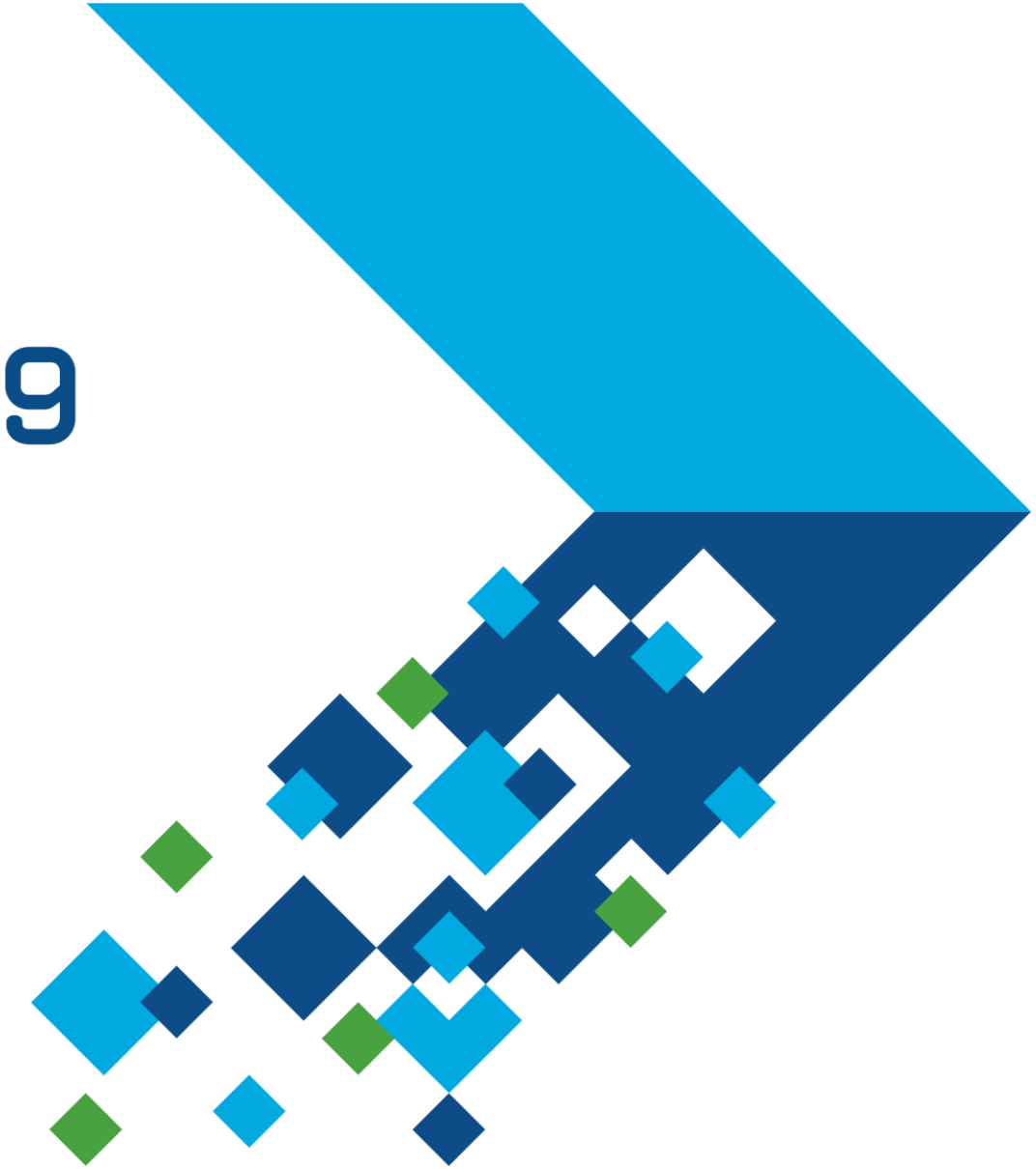
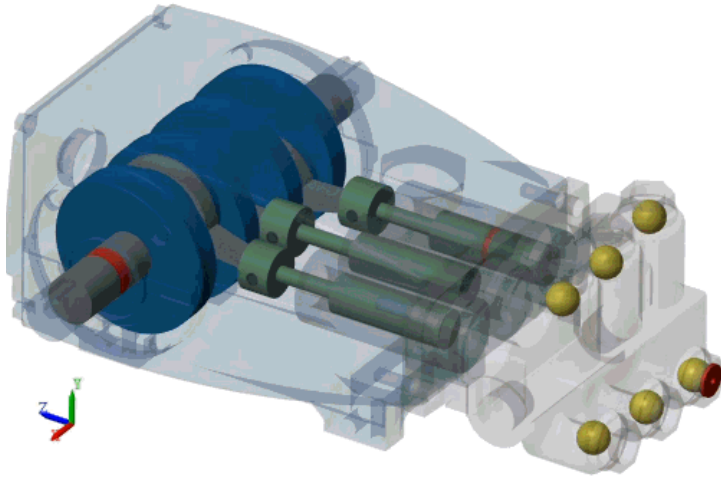
MATLAB EXPO 2019

