MATLAB EXPO

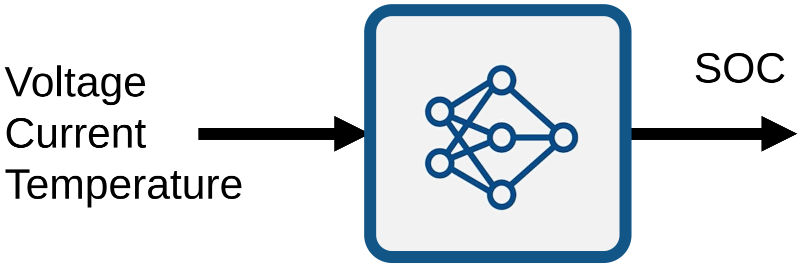
人工智能与基于模型设计在电池容量评估中的应用

马文辉, MathWorks

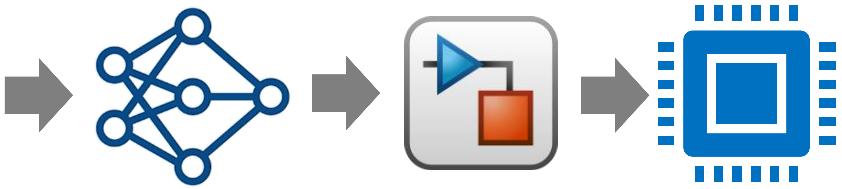
MathWorks

主要内容

- 基于AI的SOC估计方法
- 将SOC估计的AI模型引入到基于模型设计（MBD）
- MATLAB与Simulink联合仿真测试



Voltage	Current	Temperature
0.7510	0.3851	0.3031
0.7510	0.3852	0.3046
0.7510	0.3852	0.3061
0.7510	0.3852	0.3076
0.7510	0.3852	0.3091

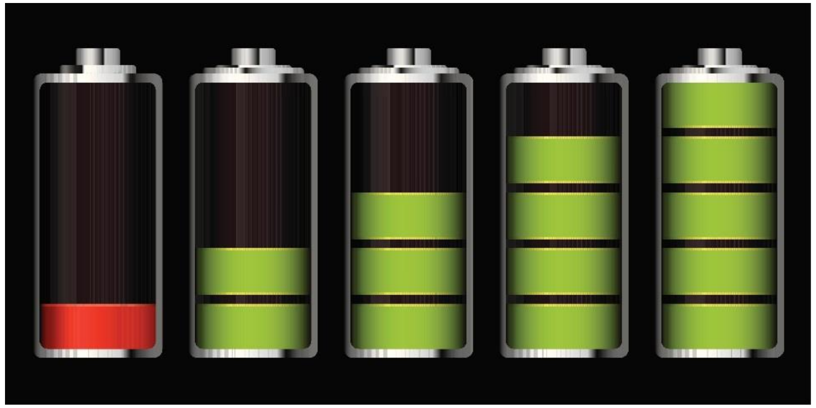


电池荷电状态 (State of Charge, SOC)

