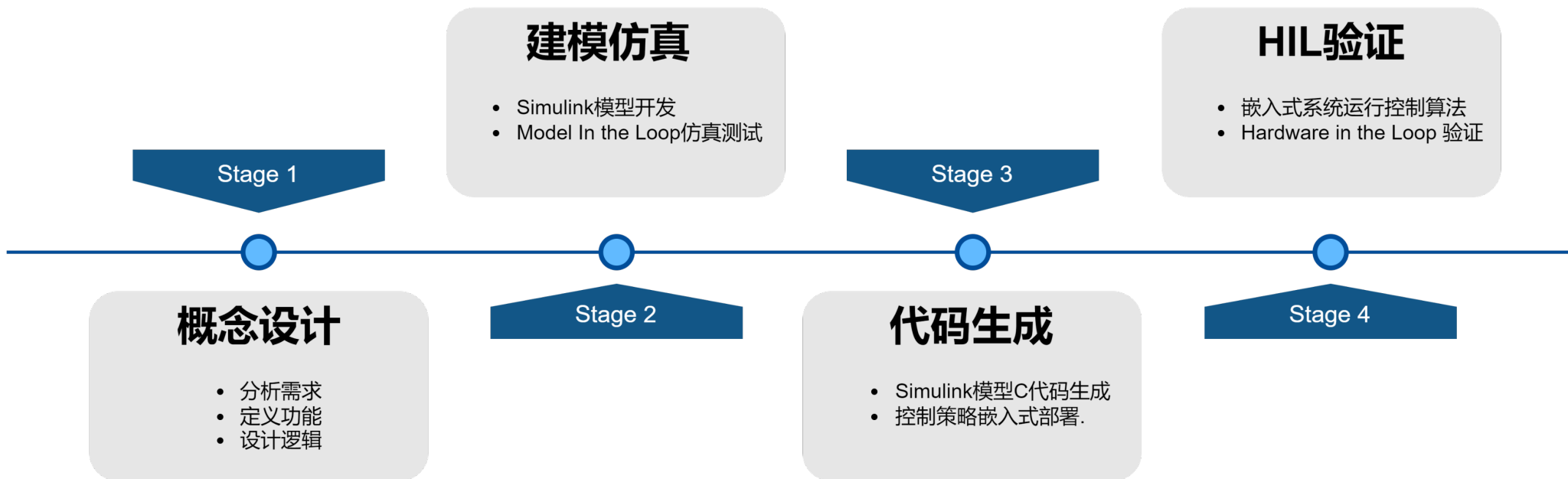
作者	
上次修改者	
模型版本	1.10
任务模式	单任务

代码生成时的配置设置

代码信息

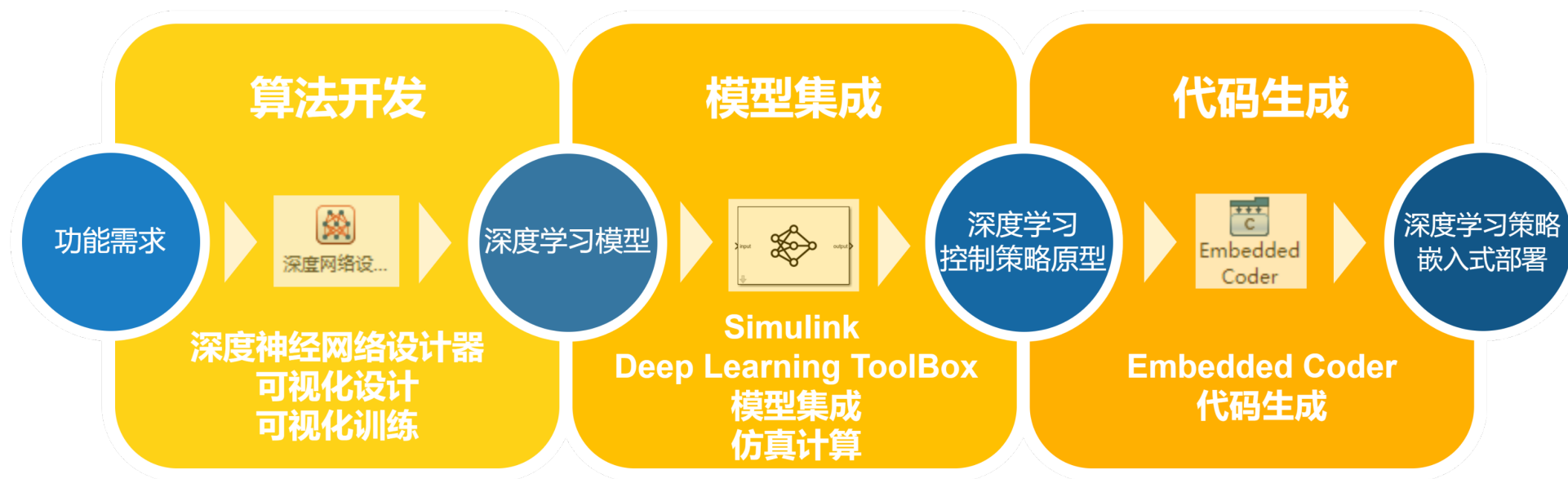
系统目标文件	ert.tlc
硬件设备类型	Infineon->TriCore
Simulink Coder 版本	9.8 (R2022b) 13-May-2022
生成的源代码的时间戳	Tue Apr 25 21:24:59 2023
生成的源代码的位置	D:\Control strategy development\Matlab_Project\LstmNoxModel\lstm_ert_rtw
编译的类型	模型
指定的目标	Unspecified

