

2022 MathWorks 中国汽车年会

构建动力电池包的云端数字孪生

袁航, MathWorks



内容概要

- 基本概念
- 数字孪生项目
- 下一步计划和目标
- 参考材料



数字孪生？

定义

*“A digital twin is an **up-to-date representation**, a model, of an actual physical asset in operation. It reflects the **current asset condition** and includes relevant historical data about the asset.*

Digital twins can be used to evaluate the current condition of the asset, and more importantly, predict future behavior, refine the control, or optimize operation.”

<https://www.mathworks.com/discovery/digital-twin.html>

为什么使用数字孪生？

商业价值和动机要素

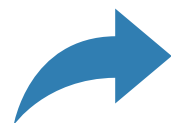
■ 优化客户体验

- 异常检测
- 预测性维护
- 资产性能管理
- 运营优化
- 队列管理
- 设计反馈

■ 促进新型商业模式变革和发展机会

当前模式

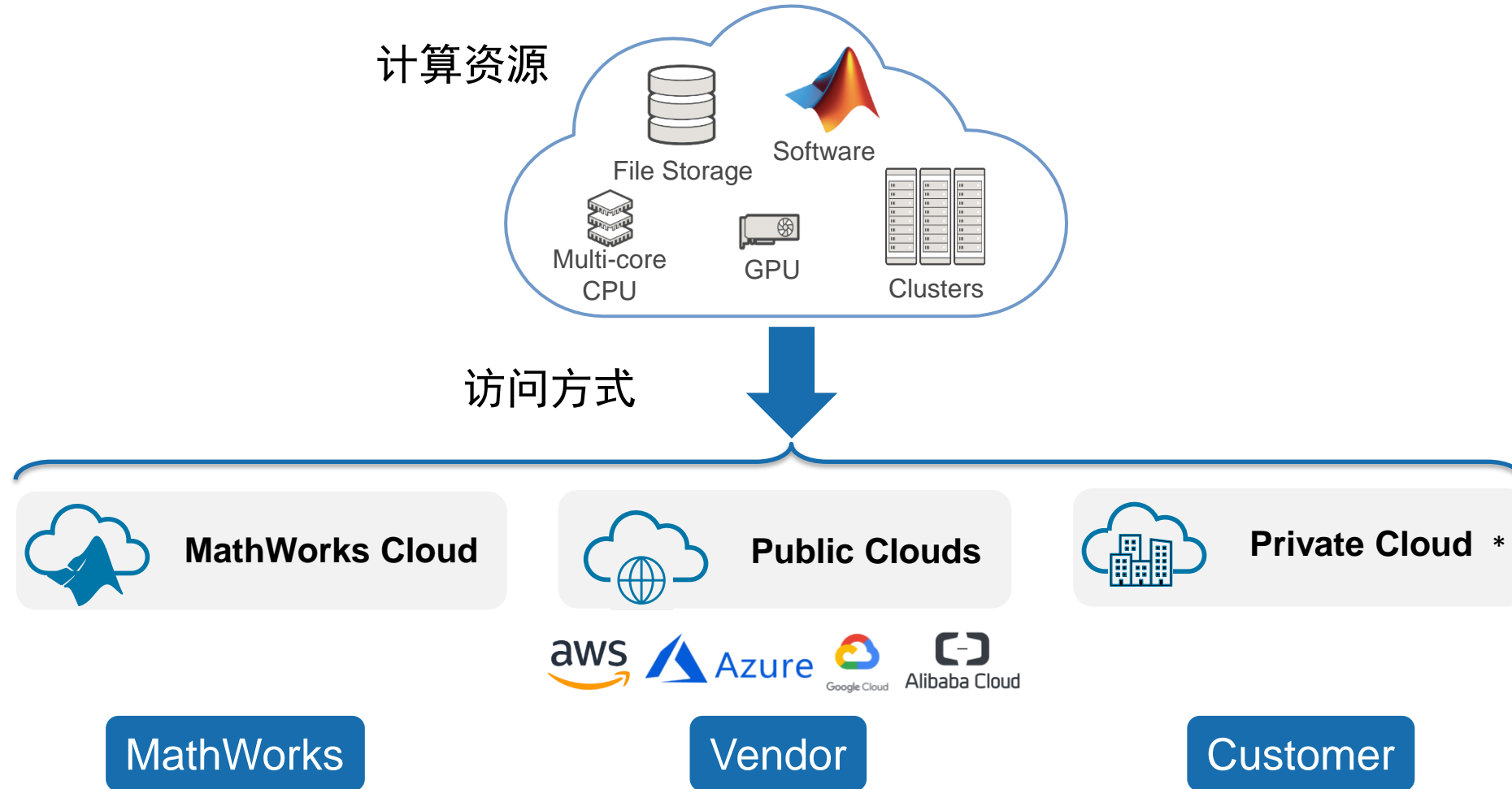
销售系统设备



新模式

销售系统运营时间
(例如销售服务的形式)

在云端运行 MATLAB 和 Simulink



[了解更多](#)