电池荷电状态（State Of Charge，SOC）是一个表征电池系统可靠性的重要属性。对于单体电池，SOC可以表示为可用荷电量与额定荷电量之间的比率：

$$SOC = \frac{C_a}{C_n}$$

其中， C_a表示当前可用电荷量， C_n表示额定电荷量。

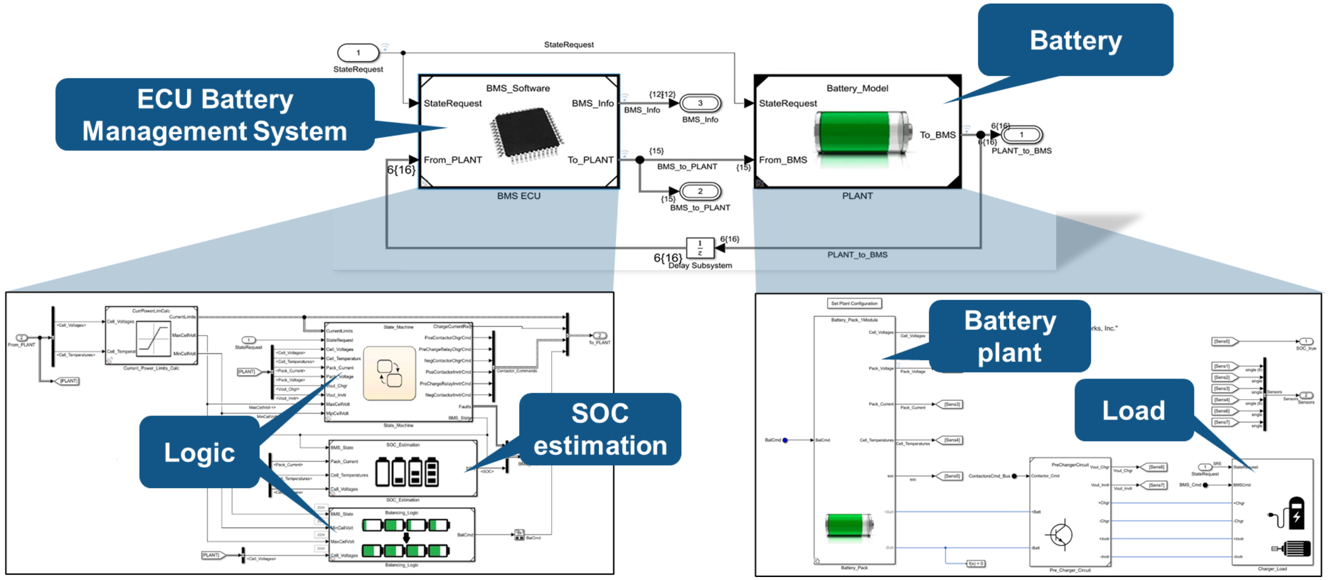


SOC

SOC估计

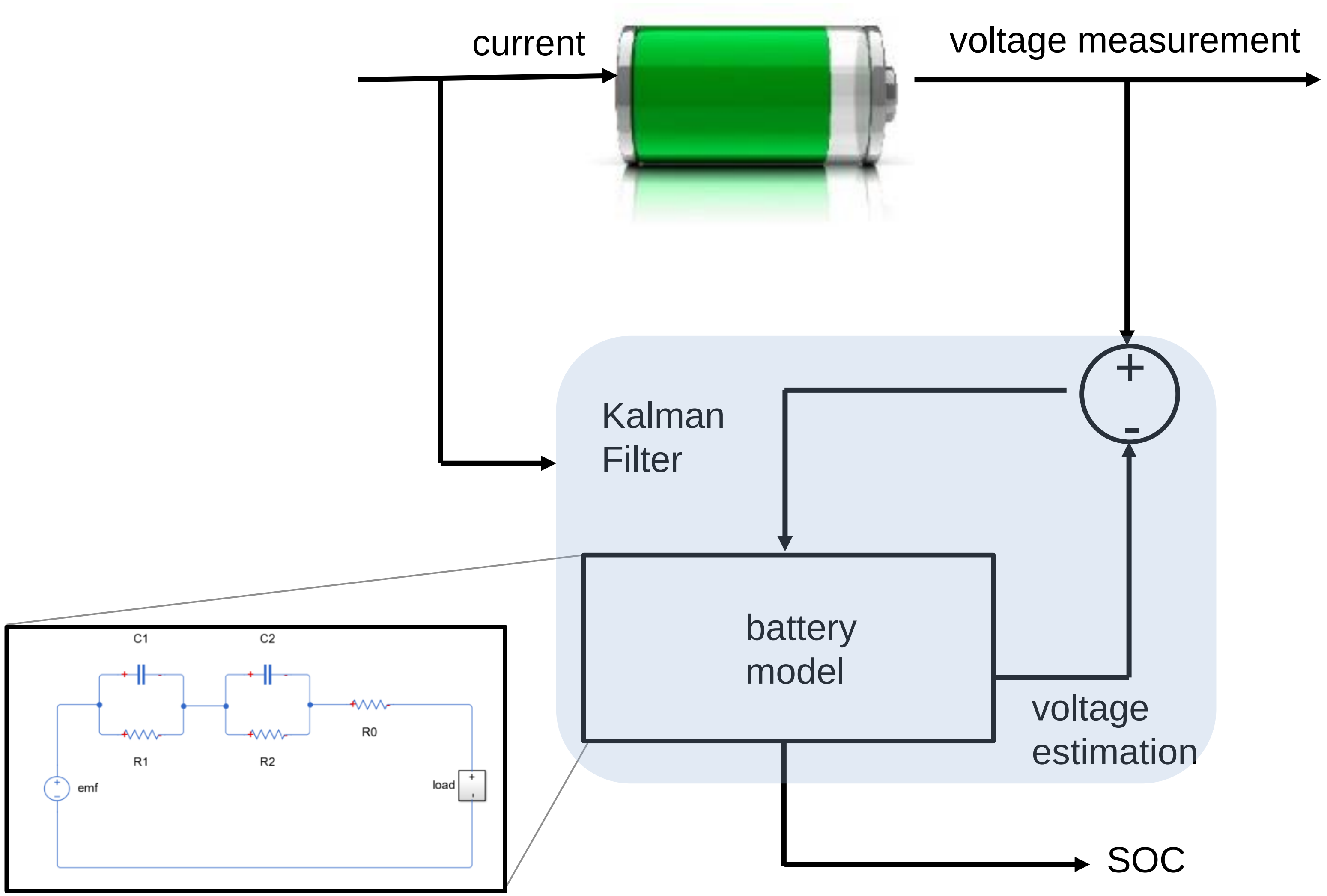
SOC 估计作为电池管理系统（BMS）的核心功能之一。准确的SOC 估计结果能够在电池寿命、安全可靠性、利用率等方面对电源管理系统提供有效的支持。

- 电池的SOC无法直接测量
- 采用间接方法测量SOC
  - 扩展的卡尔曼滤波
  - 数据驱动的方法



Battery State of Charge (SOC)

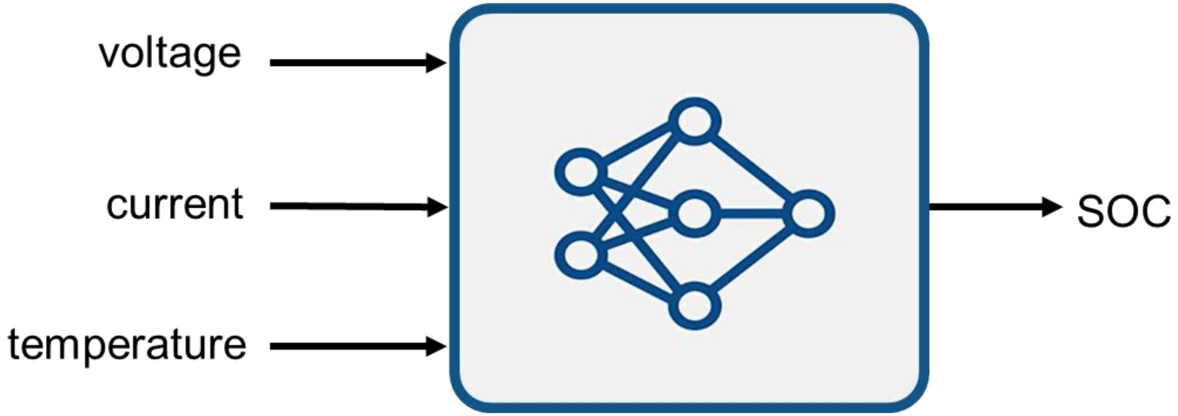
- SOC估计 -扩展的卡尔曼滤波
  1. 需要构建详细的电池模型
  2. 需要较大的计算量
  3. 面对复杂系统难以建模
  4. 准确性较低



Battery State of Charge (SOC)

- SOC估计 –数据驱动的方法

1. 基于历史运行数据训练AI模型（机器学习或深度学习模型）
2. 不需要考虑电池建模
3. AI模型的离线训练，在线预测，响应速度快
4. 可以应该各种复杂系统
5. 需要获取大量的电池运行数据
6. 黑盒模型，缺乏可解释性