● 代码生成



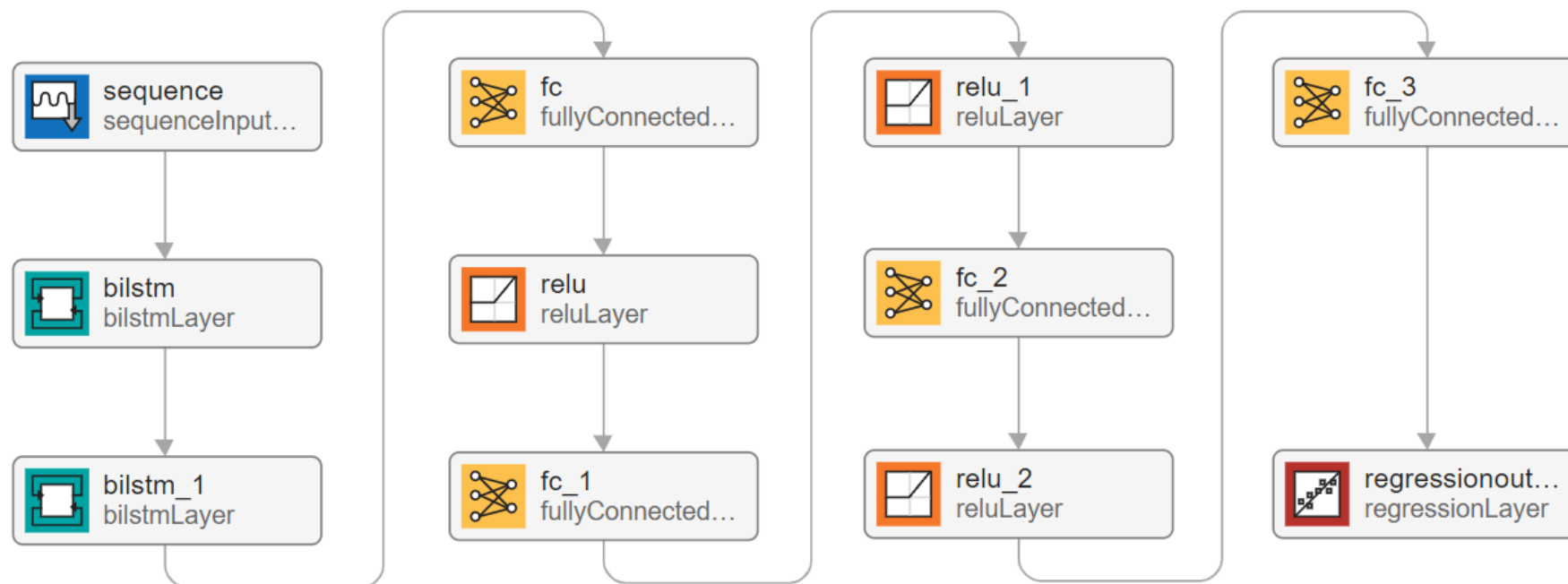
深度学习控制策略开发的技术门槛：

- 深度学习模型开发
- 深度学习模型的Simulink集成
- 深度学习模型的代码生成



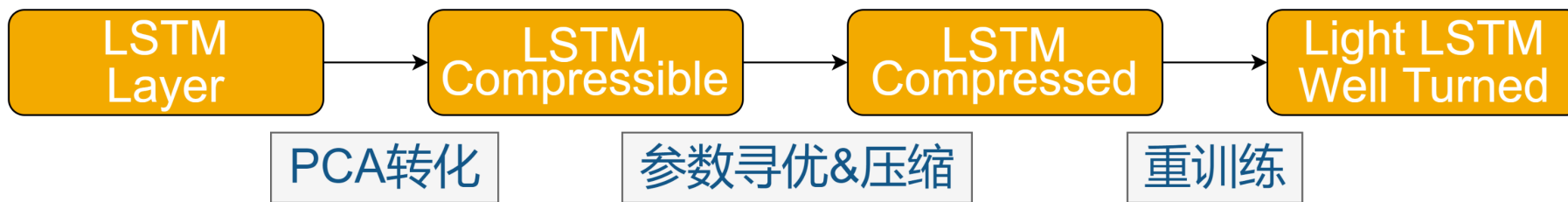
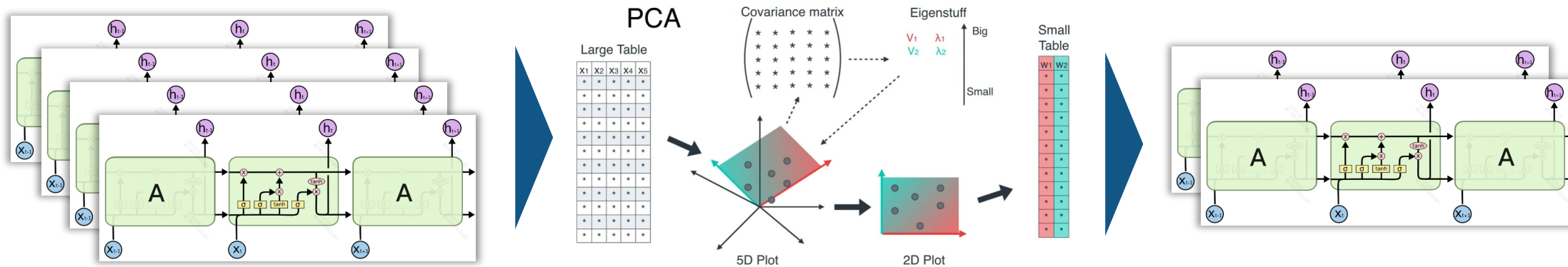
Deep Learning Toolbox助力深度学习控制策略开发：

- 模型开发：使用深度网络设计器，可视化搭建深度学习模型
- Simulink集成：Simulink中引用Deep Learning ToolBox 的相应模块，关联深度学习模型
- 代码生成：Embedded Coder生成深度学习策略的C代码