*Private accounts can be setup in AWS or Azure with limited access

内容概要

- 基本概念
- **数字孪生项目**
- 下一步计划和目标
- 参考材料

项目目标和定义

验证动力电池包的数字孪生开发和部署流程

目标

为全电叉车的动力电池包创建一个云端数字孪生

定义

该项目主要工作内容：

- 创建并部署数据处理管道（基于近一年实测的时间序列数据）
- 构建并部署电池数字孪生模型，用于预测SOH
- 通过云端面板实现生产环境中的模型运营
- 未来的工作内容计划朝着现场设备硬件部署的方向开展

数据分析 workflow

访问和探索数据

数据预处理

开发预测性模型

将分析算法集成到系统

Files



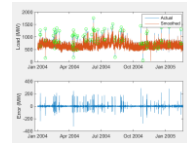
Databases



Sensors



Working with
Messy Data



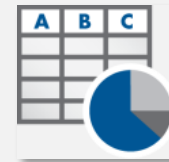
Data Reduction/
Transformation



Feature
Extraction



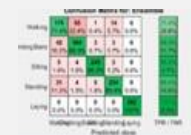
Model Creation e.g.
Machine Learning



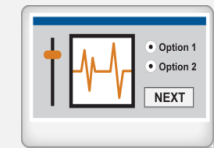
Parameter
Optimization



Model
Validation



Desktop Apps



Enterprise Scale
Systems

MATLAB Excel
.NET C/C++
.exe Java .dll

Embedded Devices
and Hardware



处理原始数据用于建模

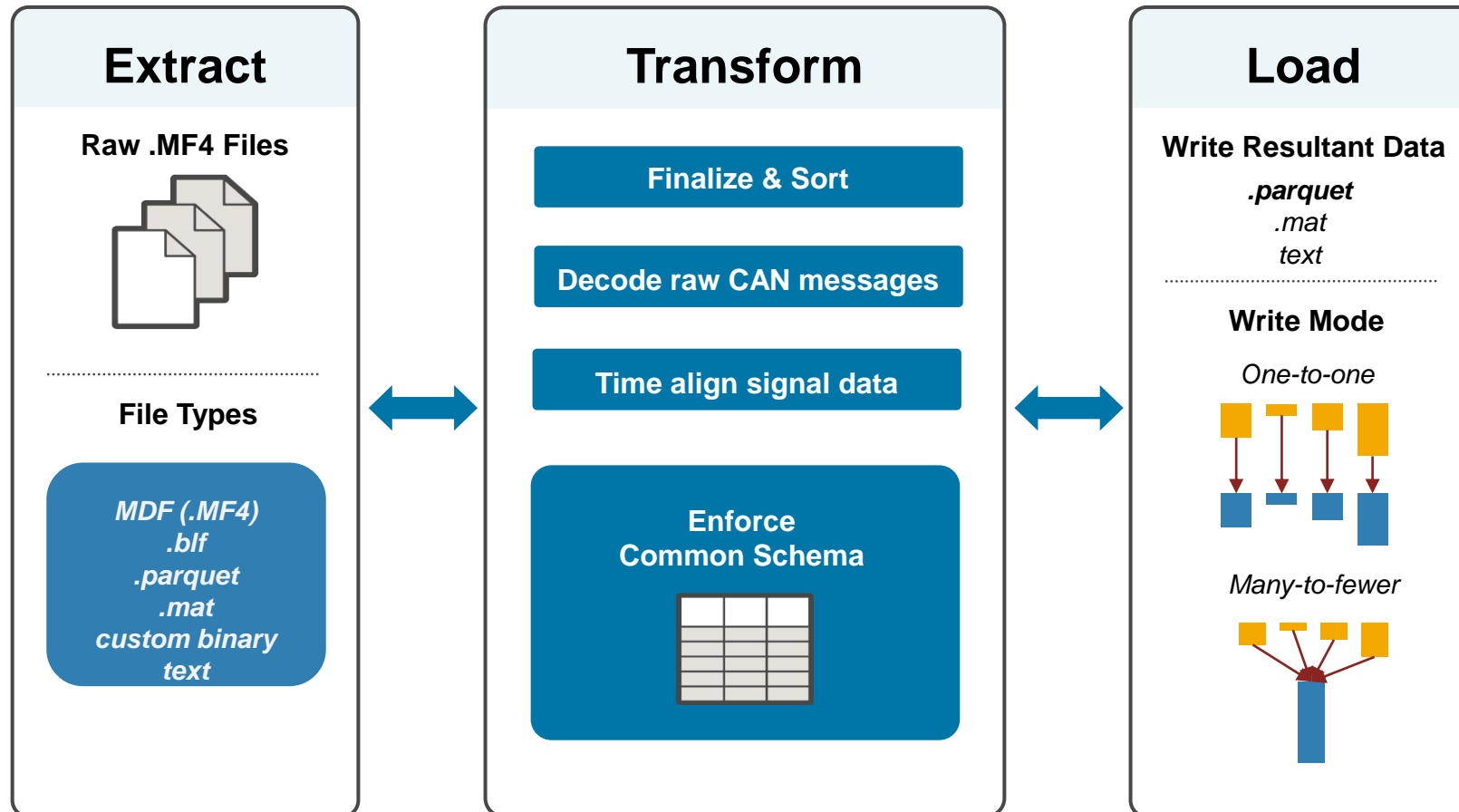
提取、变换和加载流程 (ETL)