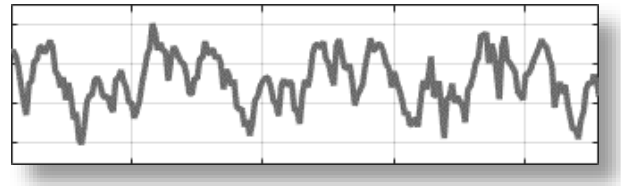
智能运维：
预测性维护系统的研发

陈建平



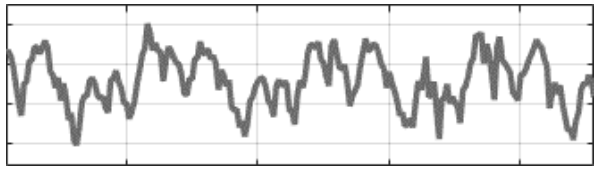
预测性维护是什么？





文字 文档 点击图标下载 App Android iOS

检测语言 英语 中文 **泵 – 检测信号** 中文(简体) 英语 日语

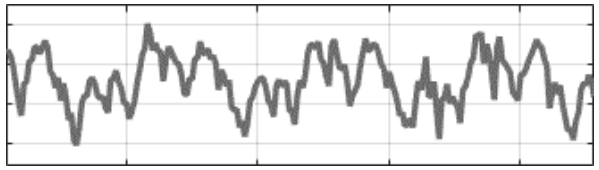


0/5000

求助！

文字 文档 点击图标下载 App Android iOS

检测语言 英语 中文 泵 – 检测信号 中文(简体) 英语 日语



0/5000

求助！
我的一个气缸被堵住了。
我要在15个小时内关闭线路！

预测性维护算法将回答一下问题

我的机器工作正常吗？	异常检测
为什么我的机器行为异常？	工况检测
我的机器还能工作多久？	剩余使用寿命估计

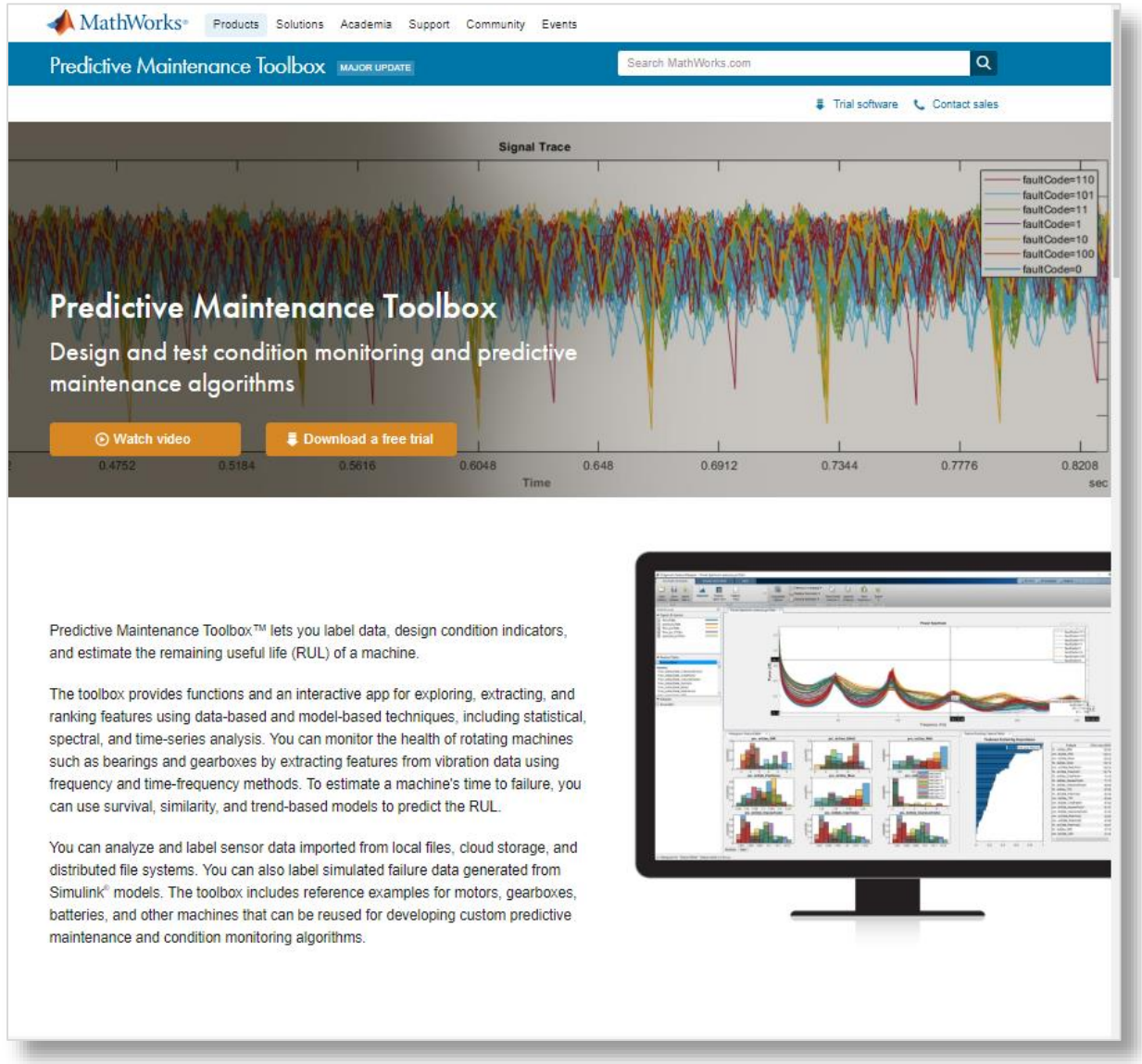
求助！

我的一个气缸被堵住了。

我要在15个小时内关闭线路！

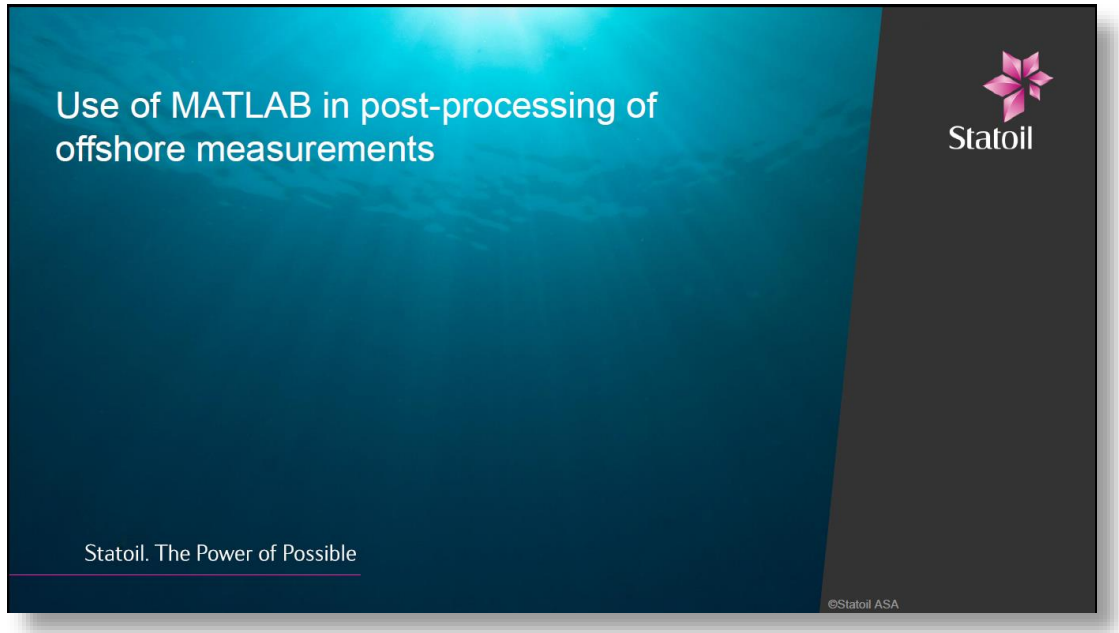
预测性维护工具箱

我的机器工作正常吗？	异常检测
为什么我的机器行为异常？	工况检测
我的机器还能工作多久？	剩余使用寿命估计



预测性维护成功案例

Link to user story



Link to user story

"…Subject Matter Expert Familiarity…"

"… [MATLAB is] Popular across the company…"

SAFRAN AEROSPACE · DEFENCE · SECURITY

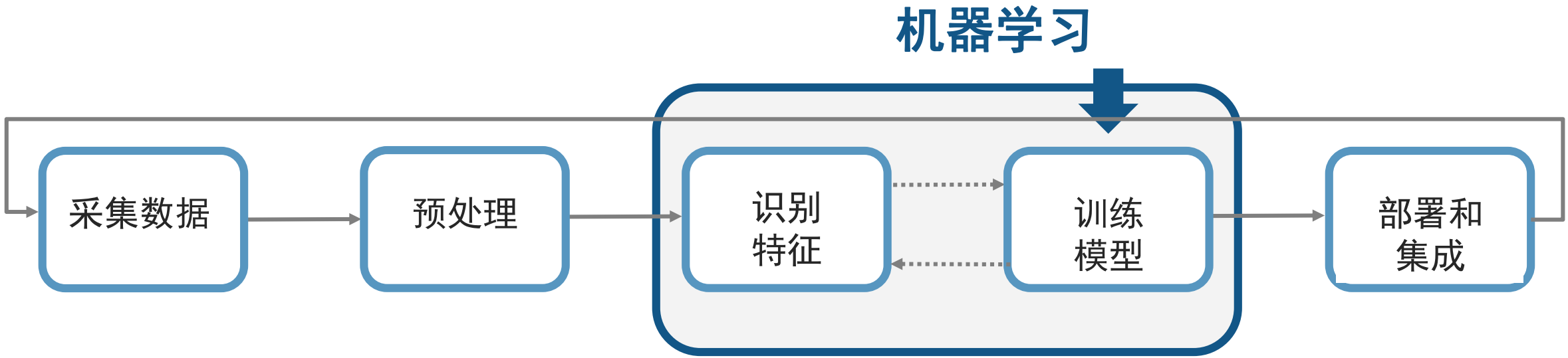
mondi

SNCF

Mercedes-Benz

BOSCH

开发预测性维护算法的流程

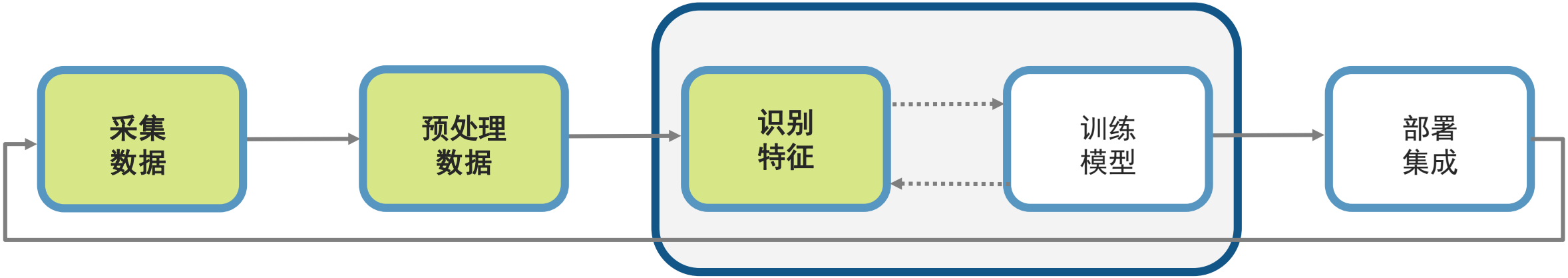


MATLAB & Simulink 开发预测性维护系统的优势

- 减少存储和传输所需的数据量
- 探索特征提取和预测性建模的方法
- 依据你的目标客户提供分析结果
- 快速起步……

MATLAB & Simulink 开发预测性维护系统的优势

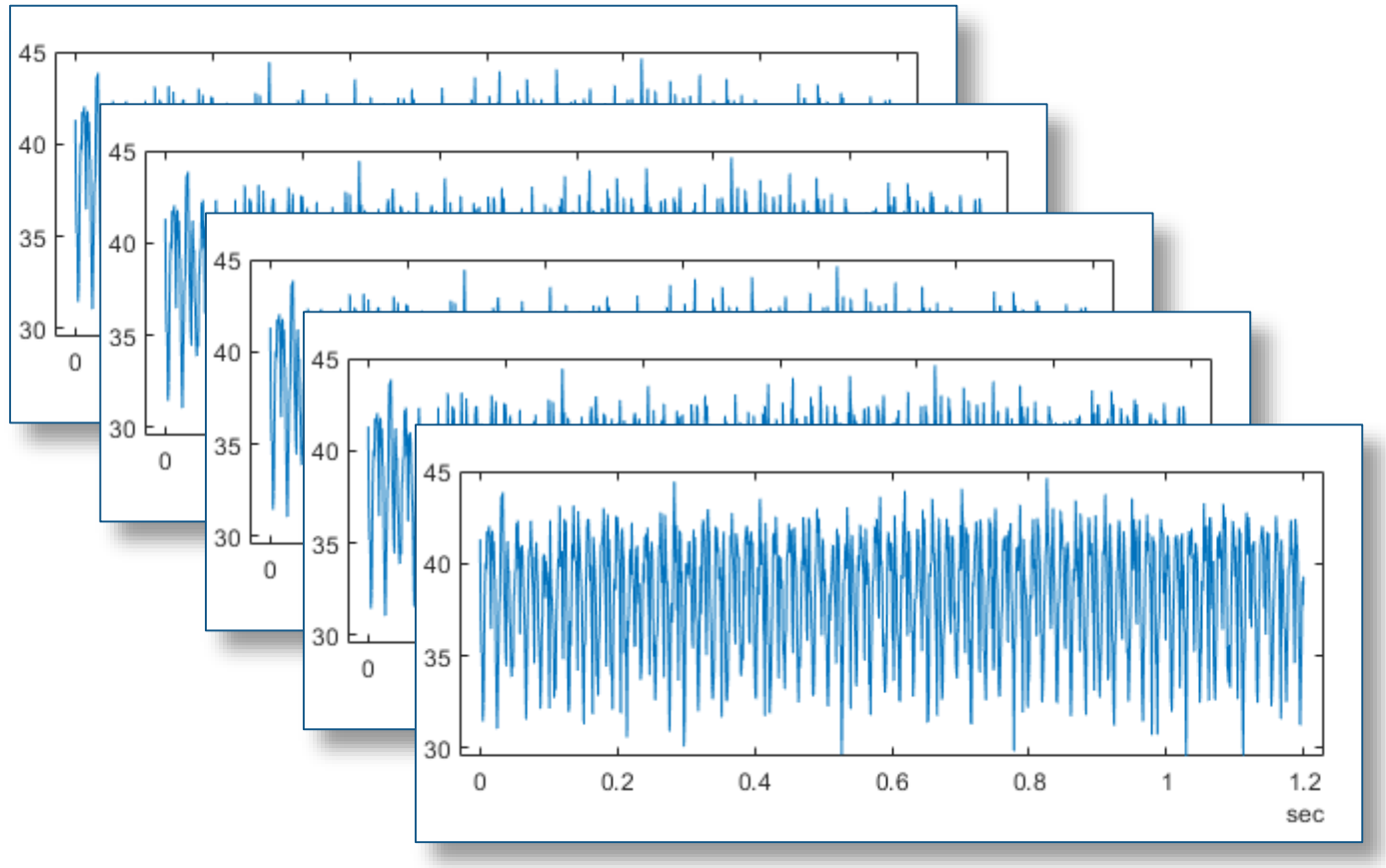
- 减少存储和传输所需的数据量
- 探索特征提取和预测性建模的方法
- 依据你的目标客户提供分析结果
- 快速起步……