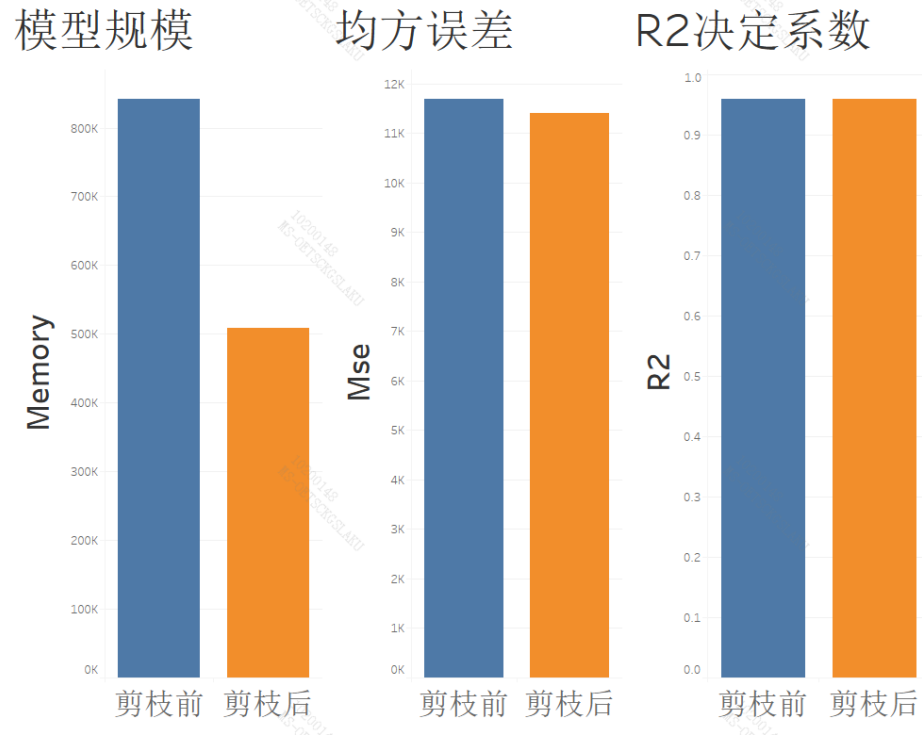
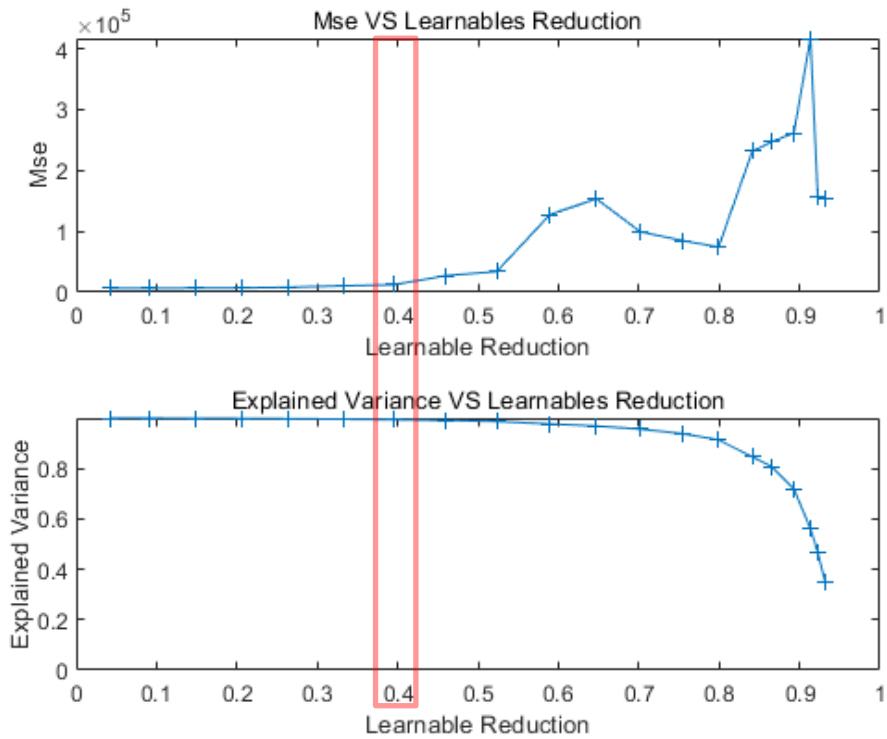
柴油机运行参数瞬态基线模型：

- 工具：Deep Network Designer 深度网络设计器
- 功能：发动机动态参数基线模型(基于车联网数据训练)
- 用途：健康诊断、虚拟传感器
- 优势：基于长短期记忆网络(LSTM)，在发动机工况变化时能够保持良好精度