访问和探索数据

数据预处理

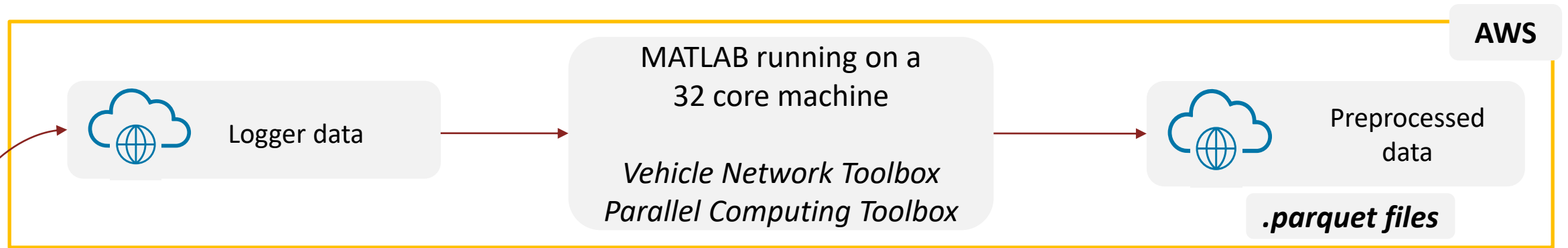
开发预测性模型

将分析算法集成到系统



原始 Log 数据文件

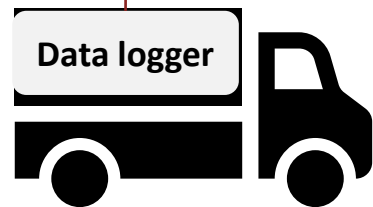
云端数据预处理管道



Implementation Details

- Source and destination s3 buckets are different
Credential management
- Cloud based compute and parallel computing speed up the work
Leverage compute when you need to
- Run MATLAB on a Windows machine
Needed this for file specific functionality