挑战：如何深刻理解所收集的所有数据？

- 1 天 ~ 1.3 GB
- 20 个传感器/泵 ~26 GB/天
- 3 个泵 ~ 78 GB/天
- 卫星传输
  - 传输速度：128-150 kbps,
  - 花费 $1,000/10GB
- 大海捞针

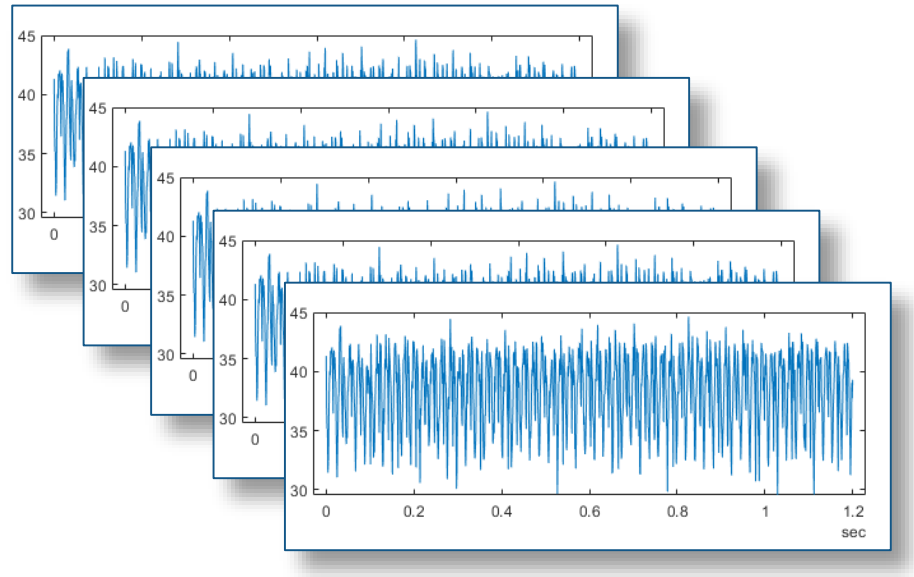
Pump flow sensor *1 sec ~ 1000 samples ~16kB*



解决方案: 特征提取

减少存储和传输所需的数据量

- 如何提取特征？
  - 信号处理的方法
  - 统计和基于模型的方法
- 需要提取哪些特征？
  - 基于可用数据
  - 基于可用硬件
- 如何处理流数据？
  - 确定缓冲大小
  - 通过缓冲滑动窗口提取特征

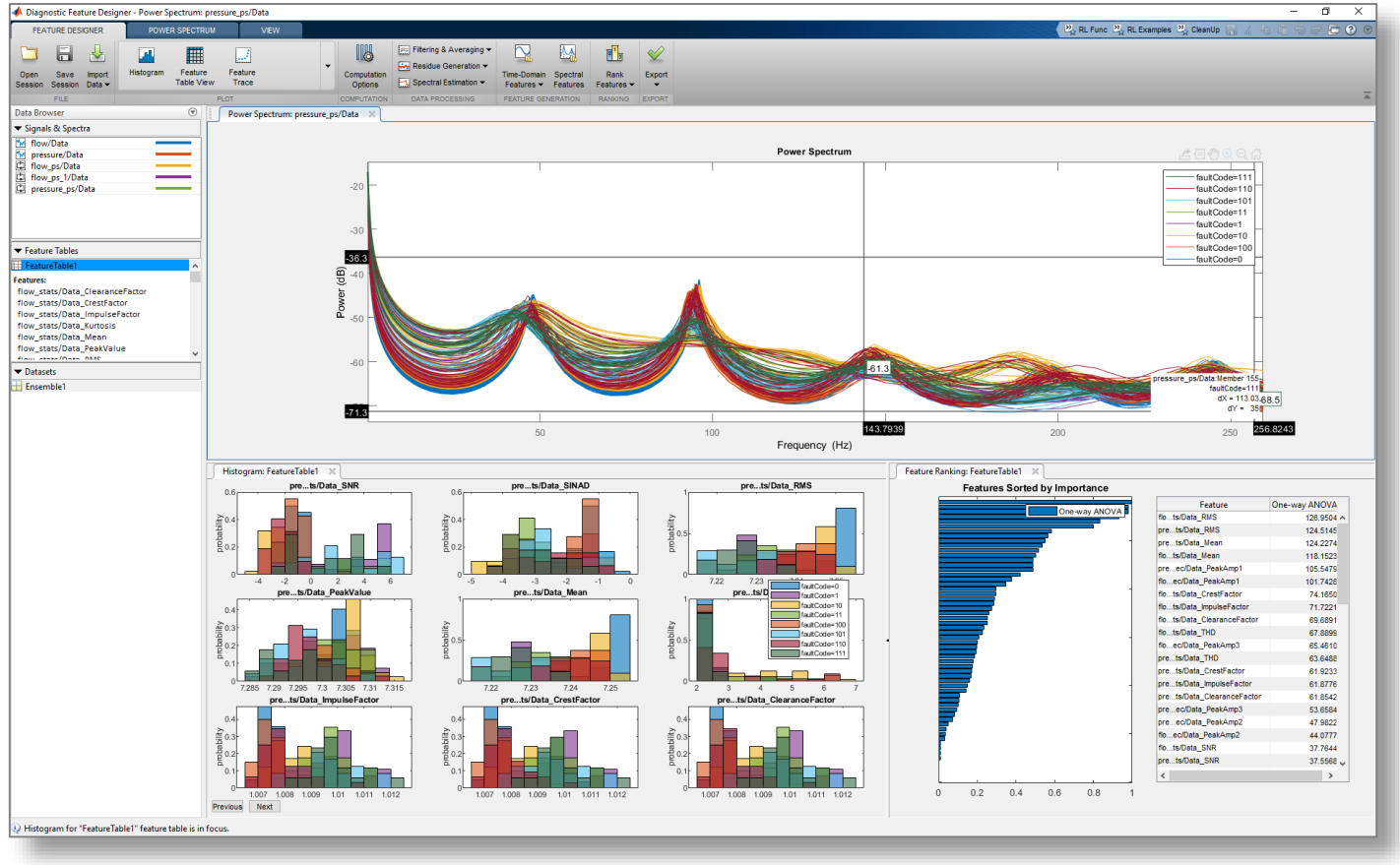


qMean	qVar	qSkewness	qKurtosis
38.4945	9.2306	-0.5728	2.4662
qPeak2P...	qCrest	qRMS	qMAD
15.2351	1.1553	38.6141	2.5562

Diagnostic Feature Designer App

预测性维护工具箱 R2019a

- 从传感信号中提取特征、可视化和重要性排序
- 可以使用统计和动态建模方法
- 处理超过内存量的大数据
- 无需写 MATLAB 代码，实现特征探索和发现



Diagnostic Feature Designer - Signal Trace: flow/Data

FEATURE DESIGNER | SIGNAL TRACE | VIEW

RL Func | RL Examples | CleanUp

Open Session | Save Session | Import Data | Signal Trace | Computation Options | Filtering & Averaging | Residue Generation | Spectral Estimation | Time-Domain Features | Spectral Features | Rank Features | Export

FILE | PLOT | COMPUTATION | DATA PROCESSING | FEATURE GENERATION | RANKING | EXPORT

Data Browser

Signals & Spectra

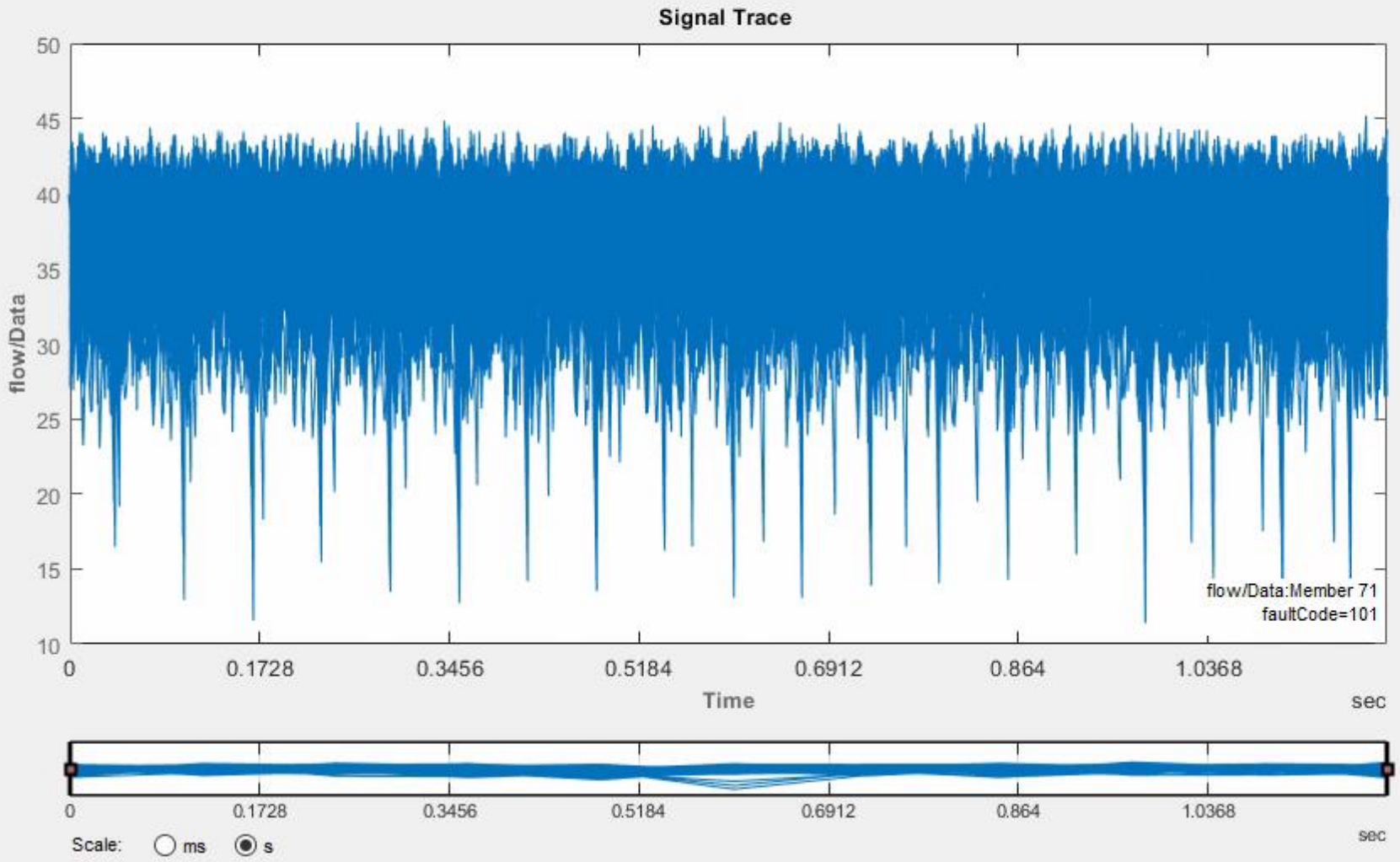
- flow/Data
- pressure/Data

Feature Tables

Datasets

- Ensemble1

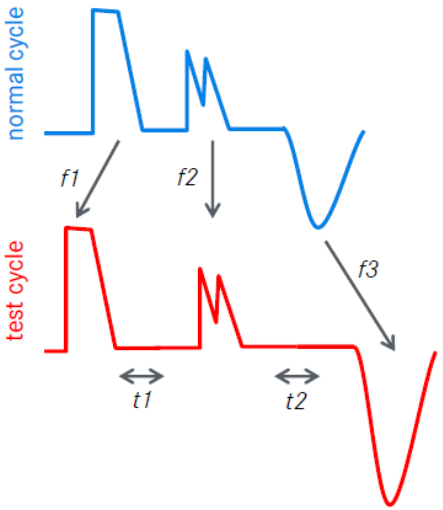
Signal Trace: flow/Data



Signal trace plot for "flow/Data" is in focus.