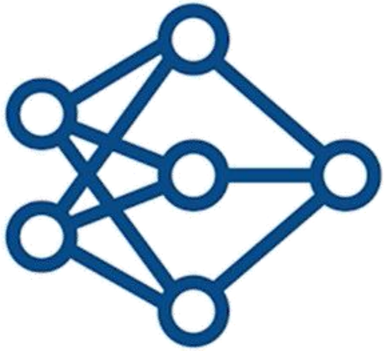
AI与基于模型设计(MBD)集成开发的流程

利用MATLAB和Simulink，可以将AI算法应用于模型设计中

数据预处理

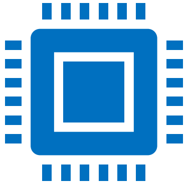
Voltage	Current	Temperature
0.7510	0.3851	0.3031
0.7510	0.3852	0.3046
0.7510	0.3852	0.3061
0.7510	0.3852	0.3076
0.7510	0.3852	0.3091

AI建模



仿真测试

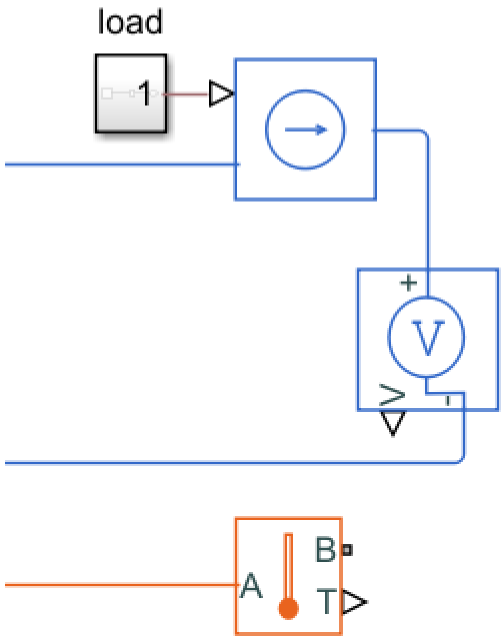
集成部署

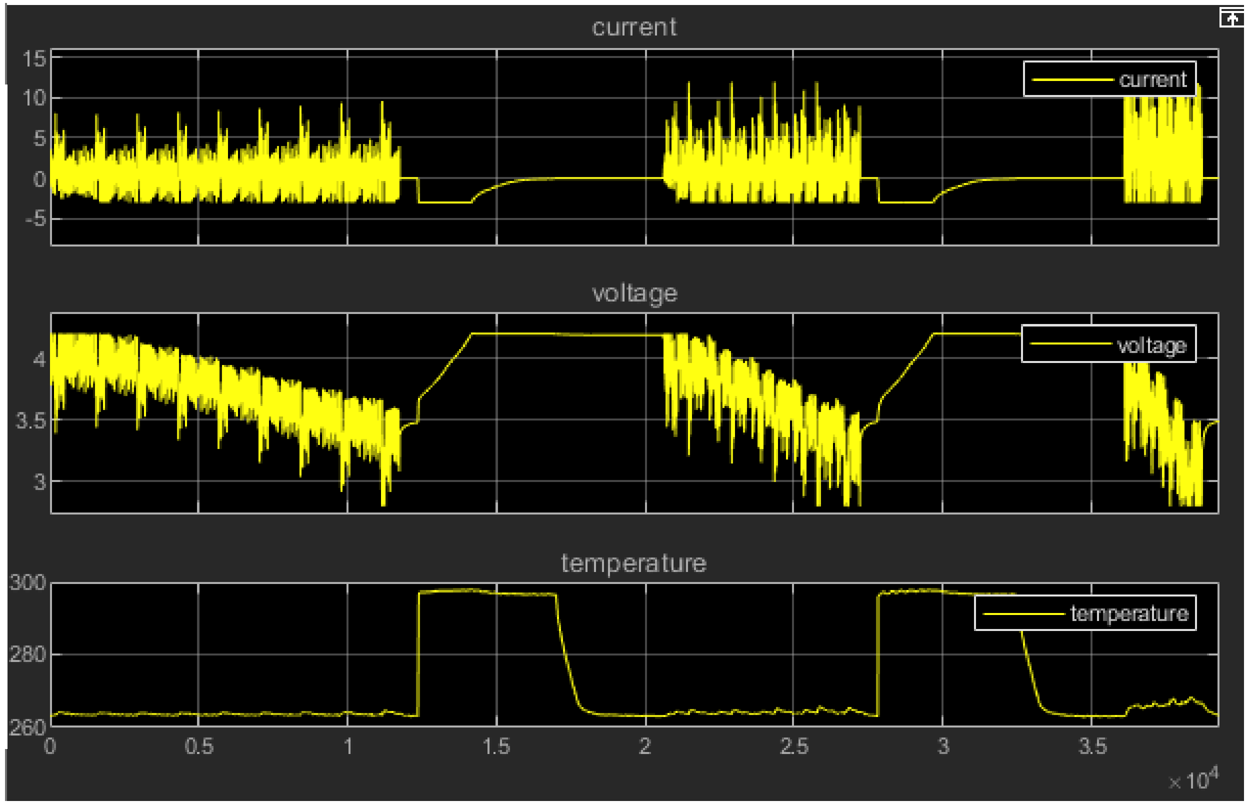


Voltage	Current	Temperature
0.7510	0.3851	0.3031
0.7510	0.3852	0.3046
0.7510	0.3852	0.3061
0.7510	0.3852	0.3076
0.7510	0.3852	0.3091

数据预处理

- 数据获取
  - 运行数据，通过传感器采集
  - 实验室数据
  - 仿真数据，故障仿真，衰退仿真
- 特征提取、衍生
  - 时域特征
  - 频域特征





AI建模模型

Voltage	Current	Temperature
0.7510	0.3851	0.3031
0.7510	0.3852	0.3046
0.7510	0.3852	0.3061
0.7510	0.3852	0.3076
0.7510	0.3852	0.3091