.MF4 files



Machine / vehicle in use

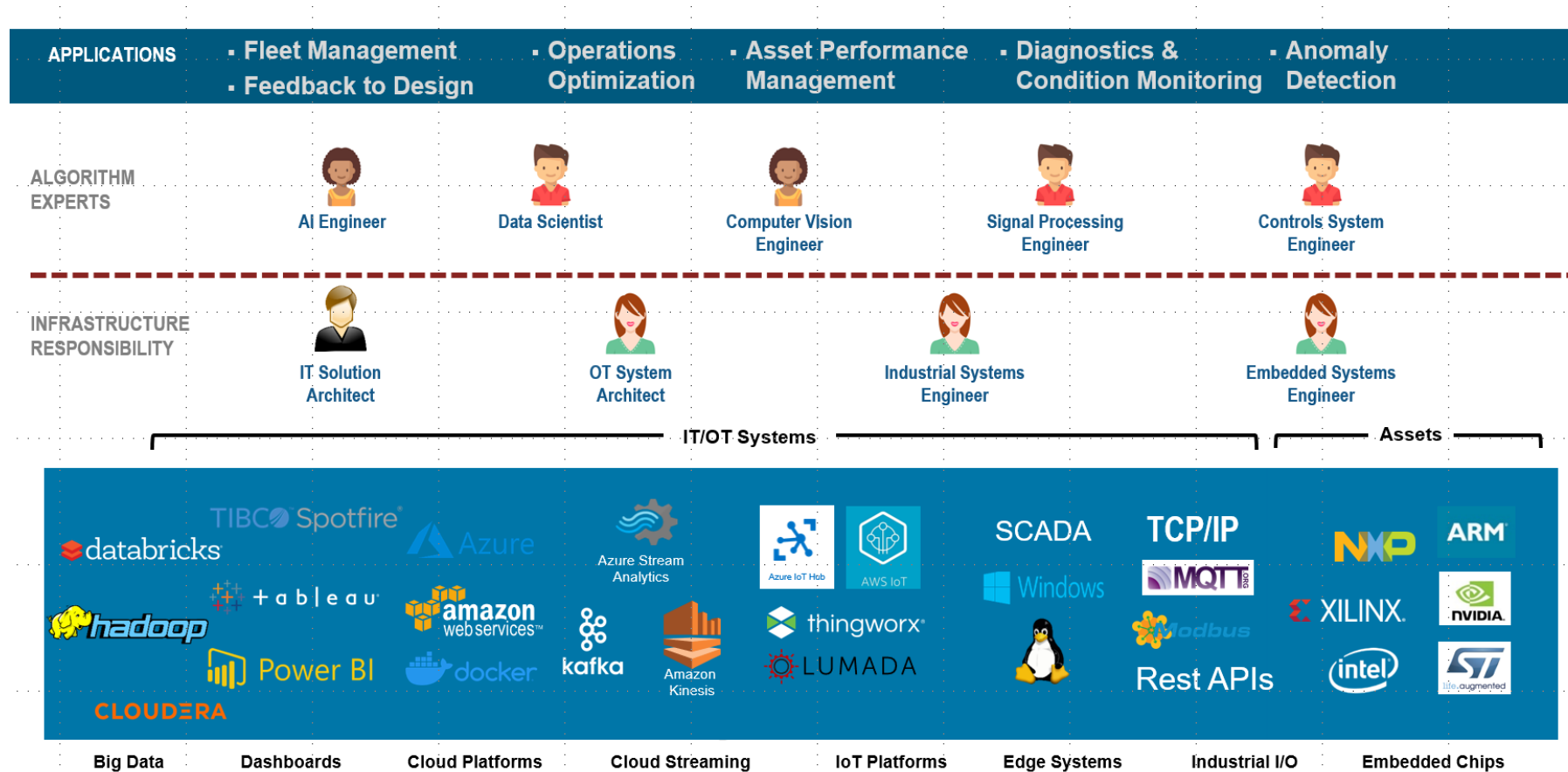
数据分析

使用实测数据解答真实应用场景问题

- 系统是否具备足够的续航能力和充电速度？
 - 运营/放电: 上午需要持续工作 3-4 小时，下午相同
 - 充电: 电池必须在30分钟内充电完成（午间）
- 外部环境温度是否会对系统造成什么影响？
 - 一年中环境温度温度的波动范围为 -10 to 35°C，通过数据了解环境温度对系统性能的影响？
- 基于运营数据，实际的工作循环应该是怎样的？
 - 充放电功率
 - 总计充放电循环次数
 - 等等

团队协作

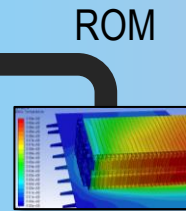
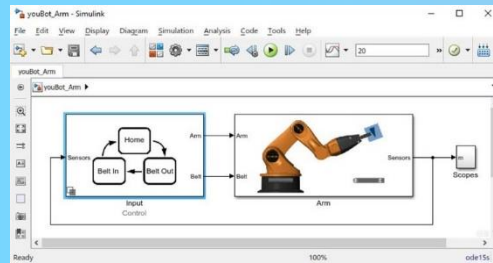
统筹规划、开发、测试、迭代



建模方式

选择建模方式需要结合现有的数据和先验知识考虑

Physics-Based



- Dynamic models of systems/components
- Electrical, mechanical, algorithms, etc.
- Can integrate models from other tools, e.g., FEM

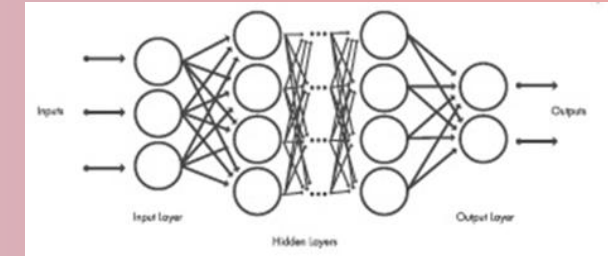
Data-Driven

```

24 % Predicted state and covariance
25 - x_prd = A * x_est;
26 - p_prd = A * p_est * A' + Q;
27
28 % Estimation
29 - z = H * p_prd' * H' + R;
30 - l = H * p_prd';
31 - klm_gain = (S \ B)';
32
33 % Estimated state and covariance
34 - x_est = x_prd + klm_gain * (z - H * x_prd);
35 - p_est = p_prd - klm_gain * H * p_prd;
36
37 % Compute the estimated measurements
38 - y = H * x_est;
  