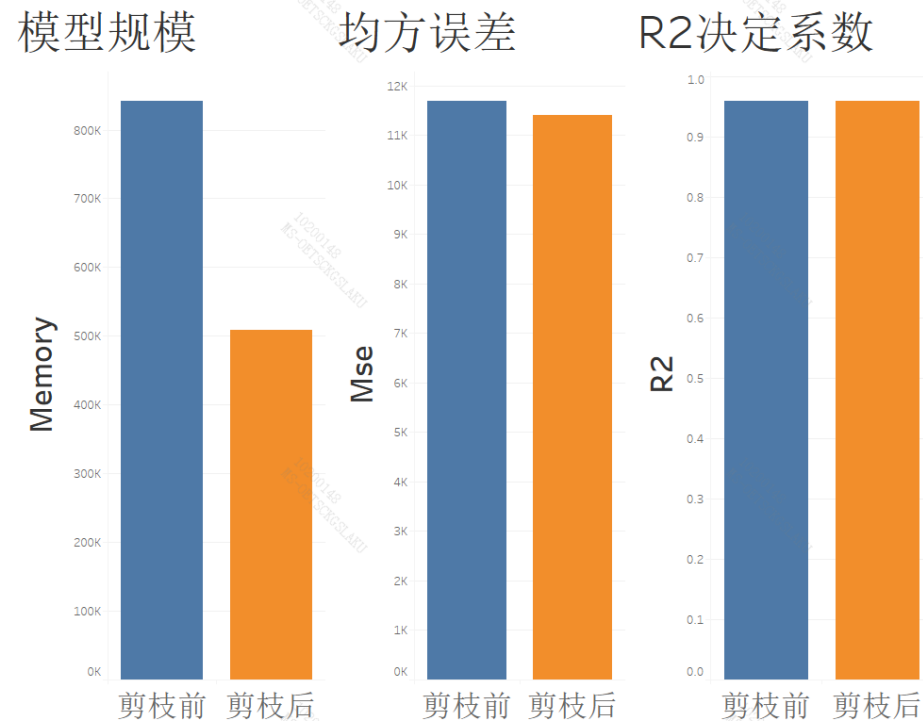
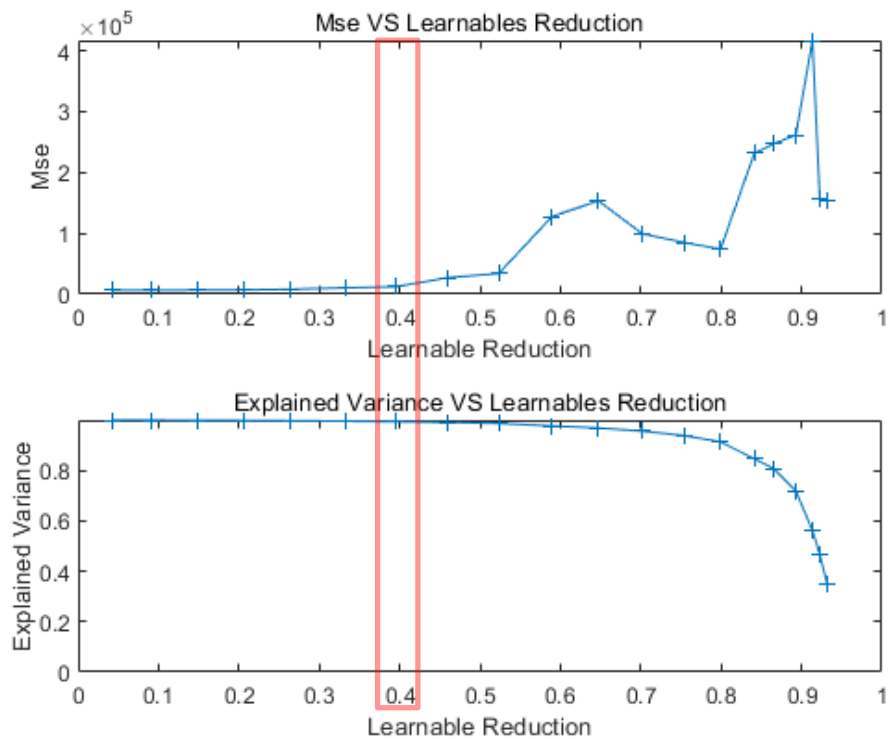
基于deepNetworkQuantizer附加功能包进行剪枝：

- LSTM层PCA转化
- 分析不同降维幅度的性能损失
- 确定降维参数，进行模型压缩
- 模型重训练，精度评价



基于deepNetworkQuantizer附加功能包进行剪枝:

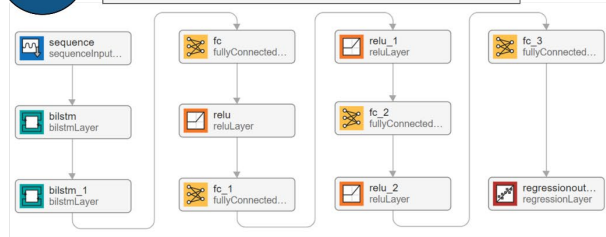
- LSTM层PCA转化
- 分析不同降维幅度的性能损失
- 确定降维参数，进行模型压缩
- 模型重训练，精度评价



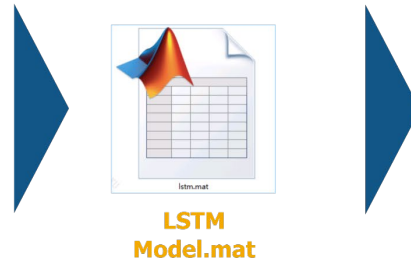
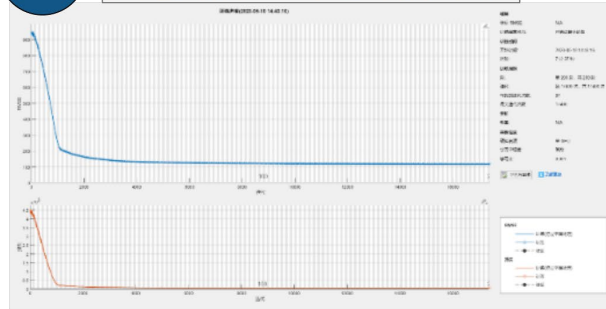
采用PCA算法对LSTM层的隐藏节点进行剪枝:

- 随模型参数减少, 模型误差升高
- 模型参数量降低40%
- 重训练后精度基本不受影响

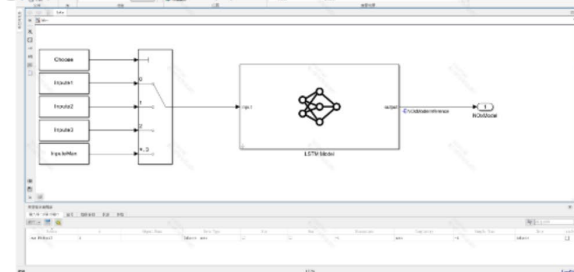
1 神经网络建模



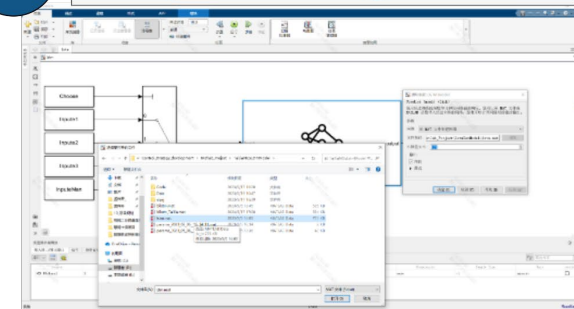
2 神经网络训练



3 Simulink控制策略建模



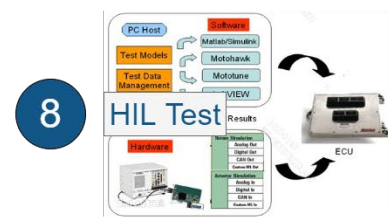
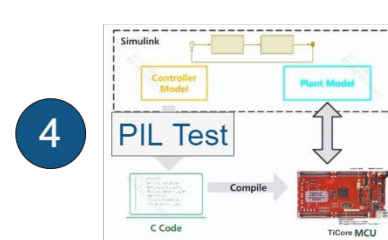
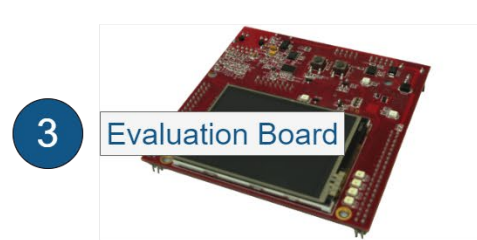
4 deepLearningToolbox



在Simulink中调用深度神经网络模型：

- 完成模型搭建与训练后，存为.mat文件
- Simulink >> Deep Learning Toolbox中，Predict 模块用于模型预测
- 通过将Predict模块关联.mat文件实现神经网络模型在Simulink中的迁移整合

代码生成及部署



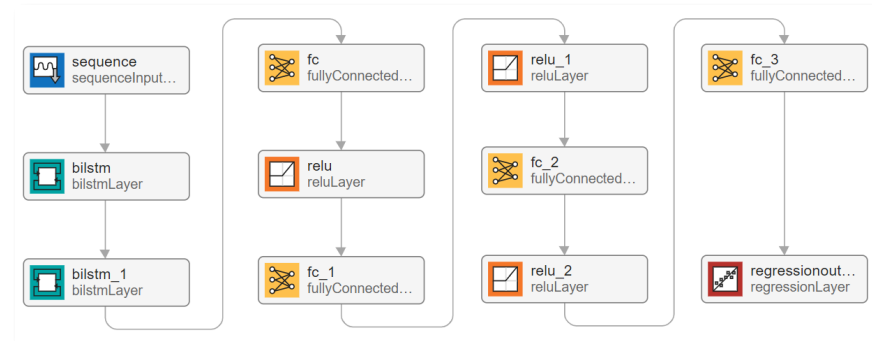
灵活代码生成工具链覆盖控制策略开发全链条需求：

- Embedded Coder快速向导生成C代码，部署至嵌入式开发板(TiCore)，覆盖PIL测试阶段
- Matlab2019+C Caller，跨版本代码生成，部署至快速原型系统(PowerPC)，覆盖HIL测试阶段

数据驱动的深度学习商用车控制策略开发

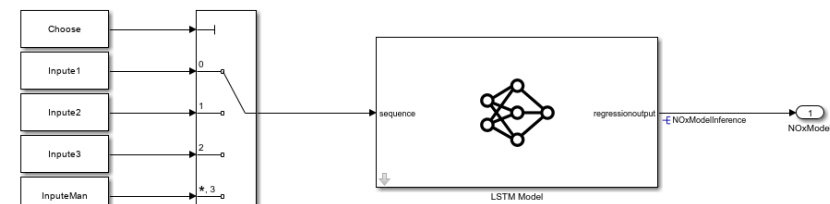
内容概要

- 公司&团队
- 为何开发-深度学习控制策略的开发背景
 - 困境
 - 机遇
- 如何开发-深度学习控制策略的诞生历程
 - 控制策略开发流程 VS Matlab深度学习工具链
 - 算法原型>>模型压缩>>迁移整合>>代码生成及部署
- 效果几何-硬件在环验证
- 回看与展望-数据驱动研发
 - 工具链助力研发
 - 数据驱动的产品开发



● 神经网络

策略集成



Code

- 主文件
 - ert_main.c
- 模型文件
 - lstm.c
 - lstm.h
 - lstm_private.h
 - lstm_types.h
- 数据文件
 - Cal.c
 - Cal.h
 - lstm_data.c
- 实用工具文件
 - rtwtypes.h