戴姆勒正在使用 MATLAB 进行异常检测

Algorithm principle

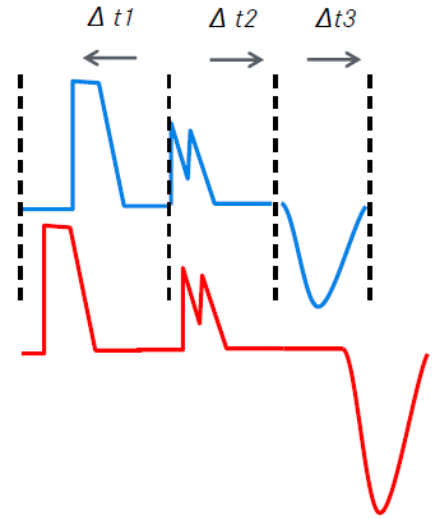


- Cycle can be described as sequence features f1, f2, f3
- Each cycle can show some delays in time t1, t2

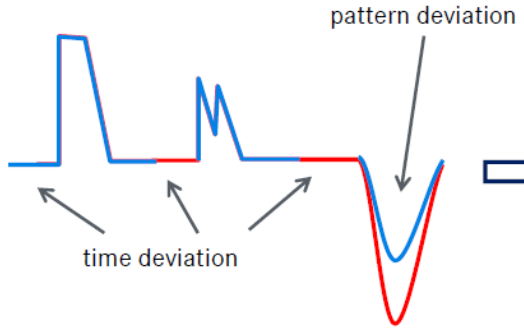
Mercedes-Benz

Dr. Türck Ingenieurbüro
Data Science

Algorithm principle



- Pattern matching through shift of feature along time axis (*Δt1, Δt2, Δt3*): minimization of SRS



- Decription of a cycle as feature sequence
- For each feature time and pattern deviation can be calculated

f1	*f2*	*f3*	
Δt1	*Δt2*	*Δt3*	Time deviation
No	No	Yes	Pattern deviation

- Time and pattern deviation for each feature are used as characteristic numbers for test cycle

⇨ Data reduction!

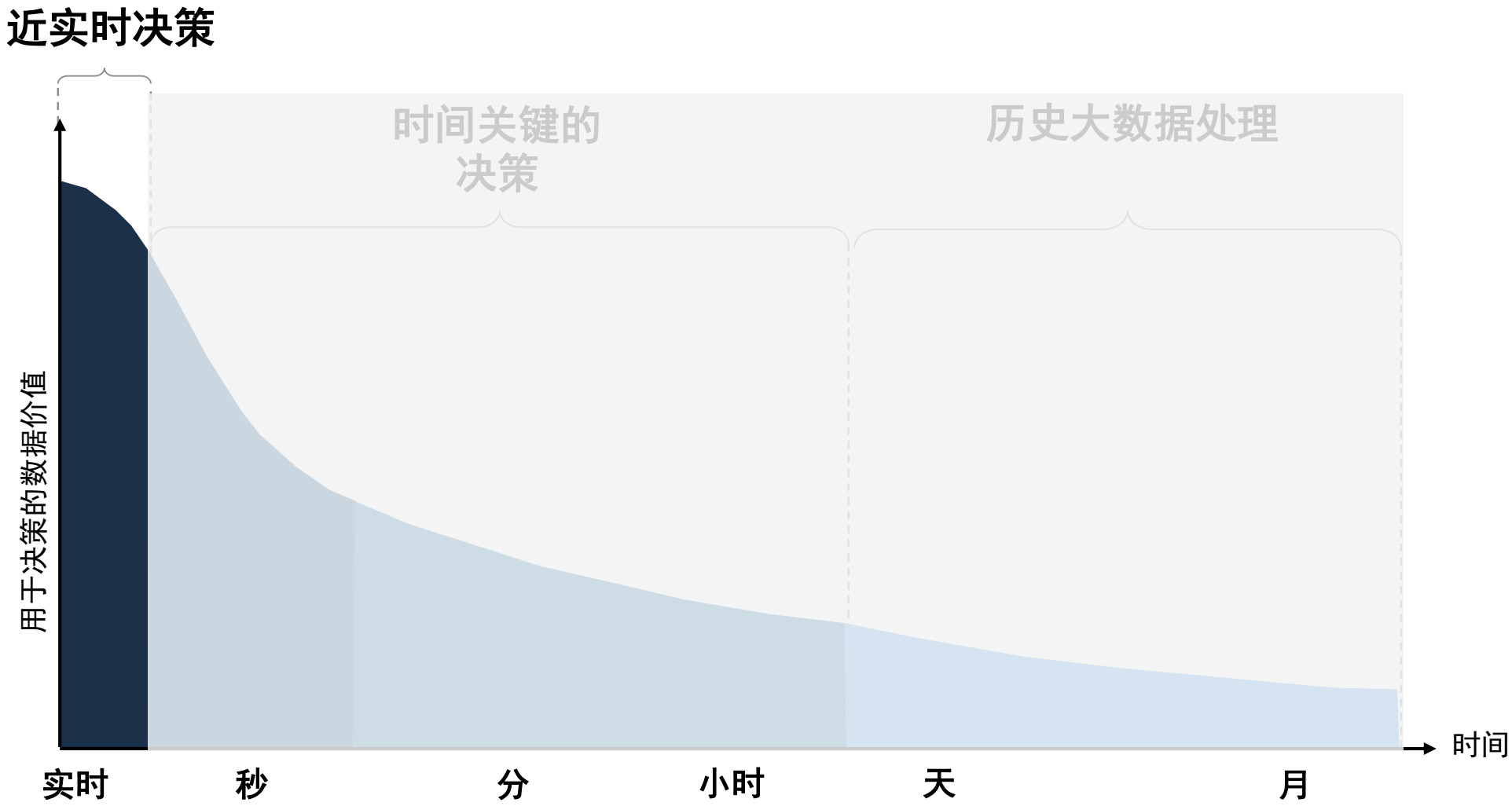
Mercedes-Benz

Dr. Türck Ingenieurbüro
Data Science

Predictive Maintenance using MATLAB: Pattern Matching for Time Series Data 28

数据减少**250倍**而没有明显的信息丢失

你的数据什么时候最有价值?



MATLAB R2018a

HOME | PLOTS | APPS | EDITOR | PUBLISH | VIEW

New | Open | Save | Find Files | Compare | Print | Go To | Find | Insert | Comment | Indent | Breakpoints | Run | Run and Advance | Run Section | Advance | Run and Time

FILE | NAVIGATE | EDIT | BREAKPOINTS | RUN

C: ▸ Users ▸ abaru ▸ Desktop ▸ Expo 2018 ▸ FinalDemo ▸ Demo_Files ▸ Data_Reduction ▸

Current Folder

Name

- Folder
  - codegen
  - Copy_of_Data
  - Data
- Function
  - featureExtraction.m
  - featureExtractionBuffer.m
  - helperSortedBarPlot.m
  - monotonicity.m
- MEX-file
  - featureExtraction_mex.mexw64
  - featureExtractionBuffer_mex.mexw64
- Live Script
  - Expo_Data_Preprocessing_CodeGe...
- MATLAB Coder Project
  - featureExtraction.prj
  - featureExtractionBuffer.prj

featureExtractionBuffer.m (Function)

Editor - C:\Users\abaru\Desktop\Expo 2018\FinalDemo\Demo_Files\Data_Reduction\featureExtractionBuffer.m

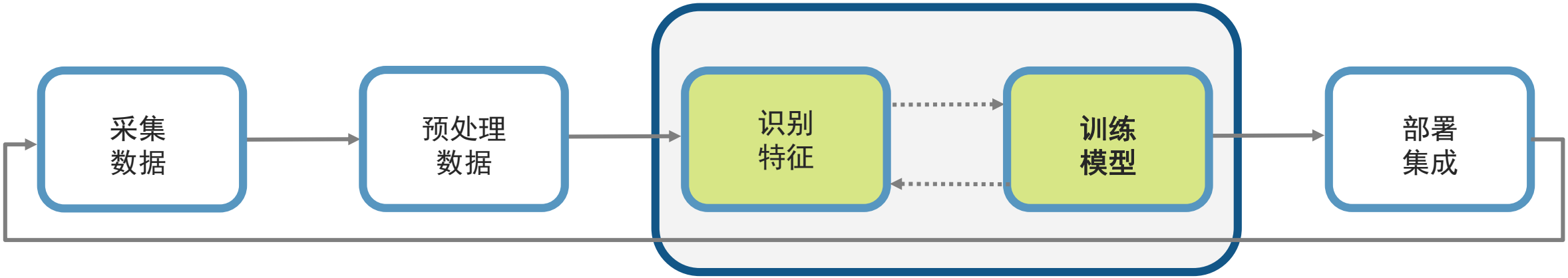
Expo_Data_Preprocessing_CodeGen.mlx | featureExtractionBuffer.m

```
1   function [feature_list] = featureExtractionBuffer(data,timestamp)
2
3   persistent flow_array
4   persistent time_array
5   Np = 1000;
6
7   if isempty(flow_array)
8       flow_array = nan(Np,1);
9   end
10
11  if isempty(time_array)
12      time_array = nan(Np,1);
13  end
14
15  flow_array = [data; flow_array(1:Np-1)];
16  data = flow_array;
17
18  time_array = [timestamp; time_array(1:Np-1)];
19  timestamp = time_array;
20
21
22  if isempty(find(isnan(data),1))
23
24      flow = data;
25
26      % Ensure the flow is sampled at a uniform sample rate
27      t_flow = timestamp;
```