```

- Kalman estimator
- System identification
- Regression

AI-Based



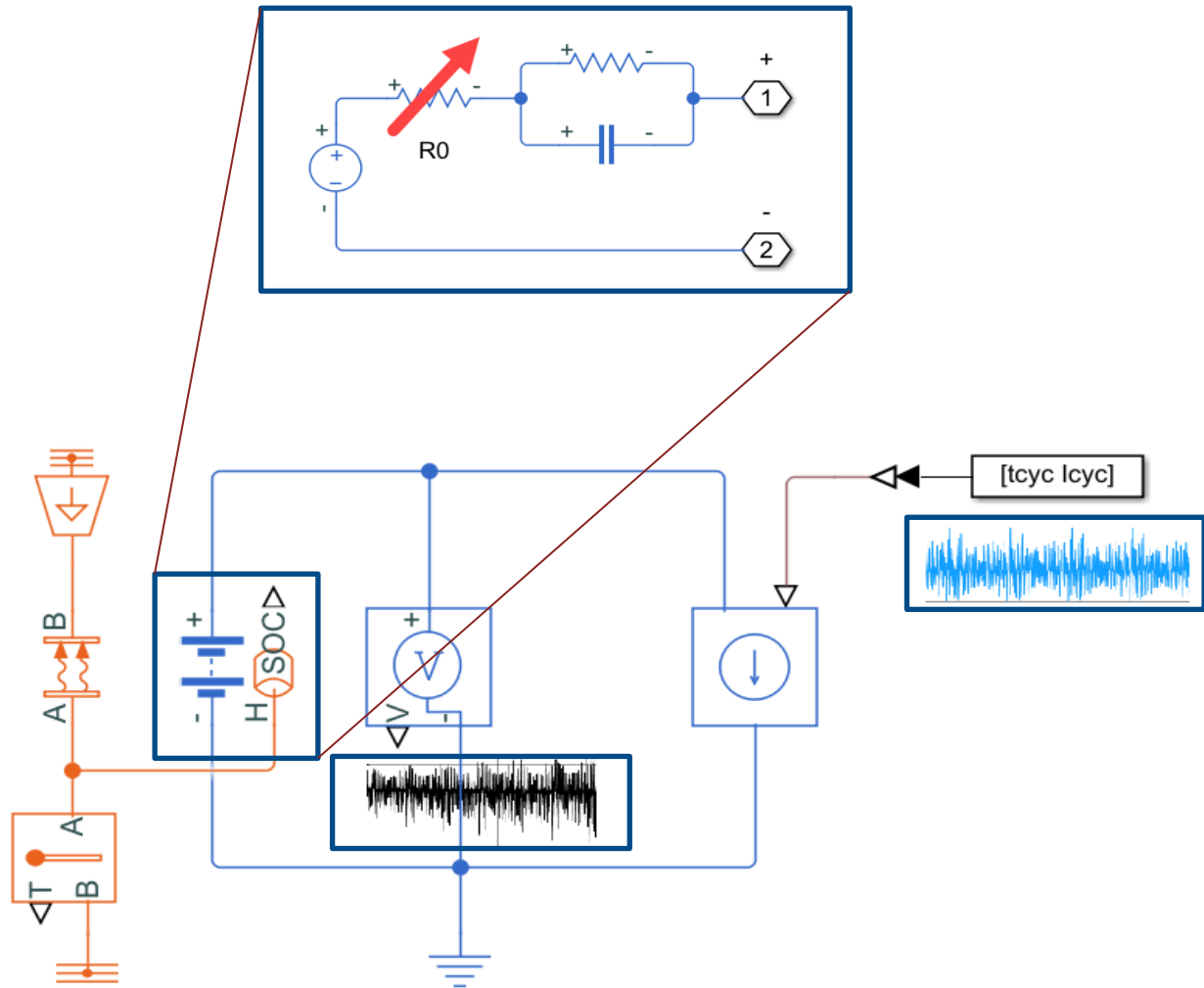
- Machine Learning
- Deep Learning
- Reinforcement Learning.

选择建模方法时需要考虑的要素

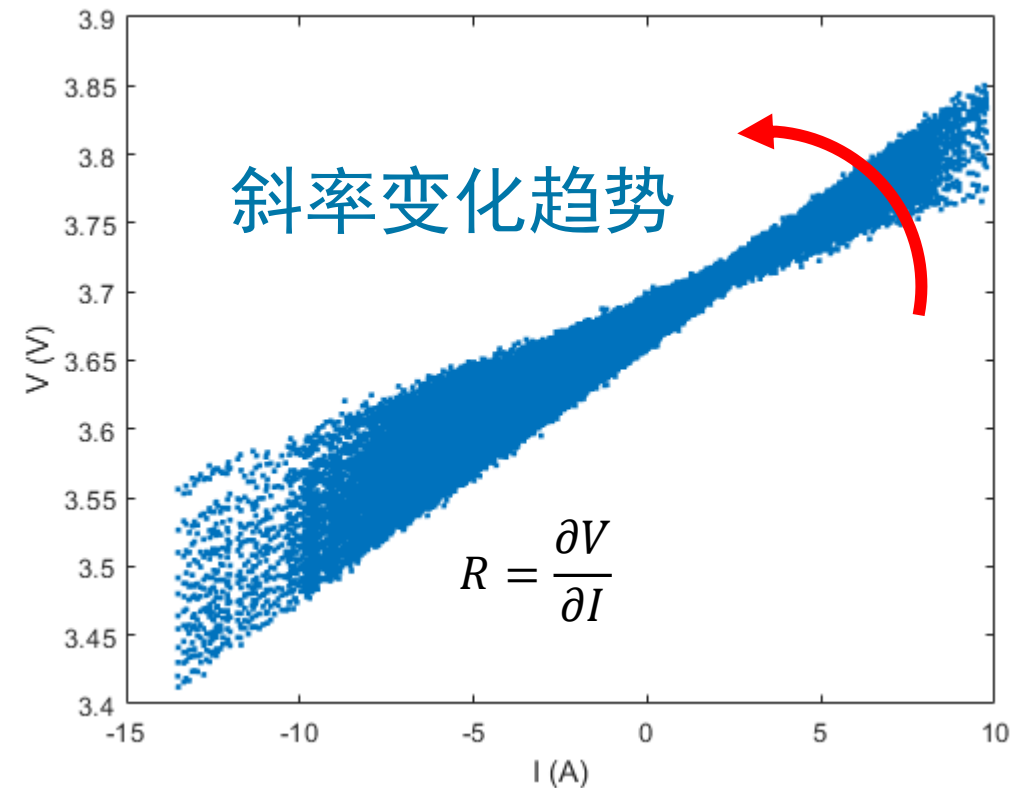
- 您的应用场景是什么？
- 您是否了解系统的机理（或有足够的历史数据）？
- 团队成员是否具备相应的建模能力？