- 机器学习模型和深度学习模型

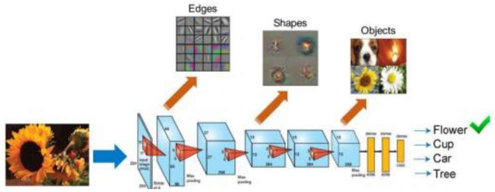
Logistic Regression
Naive Bayes Nonlinear
Nearest Neighbors
Stepwise SVM Boosting
Random Forrest
Discriminant Analysis
GP Regression

传统机器学习模型

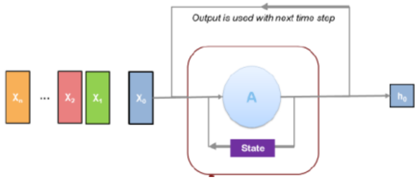
EfficientNet-b0
NASNet-Mobile
Inception-v3 VGG-19 DenseNet-201
EfficientNet-b0
ShuffleNet
Squeezenet
ResNet-101 VGG-16
GoogLeNet DarkNet-53
MobileNet-v2

迁移学习模型

CNN (Convolutional)



LSTM (Recurrent)



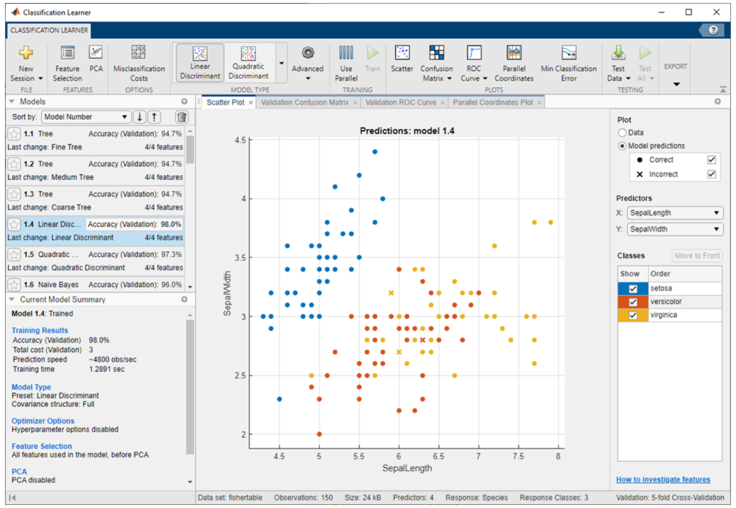
dlarray	数据容器（输入、中间计算、输出）
dlnetwork	网络容器
dlfeval	评估深度学习模型或功能
dlgradient	使用自动微分 （autodiff）计算梯度
dlupdate*	使用求解器执行一步反向传播

自定义深度神经网络模型及训练过程

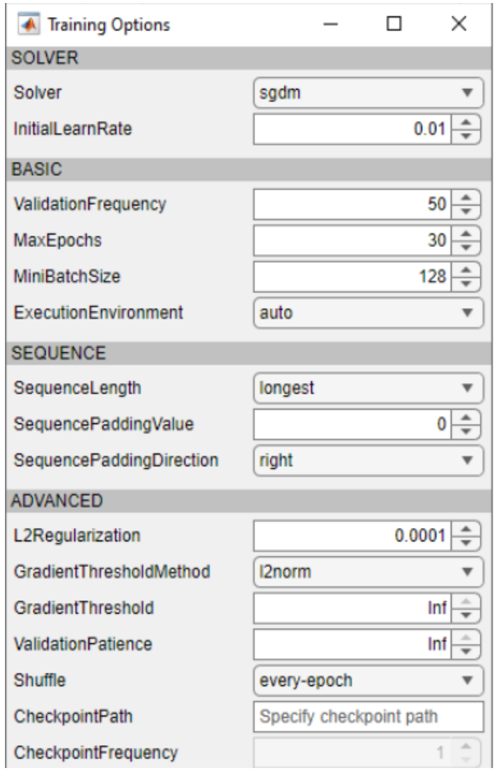
AI 模型构建、训练与验证

Voltage	Current	Temperature
0.7510	0.3851	0.3031
0.7510	0.3852	0.3046
0.7510	0.3852	0.3061
0.7510	0.3852	0.3076
0.7510	0.3852	0.3091