featureExtractionBuffer | Ln 17 | Col 1

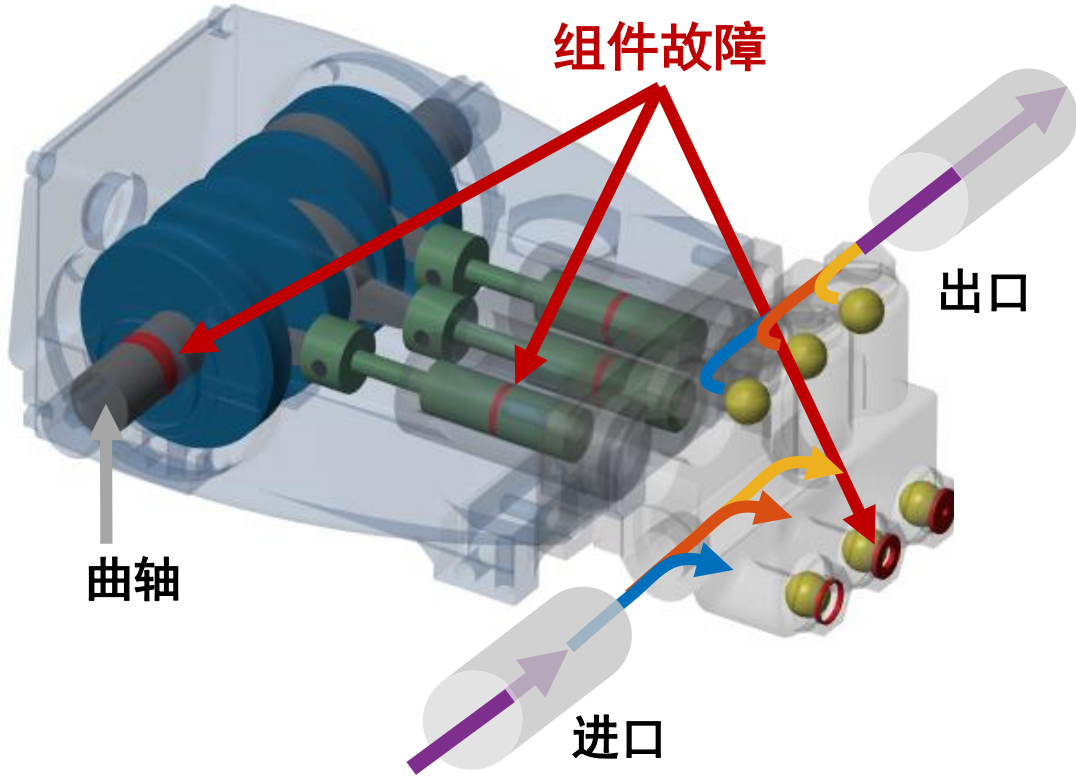
MATLAB & Simulink 开发预测性维护系统的优势

- 减少存储和传输所需的数据量
- 探索特征提取和预测性建模的方法
- 依据你的目标客户提供分析结果
- 快速起步……



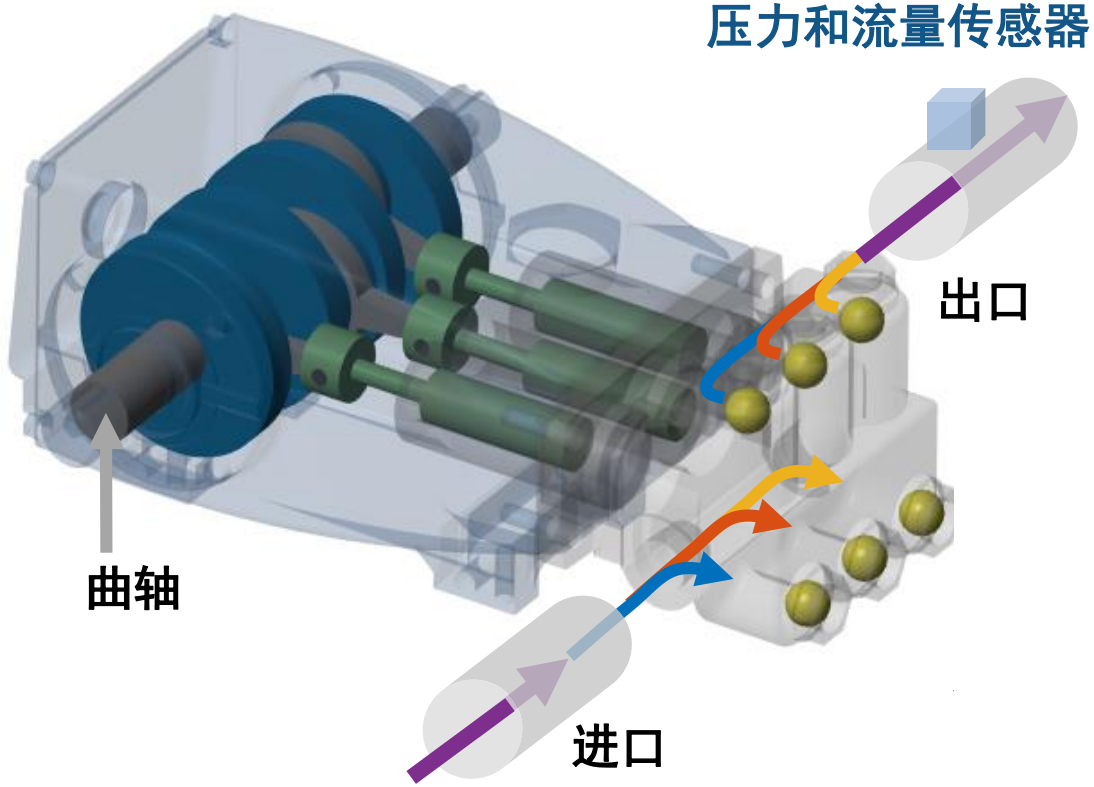
故障分类算法识别异常行为的根本原因

- 三相泵常用于钻井和提供油井服务
  - 三个柱塞试图确保均匀的流量
- 工况监测检测：
  - 密封泄露
  - 进口堵塞
  - 轴承损坏



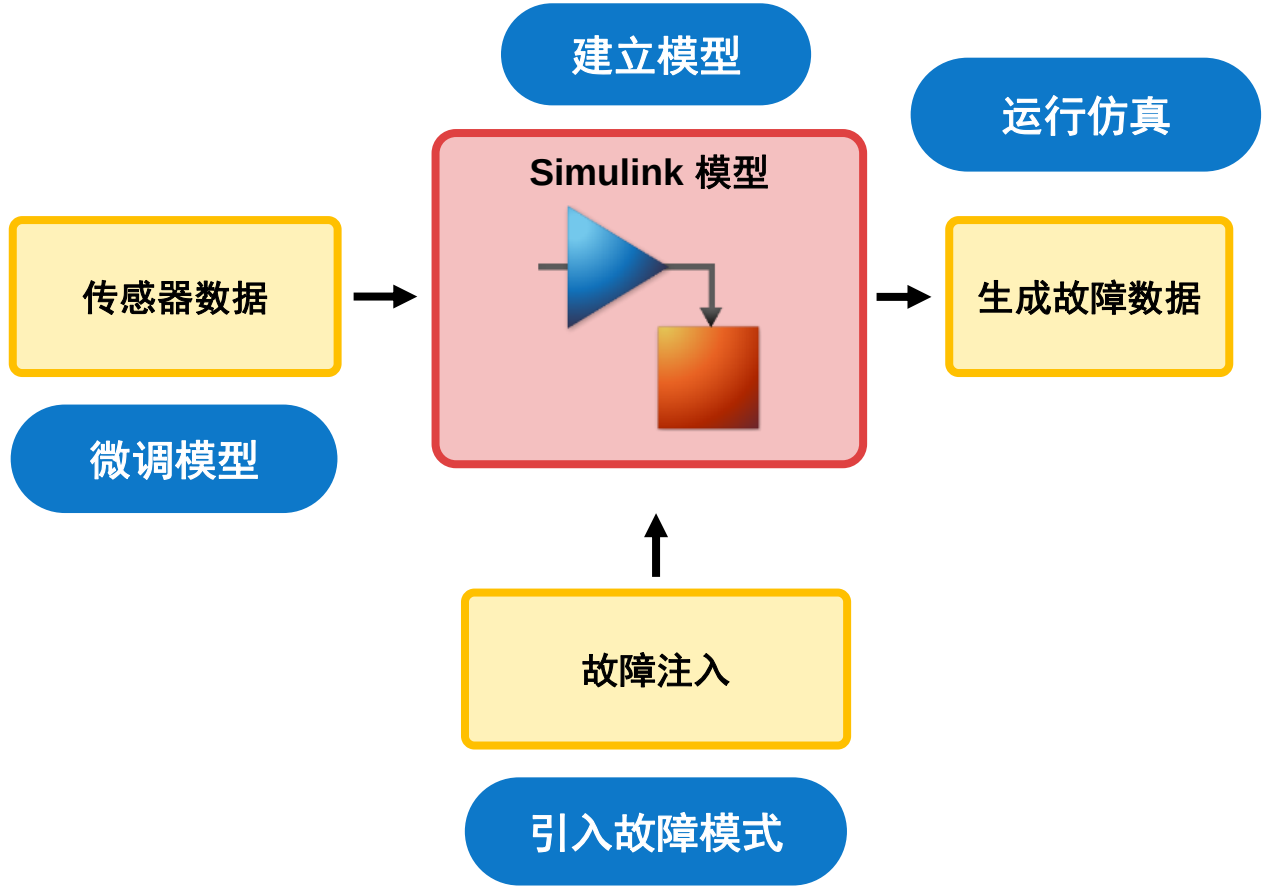
故障分类算法识别异常行为的根本原因

- 三相泵常用于钻井和提供油井服务
  - 三个柱塞试图确保均匀的流量
- 工况监测检测：
  - 密封泄露
  - 进口堵塞
  - 轴承损坏
- 仅使用压力和流量传感器数据识别系统中存在的故障