通过仿真设定期望

当内阻增大时，会出现什么现象？



内阻 $R = \frac{\partial V}{\partial I}$
合成数据

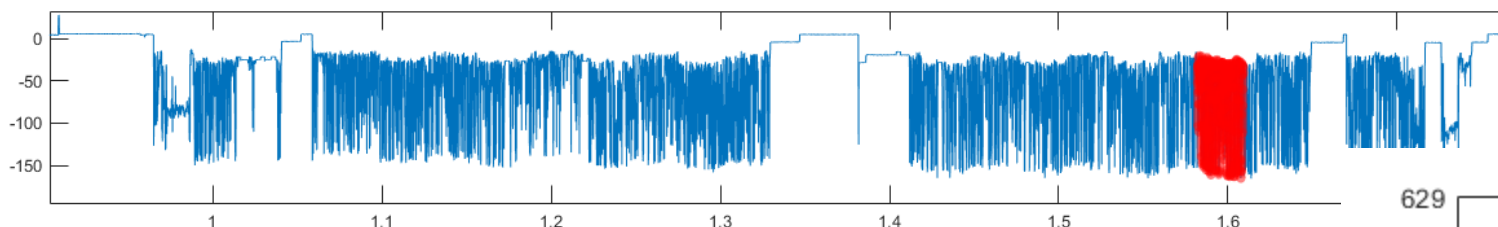


根据电压值对数据进行增量式拟合

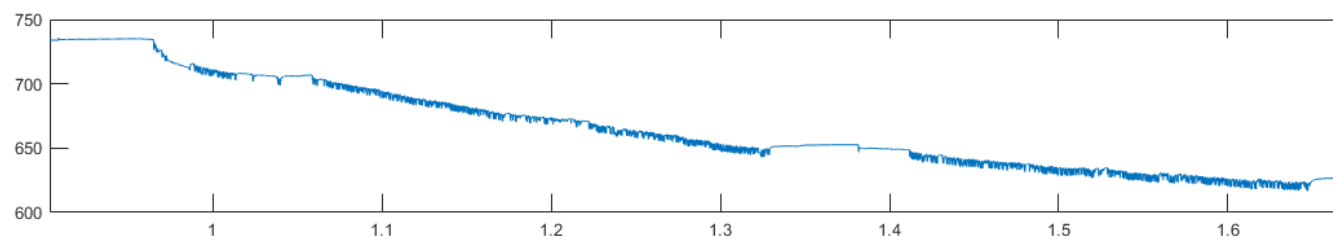
根据SOC对数据进行分块

selection

I(A)

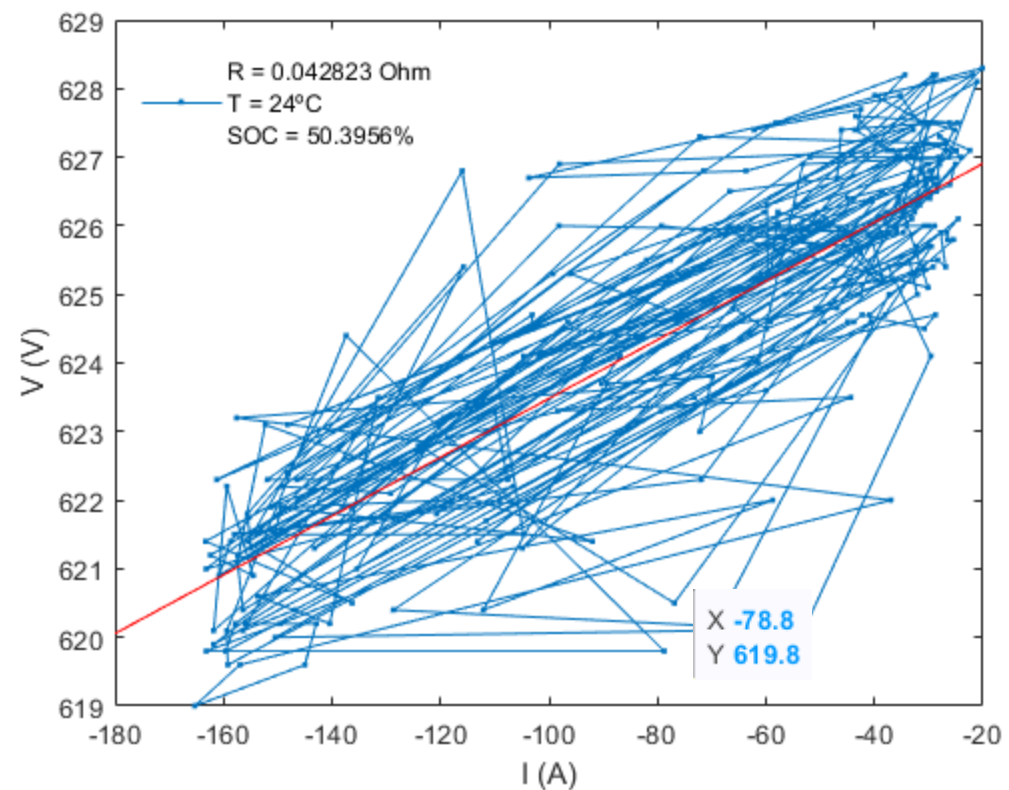


V(V)