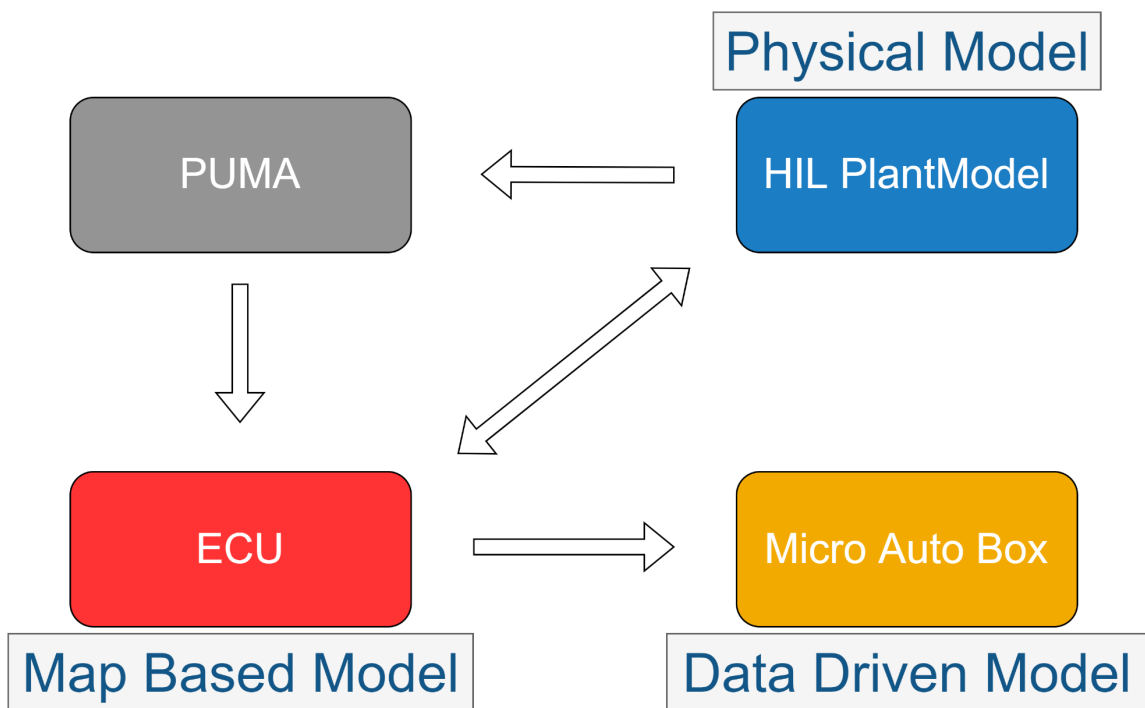
模型信息	
作者	
上次修改者	
模型版本	1.10
任务模式	单任务

代码生成时的配置设置

代码信息	
系统目标文件	ert.tlc
硬件设备类型	Infineon->TriCore
Simulink Coder 版本	9.8 (R2022b) 13-May-2022
生成的源代码的时间戳	Tue Apr 25 21:24:59 2023
生成的源代码的位置	D:\Control strategy development\Matlab_Project\LstmNoxModel\lstm_ert_rtw
编译的类型	模型
指定的目标	Unspecified

● 代码生成

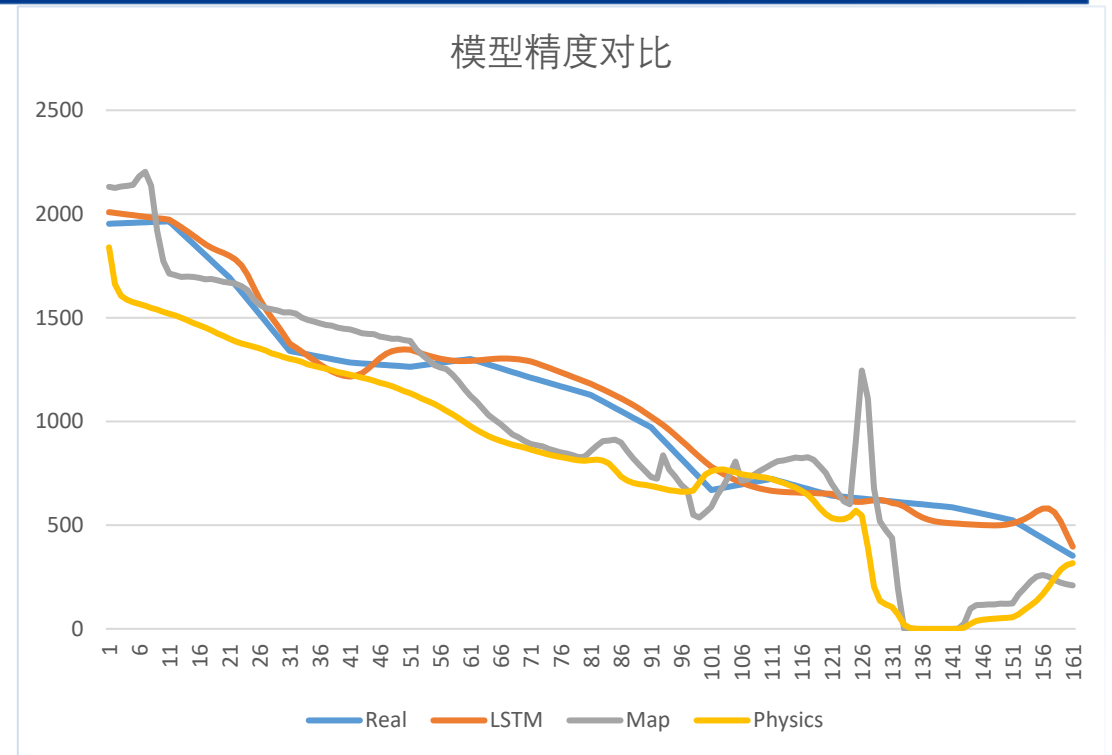
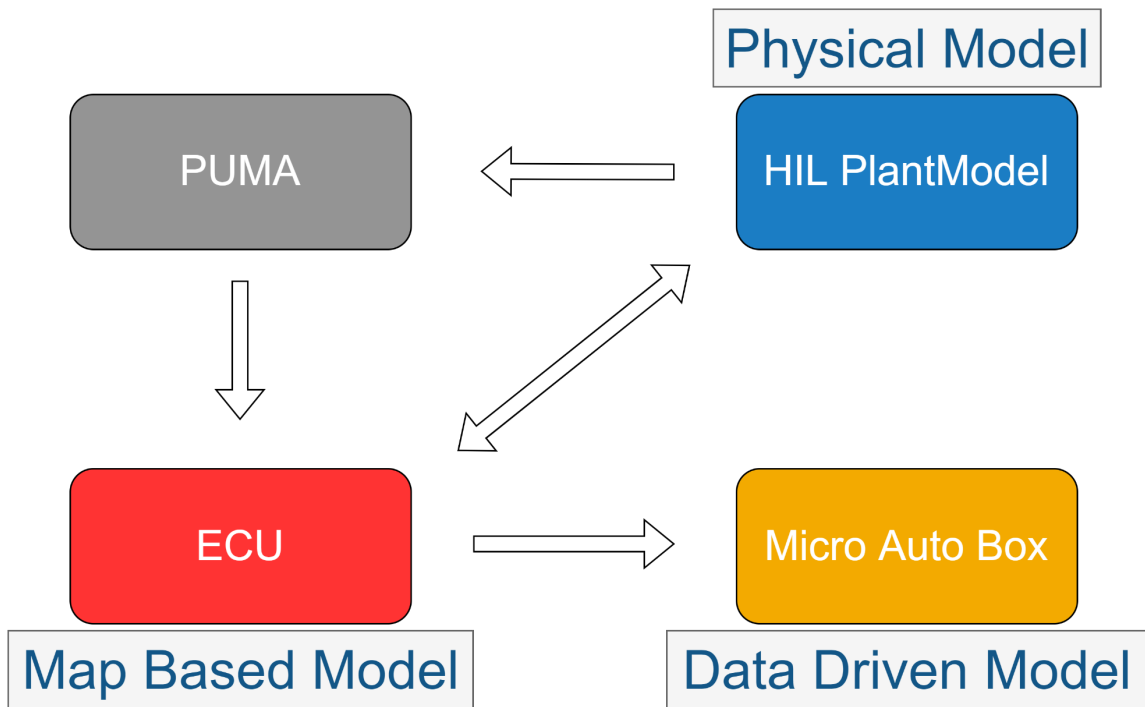
硬件在环(Hardware in the Loop)验证