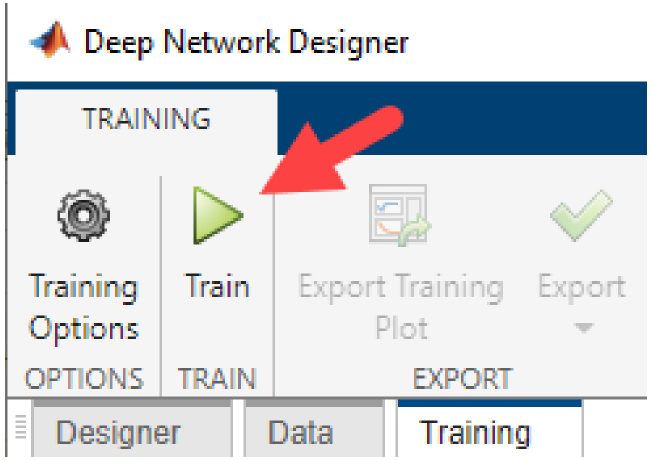
MATLAB支持通过图形化工具设计、训练、验证机器学习模型和深度神经网络模型



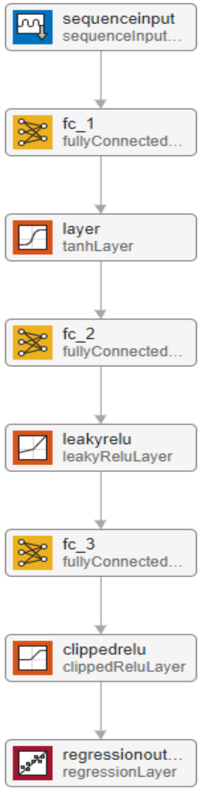
机器学习模型训练，对比和验证



模型超参数设定



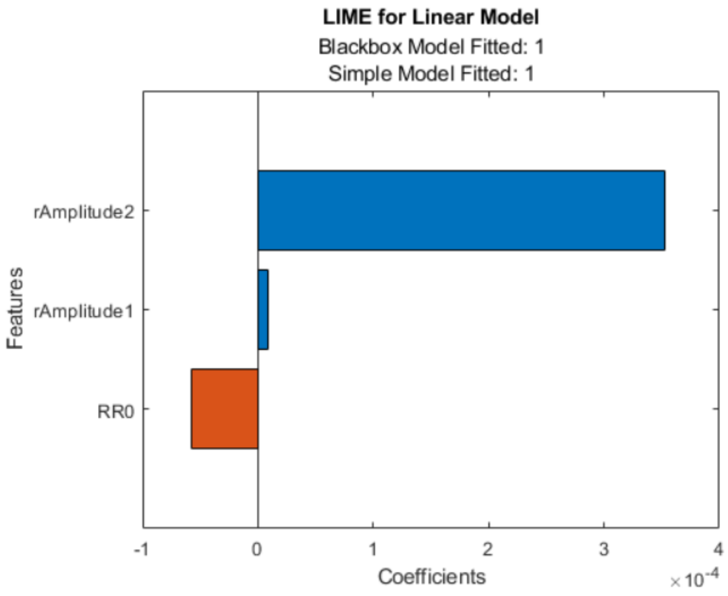
深度神经网络模型训练

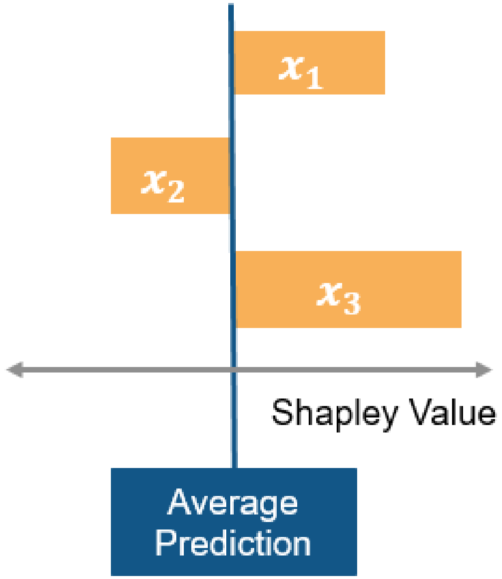


深度神经网络设计

机器学习可解释性

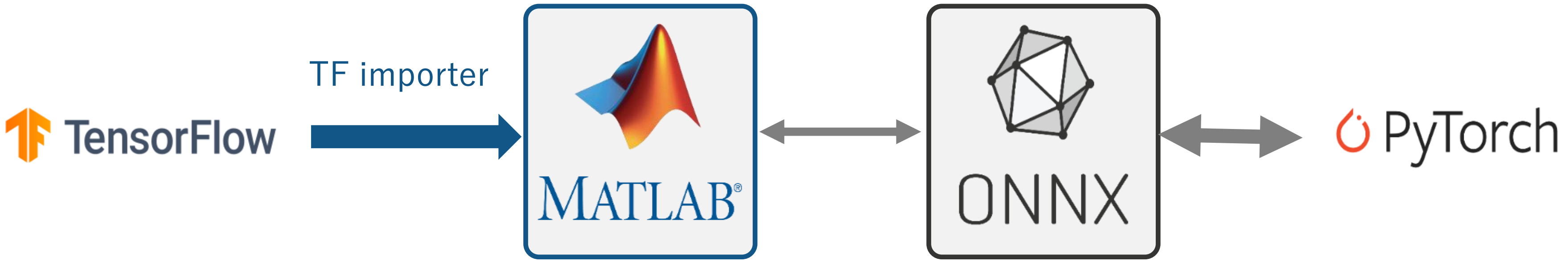
- 机器学习模型可解释性
  - Local Interpretable Model-agnostic Explanations (LIME)
  - Partial Dependence Plots (PDP)
  - Shapley values R2021a





导入第三方平台训练好的深度神经网络模型

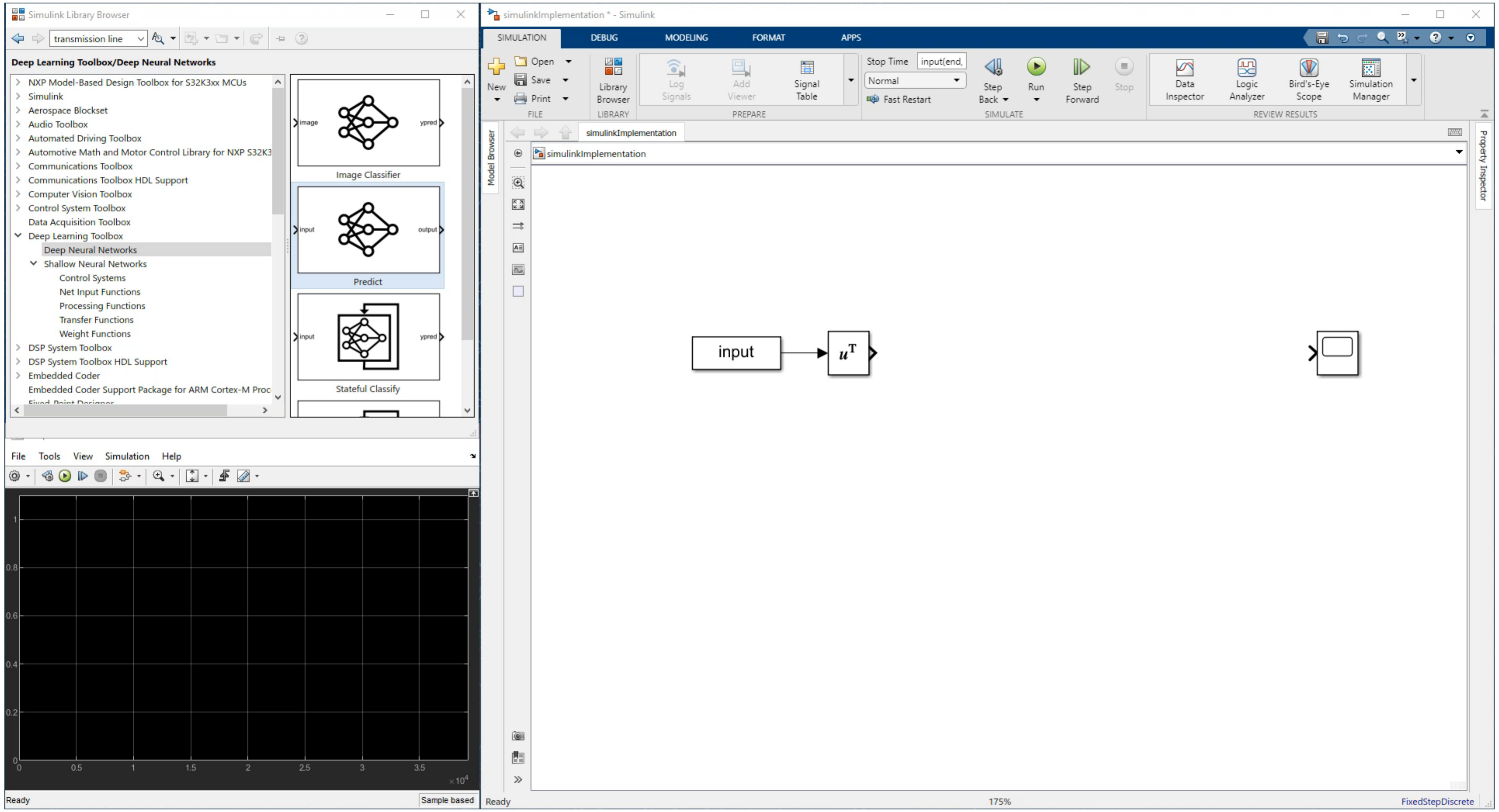
- MATLAB支持直接导入在第三方平台训练好的深度神经网络模型，如TensorFlow、Caffe；
- 也支持导入ONNX（Open Neural Network Exchange）格式的模型文件