$$\text{内阻 } R = \frac{\partial V}{\partial I}$$

放电过程实测数据



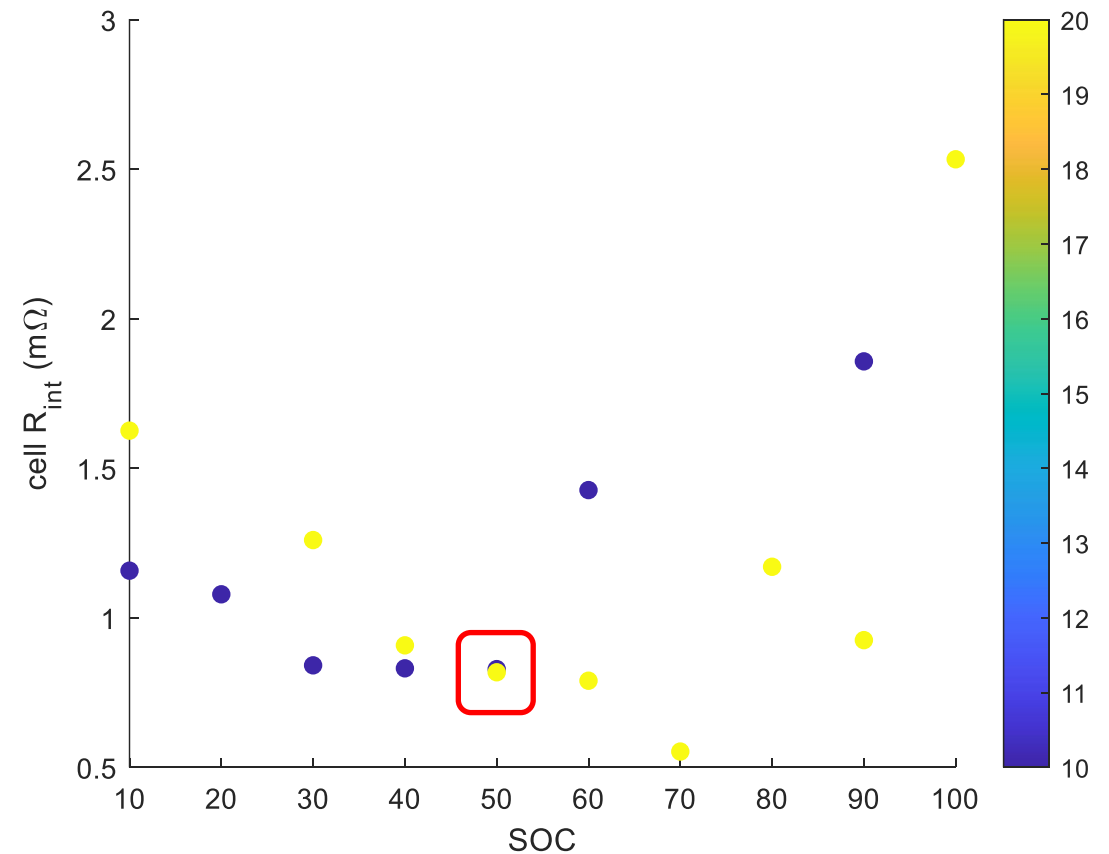
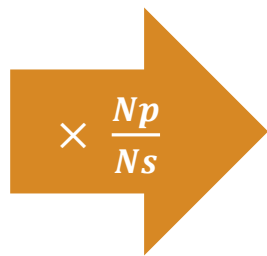
基于部分数据初步得出结论

内阻与SOC和温度相关

$$\text{内阻 } R = \frac{\partial V}{\partial I}$$

放电过程

数据转换：电池包到单体



Internal discharge impedance (10 sec DC pulse, 50% SOC, 25°C)

0.71 mΩ

内容概要

- 基本概念
- 数字孪生项目
- **下一步计划和目标**
- 参考材料

接下来的建模工作

- 理解系统行为随时间的变化
 - 内阻如何随时间变化？
 - 是否可以检测到输出功率随时间下降的趋势？
- 电池单体的性能参数
 - 内阻变化数据，容量（下一时刻）
 - 结合内阻和容量变化用于SOH预测
- 特征工程 + AI 建模自动化
 - 云端并行计算

未来目标：基于AI的预测模型

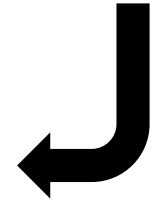
APPLICATIONS

- Fleet Management
- Feedback to Design
- Operations Optimization
- Asset Performance Management
- Diagnostics & Condition Monitoring
- SoH estimator