当实际故障数据不可用，可以从 Simulink 模型合成故障数据

- 故障模式建模
  - 与领域专家和可用数据协作
  - 改变模型参数和组件
- 针对指定机器定制模型
  - 基于实际数据微调模型
  - 验证调整模型的性能



Diagnostic Feature Designer - Signal Trace: flow/Data

FEATURE DESIGNER | SIGNAL TRACE | VIEW

RL Func | RL Examples | CleanUp

Open Session | Save Session | Import Data | Signal Trace | Power Spectrum | Order Spectrum | Histogram | Select data to plot | Computation Options | Filtering & Averaging | Residue Generation | Spectral Estimation | Time-Domain Features | Spectral Features | Rank Features | Export

FILE | PLOT | COMPUTATION | DATA PROCESSING | FEATURE GENERATION | RANKING | EXPORT

Data Browser

Signals & Spectra

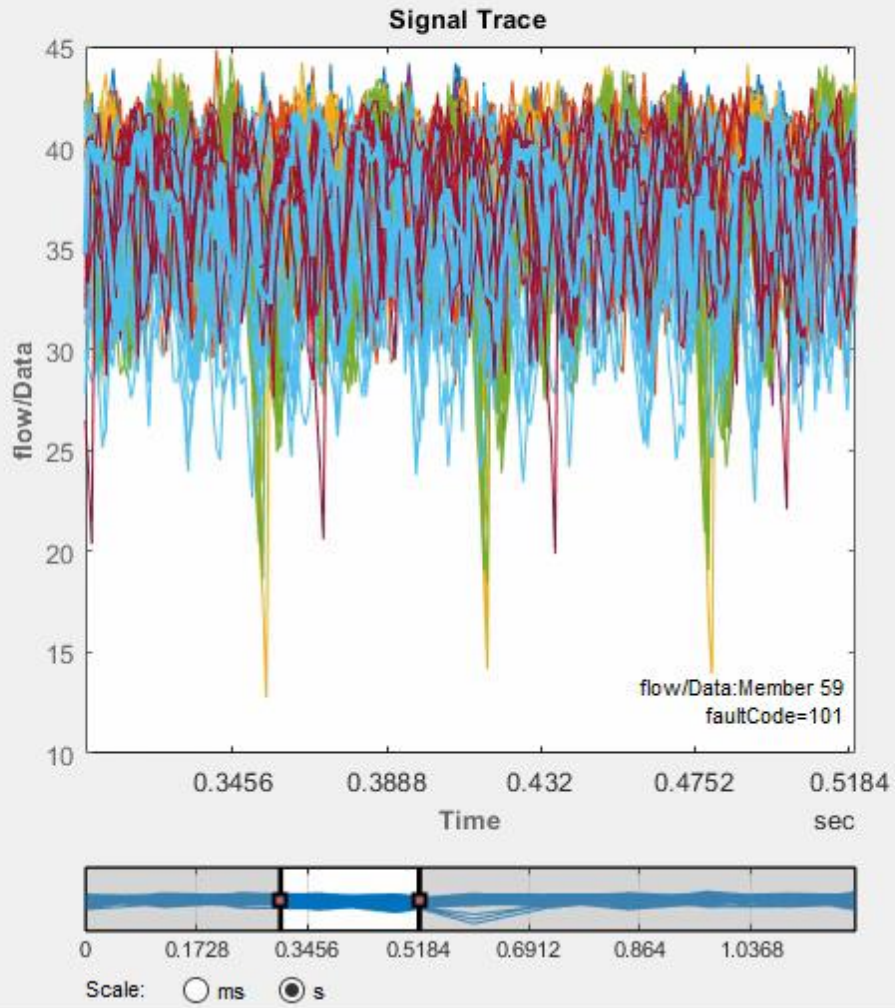
- flow/Data
- pressure/Data
- flow_ps/Data

Feature Tables

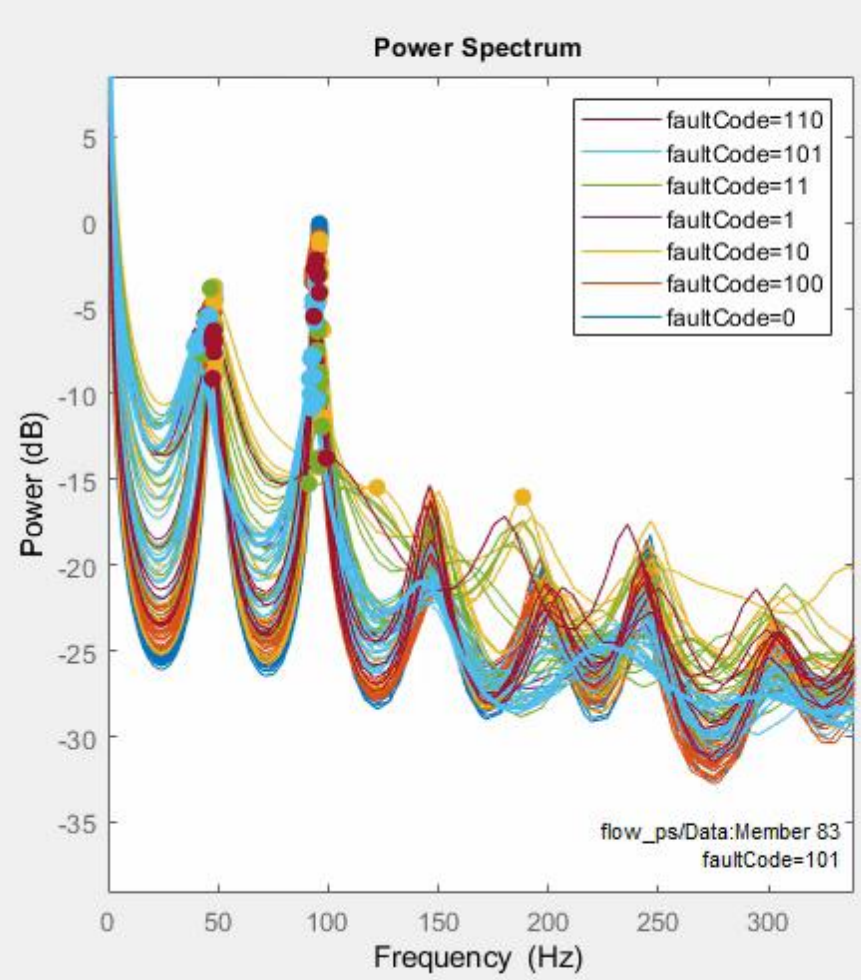
Datasets

- Ensemble1

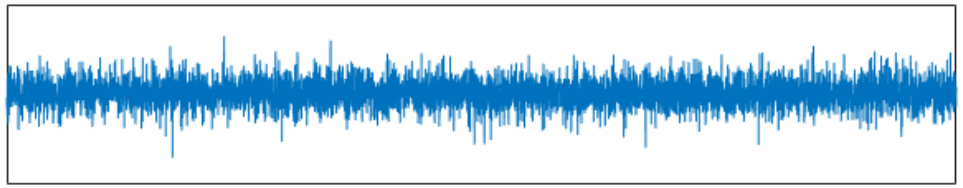
Signal Trace: flow/Data



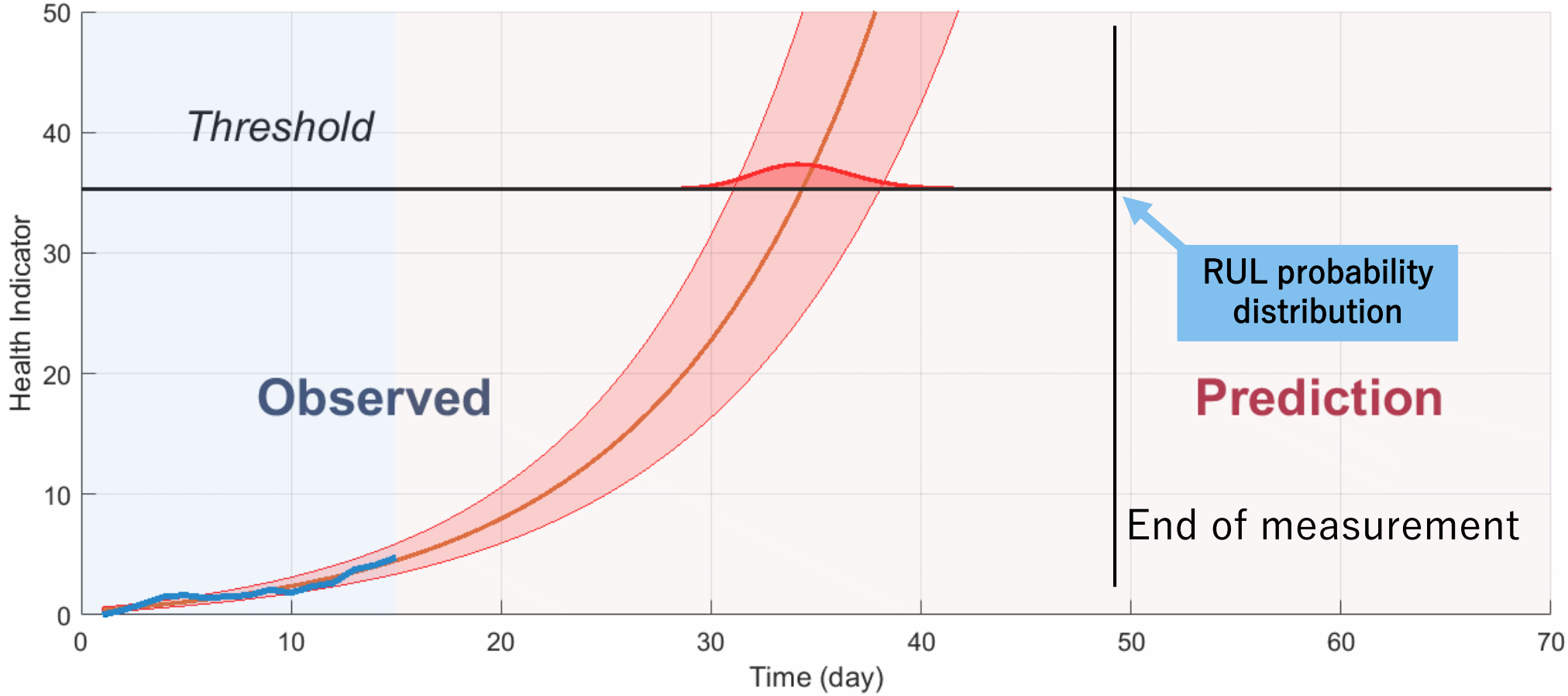
Power Spectrum: flow_ps/Data



估计剩余使用寿命（RUL）确定何时进行维护



RUL: 459 hours
(95%CI: 374-558 hours)