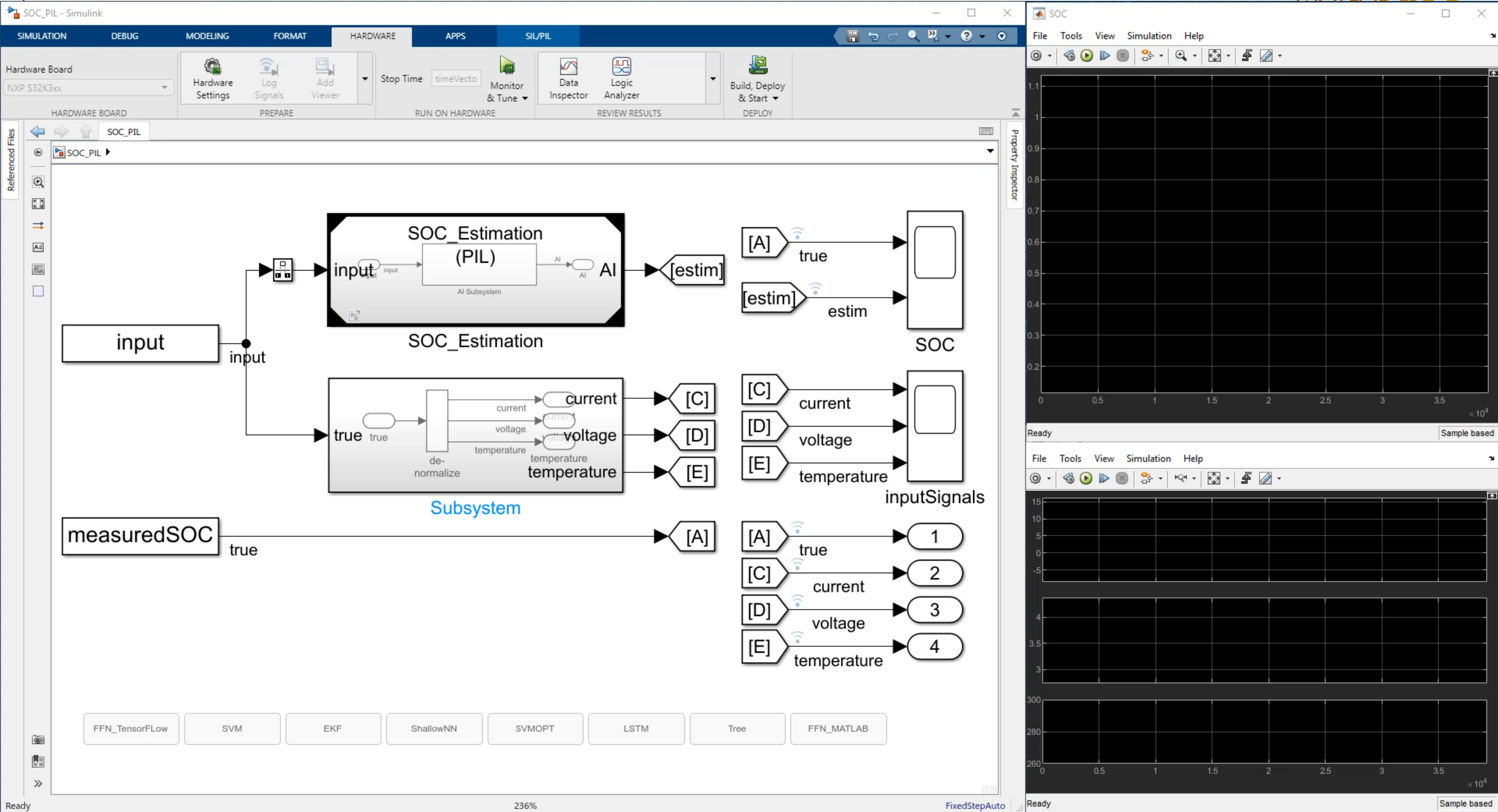


Voltage	Current	Temperature
0.7510	0.3851	0.3031
0.7510	0.3852	0.3046
0.7510	0.3852	0.3061
0.7510	0.3852	0.3076
0.7510	0.3852	0.3091