ALGORITHM EXPERTS



1. Train ML model using data
2. Deploy trained model



INFRASTRUCTURE RESPONSIBILITY



IT/OT Systems

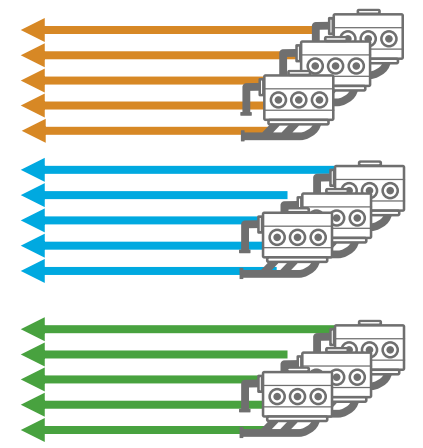
Edge

Assets

Loggers

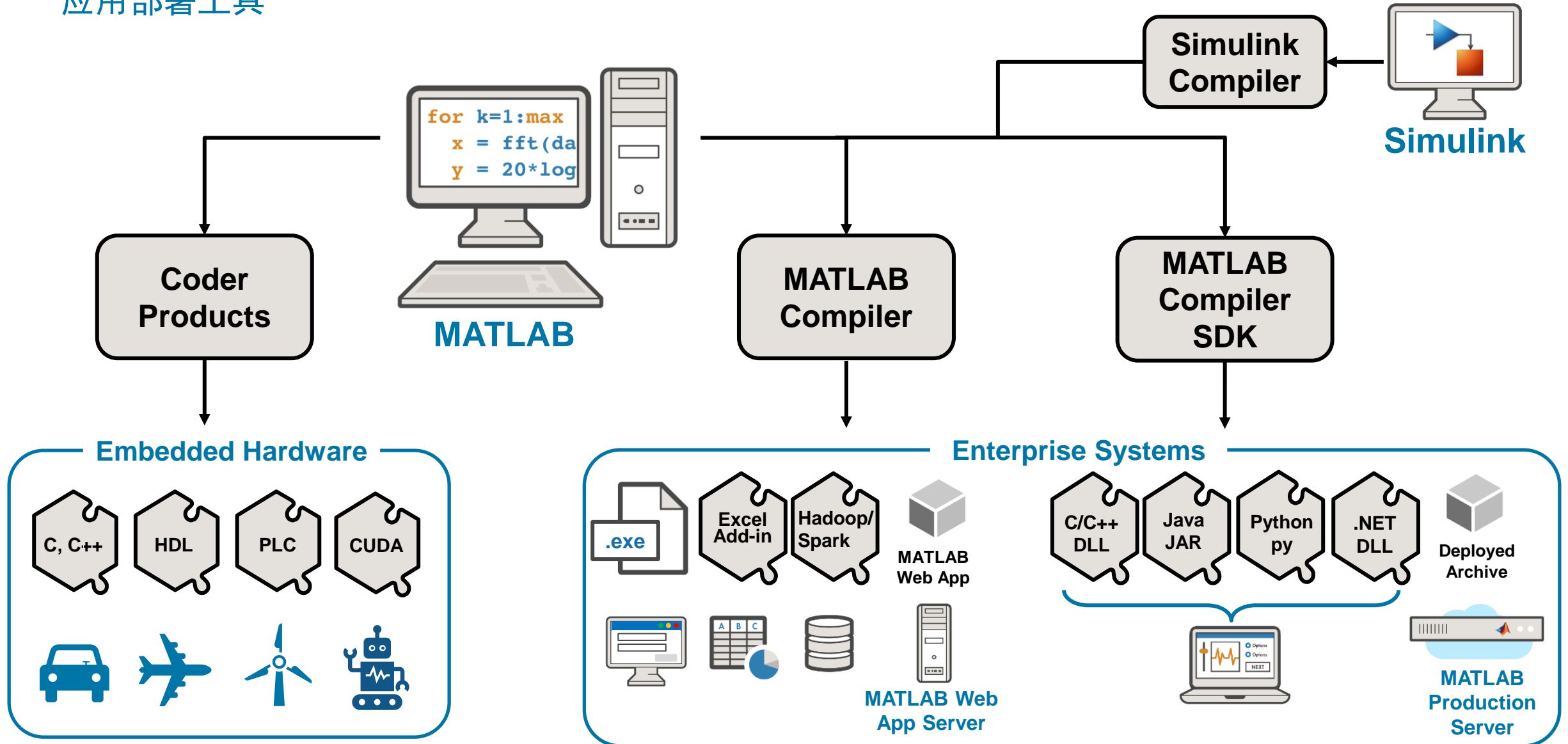
Smart gateway

Linux Server



运营 MATLAB 分析算法

应用部署工具



内容概要

- 基本概念
- 数字孪生项目
- 下一步计划和目标
- 参考材料

参考资料

- 预测性维护
 - [Introduction](#)
 - [Feature Extraction for Identifying Condition Indicators](#)
 - [Remaining Useful Life](#)
 - [Diagnostic Feature Designer](#)
 - [Digital Twin](#)
- 其他相关主题
 - [Digital Twin Parameter Tuning](#)
 - [What is Predictive Maintenance Toolbox?](#)
 - [Predictive Maintenance Using Deep Learning](#)
 - [Deploying AI on PLCs](#)
 - [Federated Learning w/ Physical Models](#)

2022 MathWorks 中国汽车年会

Thank you