贝克休斯开发了用于天然气和石油开采的预测性维护软件

挑战

开发预测性维护系统，以降低泵设备成本和停机时间

解决方案

使用MATLAB分析近1TB的数据，并创建一个可以在故障发生之前预测故障的机器学习模型

成果

- 预计节省超过1000万美元
- 开发时间减少一个量级
- 轻松访问多种类型的数据

带正排量泵的卡车

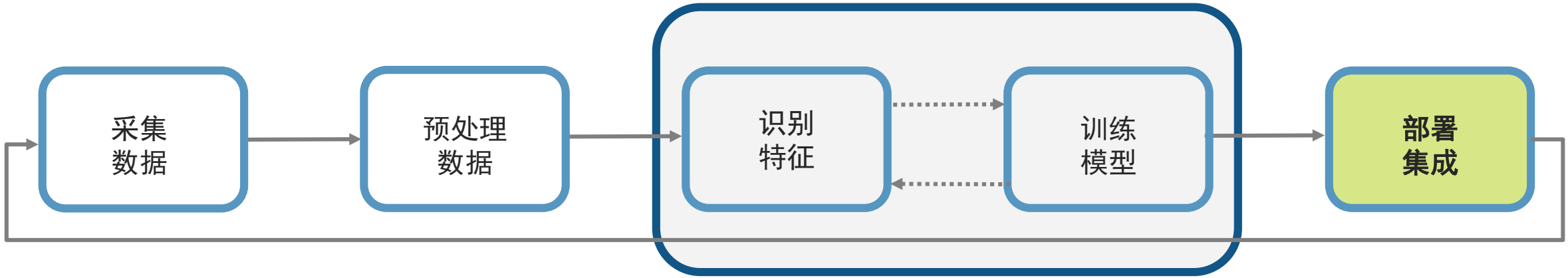
“MATLAB使我们能够将以前不可读的数据转换成可用的格式; 为多个卡车和地区自动化过滤，频谱分析和转换步骤; 并最终实时应用机器学习技术来预测进行维护的理想时间。”

- Gulshan Singh, Baker Hughes

Link to user story

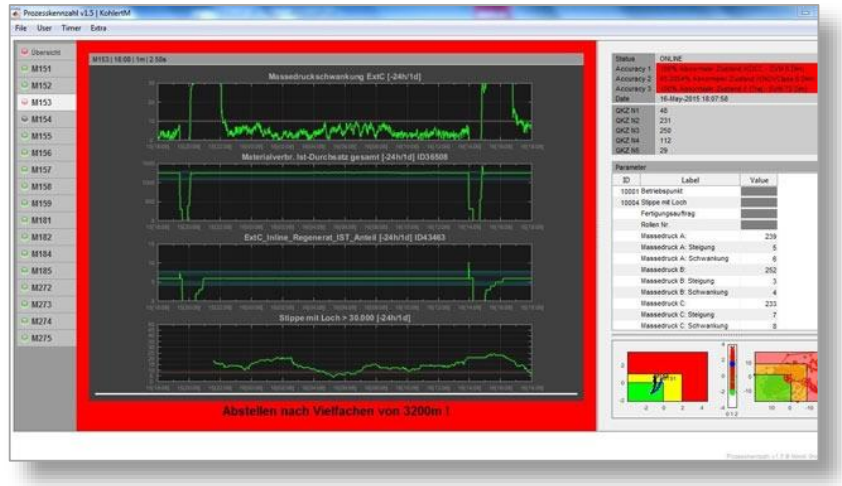
MATLAB & Simulink 开发预测性维护系统的优势

- 减少存储和传输所需的数据量
- 探索式特征提取和预测性建模
- 依据你的目标客户提供分析结果
- 快速起步……

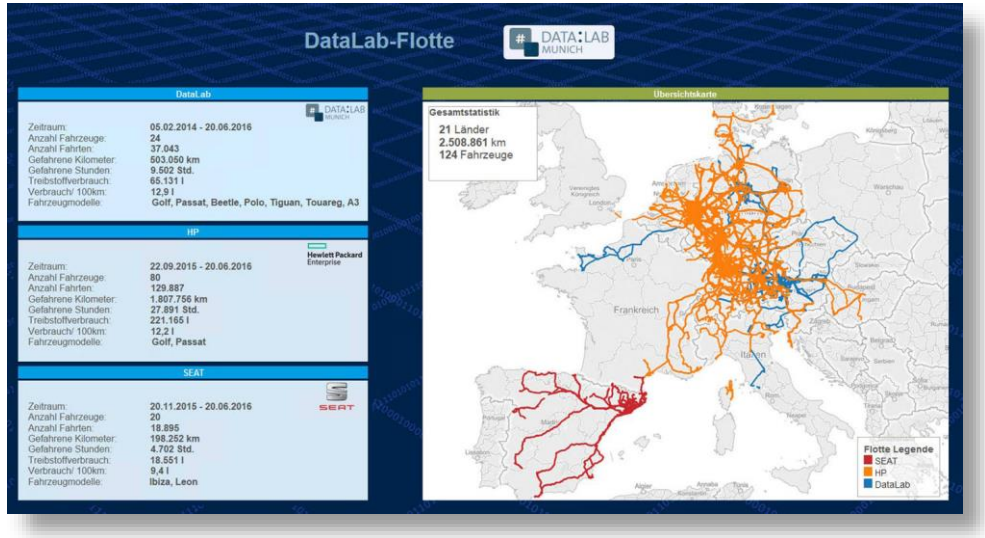


挑战：为最终用户提供结果

- 维护需要简单、快捷的信息
  - 手持设备，警告器
- 需要更高视角来执行操作
  - 和 IT 和 OT 系统集成
- 客户希望得到易于消化的信息
  - 自动报告