接入虚拟标定台架系统，对比模型精度：

- HIL设备：基于物理原理的发动机被控对象模型
- ECU控制器：基于标定数表的ECU策略模型
- 快速原型系统：基于深度神经网络的测试模型

硬件在环(Hardware in the Loop)验证



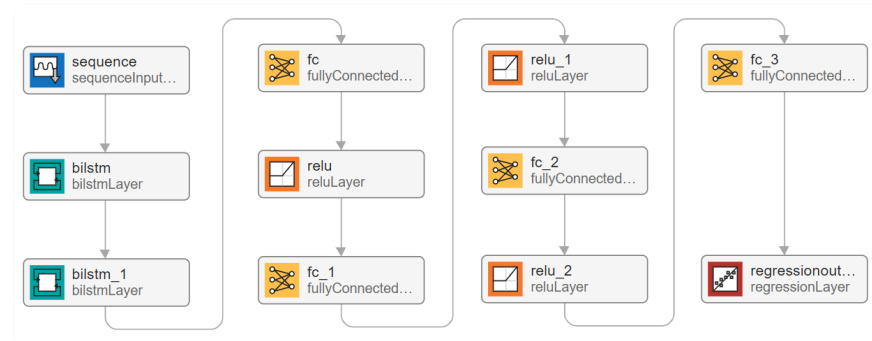
接入虚拟标定台架系统，对比模型精度：

- HIL设备：基于物理原理的发动机被控对象模型
- ECU控制器：基于标定数表的ECU策略模型
- 快速原型系统：基于深度神经网络的测试模型

数据驱动的深度学习商用车控制策略开发

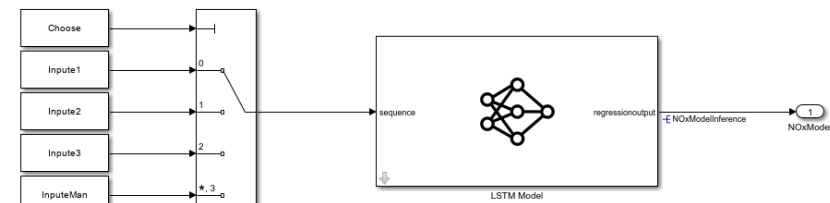
内容概要

- 公司&团队
- 为何开发-深度学习控制策略的开发背景
 - 困境
 - 机遇
- 如何开发-深度学习控制策略的诞生历程
 - 控制策略开发流程 VS Matlab深度学习工具链
 - 算法原型>>模型压缩>>迁移整合>>代码生成及部署
- 效果几何-硬件在环验证
- 回看与展望-数据驱动研发
 - 工具链助力研发
 - 数据驱动的产品开发



● 神经网络

策略集成



代码接口报告
可追溯性报告
静态代码指标报告
代码替换报告
代码生成器假说

Code

- 主文件
 - ert_main.c
- 模型文件
 - lstm.c
 - lstm.h
 - lstm_private.h
 - lstm_types.h
- 数据文件
 - Cal.c
 - Cal.h
 - lstm_data.c
- 实用工具文件
 - rtwtypes.h