Simulink 仿真测试

- Simulink模块库包含机器学习和深度学习（CNN和LSTM）模块，
- 通过直接拖入的方式引入这些模块
- 并通过配置模型文件关联MATLAB中训练好的机器学习和深度学习络模型

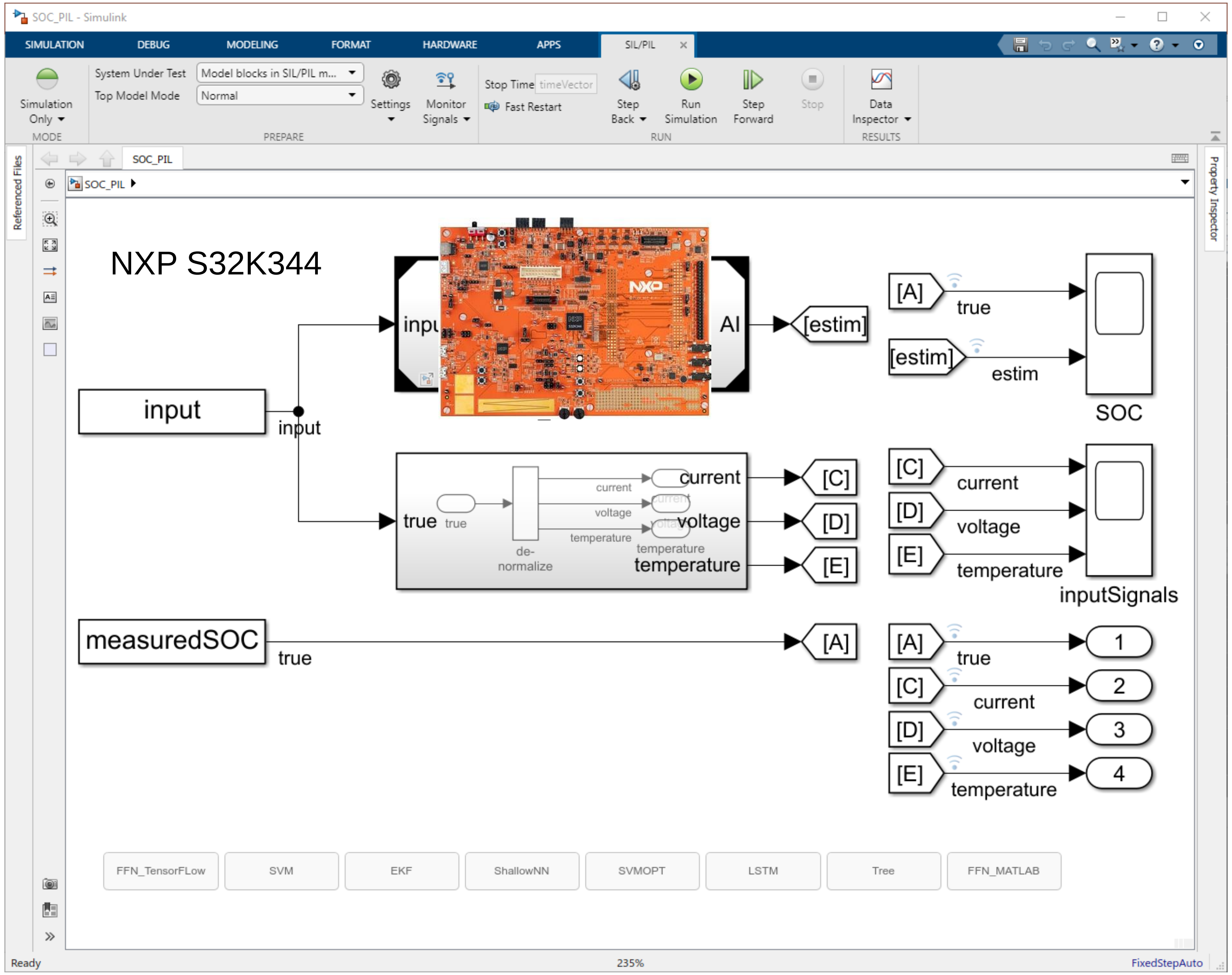


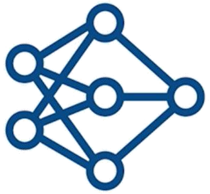

SOC_PIL - Simulink
SIMULATION
DEBUG
MODELING
FORMAT
HARDWARE
APPS
SIL/PIL
Hardware Board
NXP S32K3xx
HARDWARE BOARD
Hardware Settings
Log Signals
Add Viewer
PREPARE
Stop Time
timeVecto
Monitor & Tune
RUN ON HARDWARE
Data Inspector
Logic Analyzer
REVIEW RESULTS
Build, Deploy & Start
DEPLOY
SOC_PIL
SOC_Estimation
(PIL)
input
AI
AI Subsystem
SOC_Estimation
[estim]
[A]
true
[estim]
estim
SOC
input
input
true
de-normalize
current
voltage
temperature
Subsystem
[C]
[D]
[E]
inputSignals
measuredSOC
true
[A]
1
2
3
4
FFN_TensorFLow
SVM
EKF
ShallowNN
SVMOPT
LSTM
Tree
FFN_MATLAB
Ready
236%
FixedStepAuto
SOC
File
Tools
View
Simulation
Help
Ready
Sample based

数据预处理	AI建模	仿真测试	集成部署

模型的部署

Voltage	Current	Temperature
0.7510	0.3851	0.3031
0.7510	0.3852	0.3046
0.7510	0.3852	0.3061
0.7510	0.3852	0.3076
0.7510	0.3852	0.3091