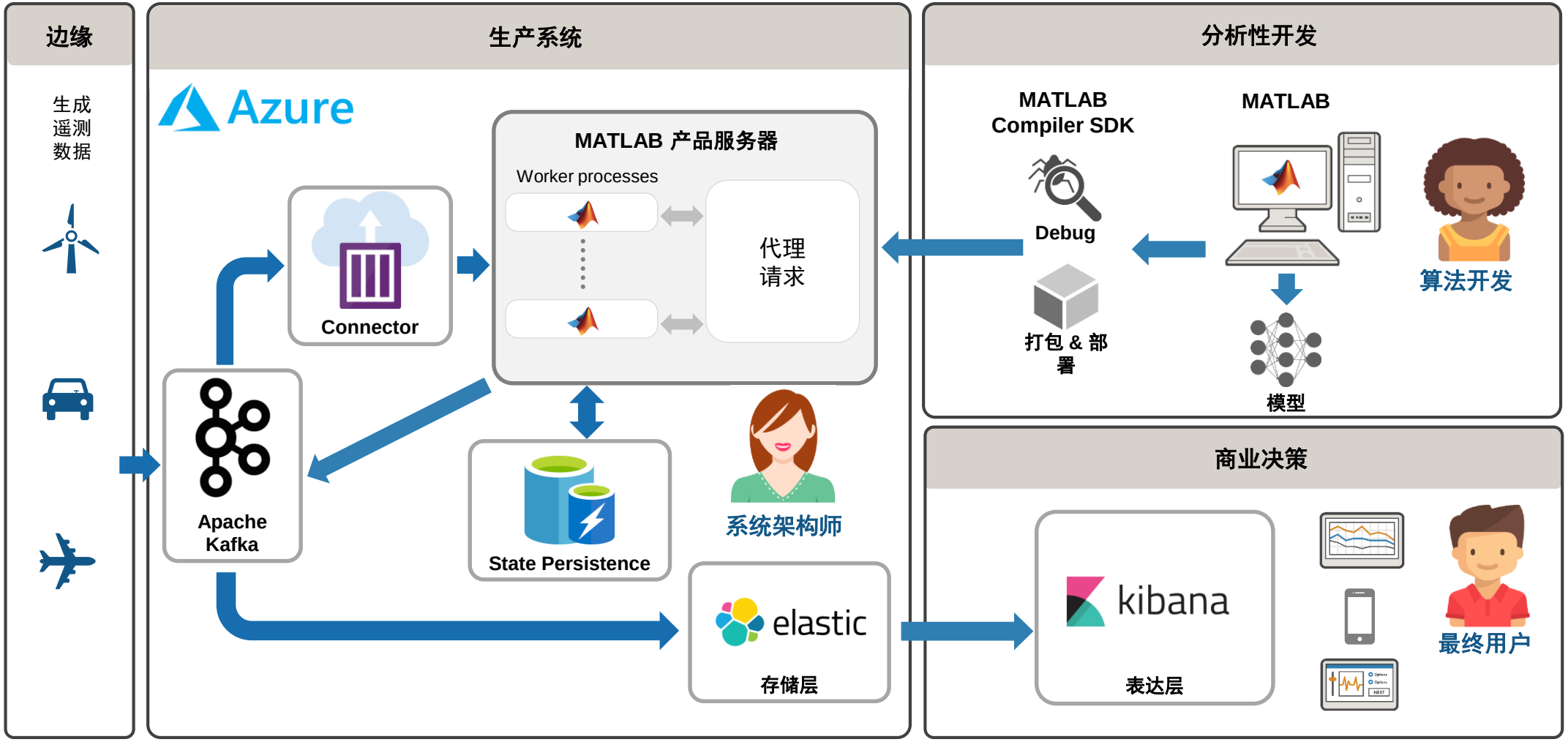


Dashboards

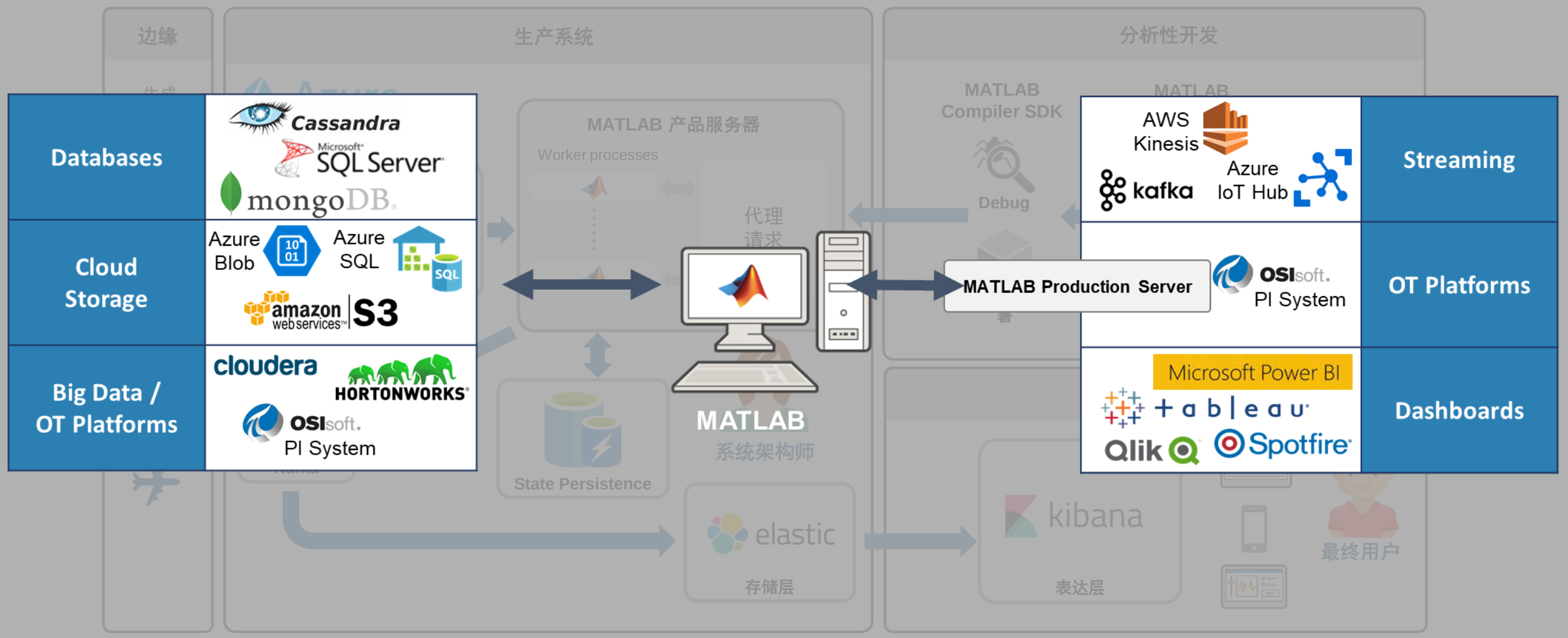


Fleet & Inventory Analysis

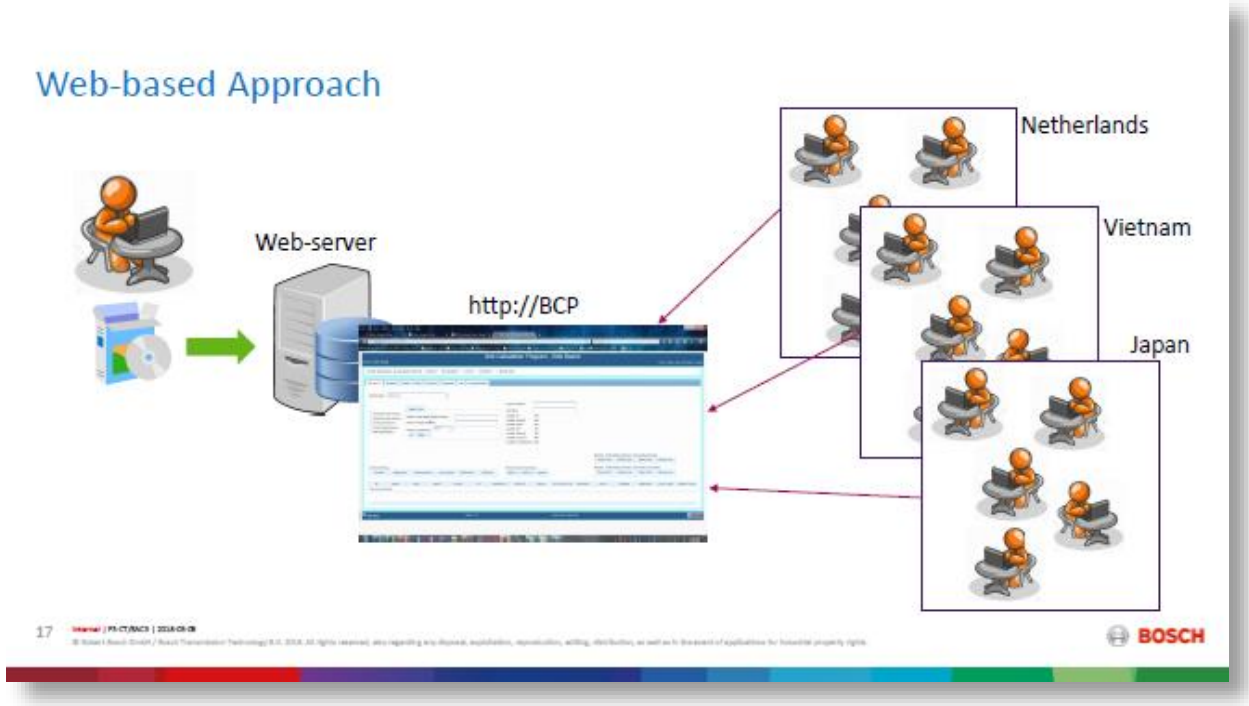
Azure 上的预测性维护架构



Azure 上的预测性维护架构

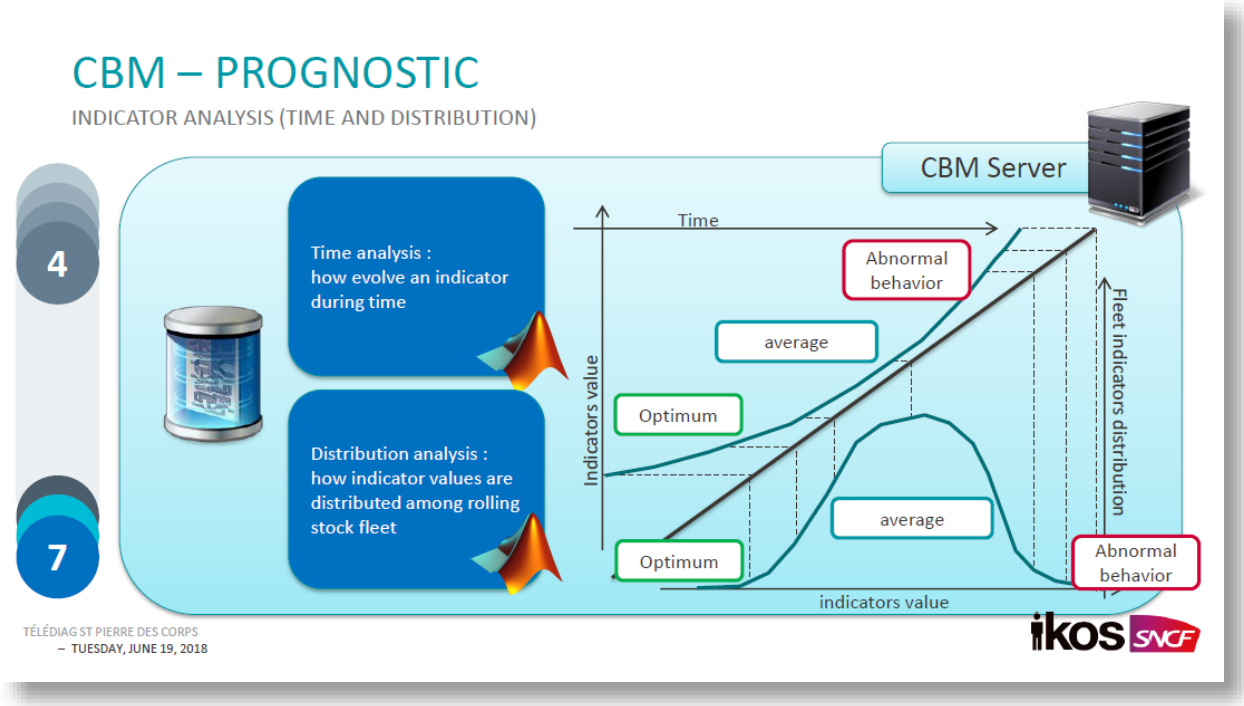


博世和SNCF已经成功实施了的生产系统



Link to user story

“仅需在1个地方更新软件...主要更新最多只需要1小时停机时间.....”

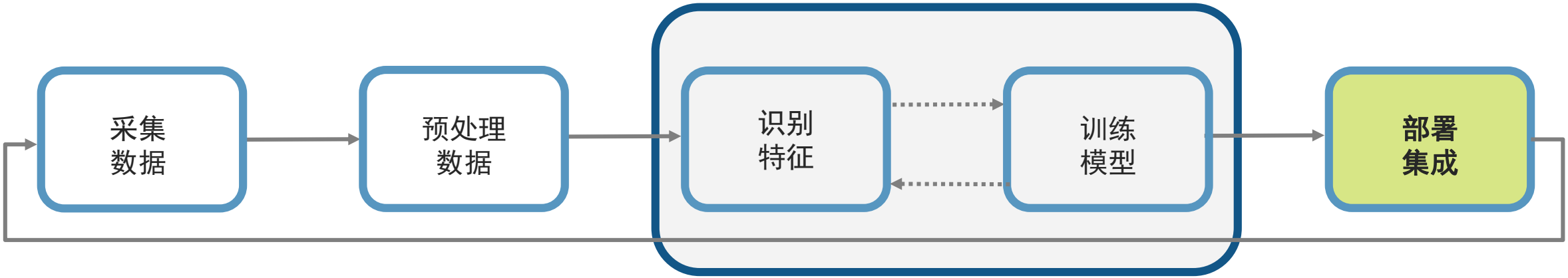


Link to user story

“..... [我们的解决方案]在不破坏现有流程的情况下优化整个维护流程.....”

MATLAB & Simulink 开发预测性维护系统的优势

- 减少存储和传输所需的数据量
- 探索式特征提取和预测性建模
- 依据你的目标客户提供分析结果
- 快速起步……



MATLAB & Simulink 开发预测性维护系统的优势

- 减少存储和传输所需的数据量
- 探索式特征提取和预测性建模
- 依据你的目标客户提供分析结果
- 快速起步……

MathWorks 帮助你从现在开始快速起步

- 案例
- 文档
- 教程和练习
- 咨询服务
- 系列技术讲座

MATLAB & Simulink 开发预测性维护系统的优势

- 减少存储和传输所需的数据量
- 探索式特征提取和预测性建模
- 依据你的目标客户提供分析结果
- 快速起步……