模型信息

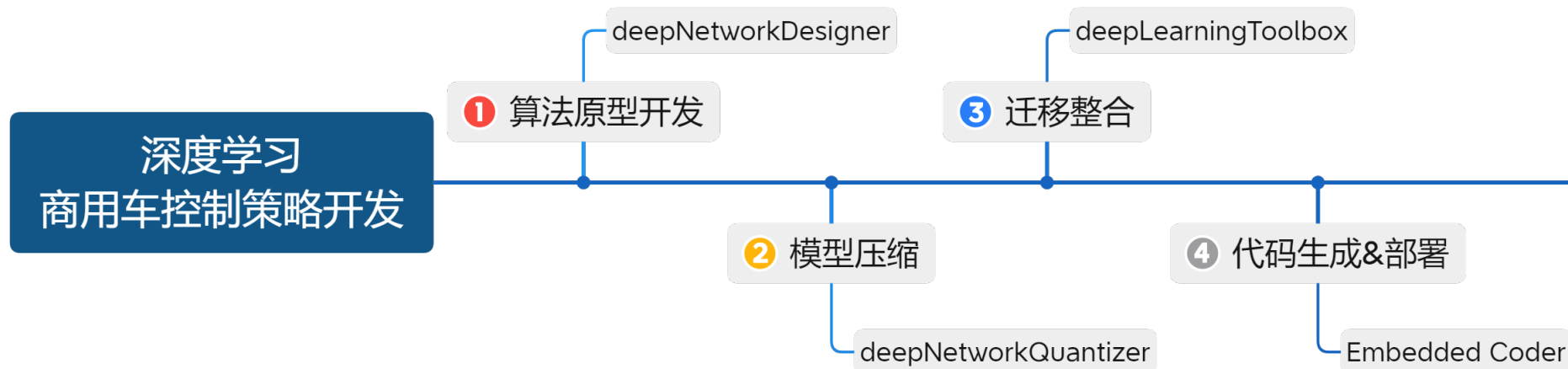
作者	
上次修改者	
模型版本	1.10
任务模式	单任务

[代码生成时的配置设置](#)

代码信息

系统目标文件	ert.tlc
硬件设备类型	Infineon->TriCore
Simulink Coder 版本	9.8 (R2022b) 13-May-2022
生成的源代码的时间戳	Tue Apr 25 21:24:59 2023
生成的源代码的位置	D:\Control strategy development\Matlab_Project\LstmNoxModel\lstm_ert_rtw
编译的类型	模型
指定的目标	Unspecified

● 代码生成



深度学习商用车控制策略开发流程回看：

- 全流程工具链
- No Coding
- 兼顾灵活性

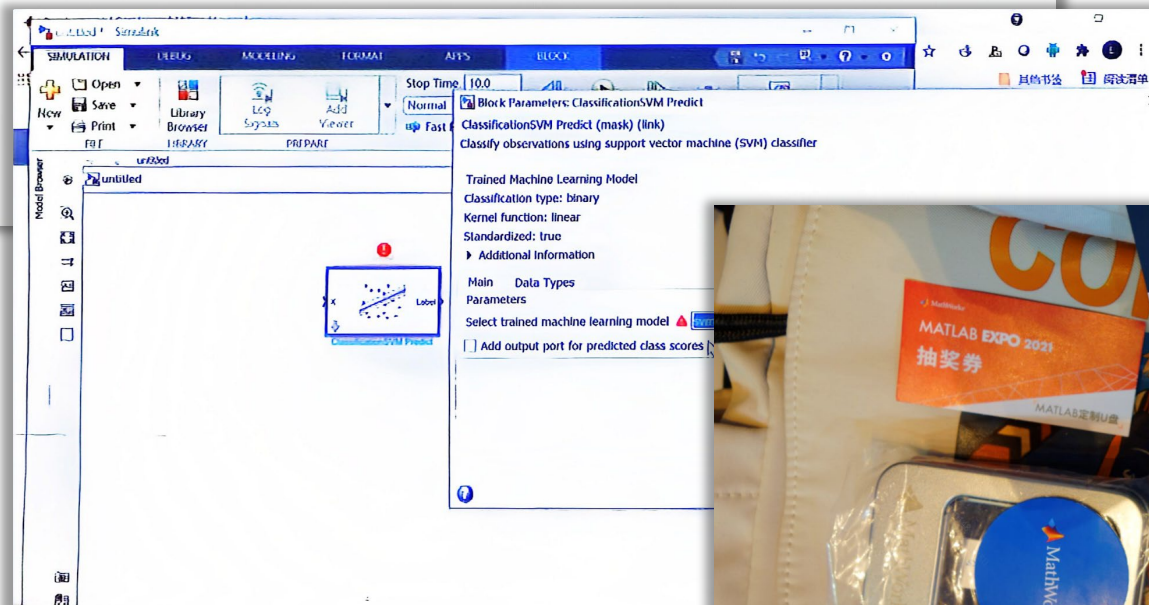
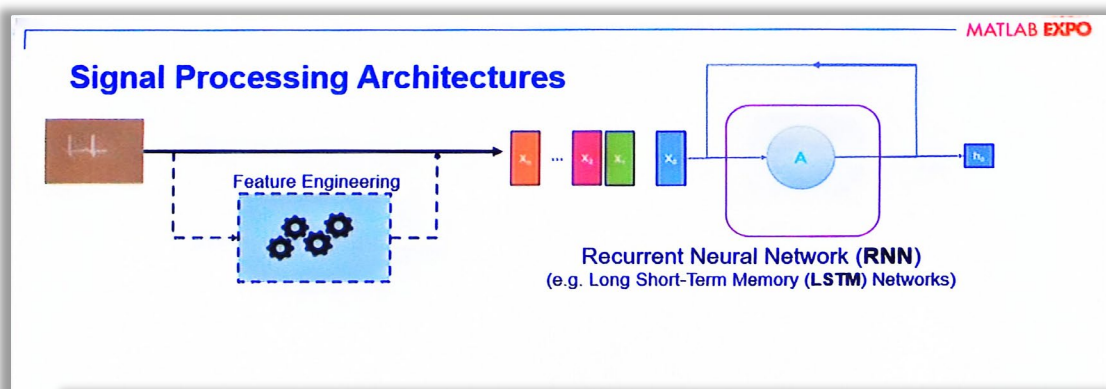


传统控制领域融入数据科学的一次尝试：

- 较低开发成本带来明显性能提升
- 数据 > 模型
- 广泛应用

说在最后

DeepLearning & Matlab



解放 一路领航


解放 创领
Innovation Leading


解放 智途
Intelligence Link


解放 蓝途
Sky Link


解放 益途
Worth Link

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.