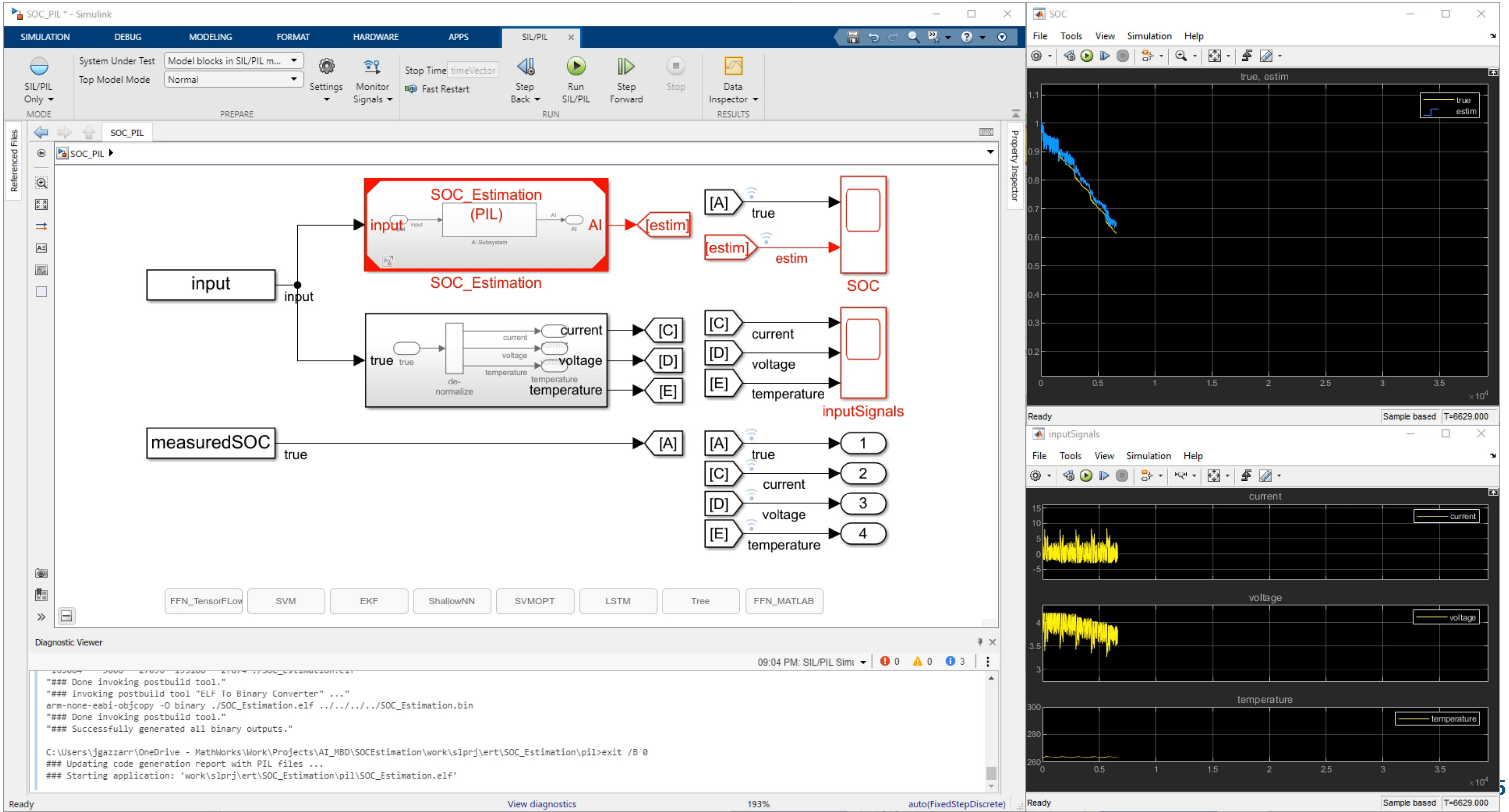


Automatic Library-Free C Code

Any CPU
Inc. ARM Cortex-M

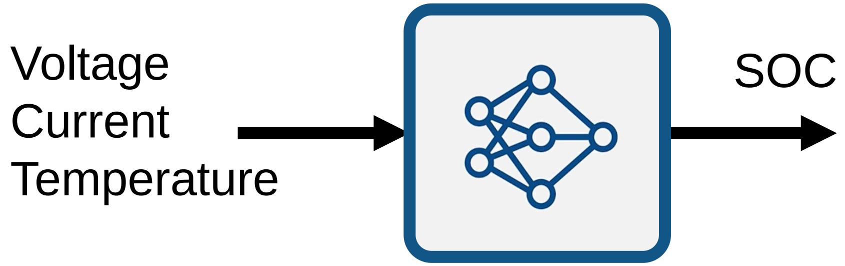
life.augmented

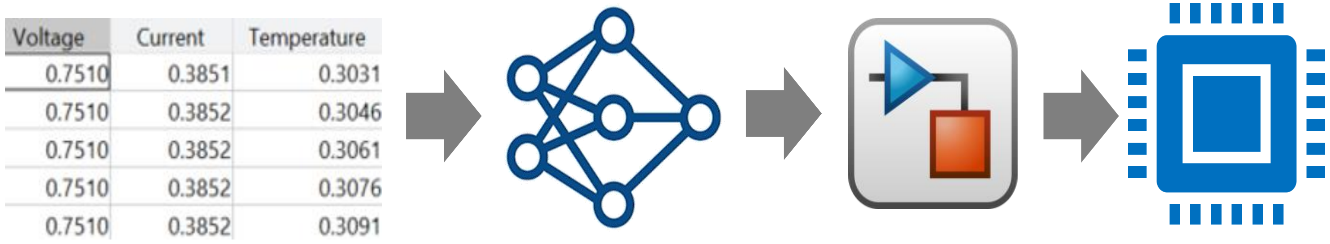
案例：利用NXP目标板构建PIL仿真



总结

- MATLAB与Simulink构建AI与MBD集成开发的流程
- MATLAB与Simulink相结合实现基于AI的电池SOC的仿真，验证与部署。





Voltage	Current	Temperature
0.7510	0.3851	0.3031
0.7510	0.3852	0.3046
0.7510	0.3852	0.3061
0.7510	0.3852	0.3076
0.7510	0.3852	0.3091

MATLAB EXPO

谢谢

MathWorks®

© 2022 The MathWorks, Inc. MATLAB and Simulink are registered trademarks of The MathWorks, Inc. See *mathworks.com/trademarks* for a list of additional trademarks. Other product or brand names may be trademarks or registered trademarks of their respective holders.