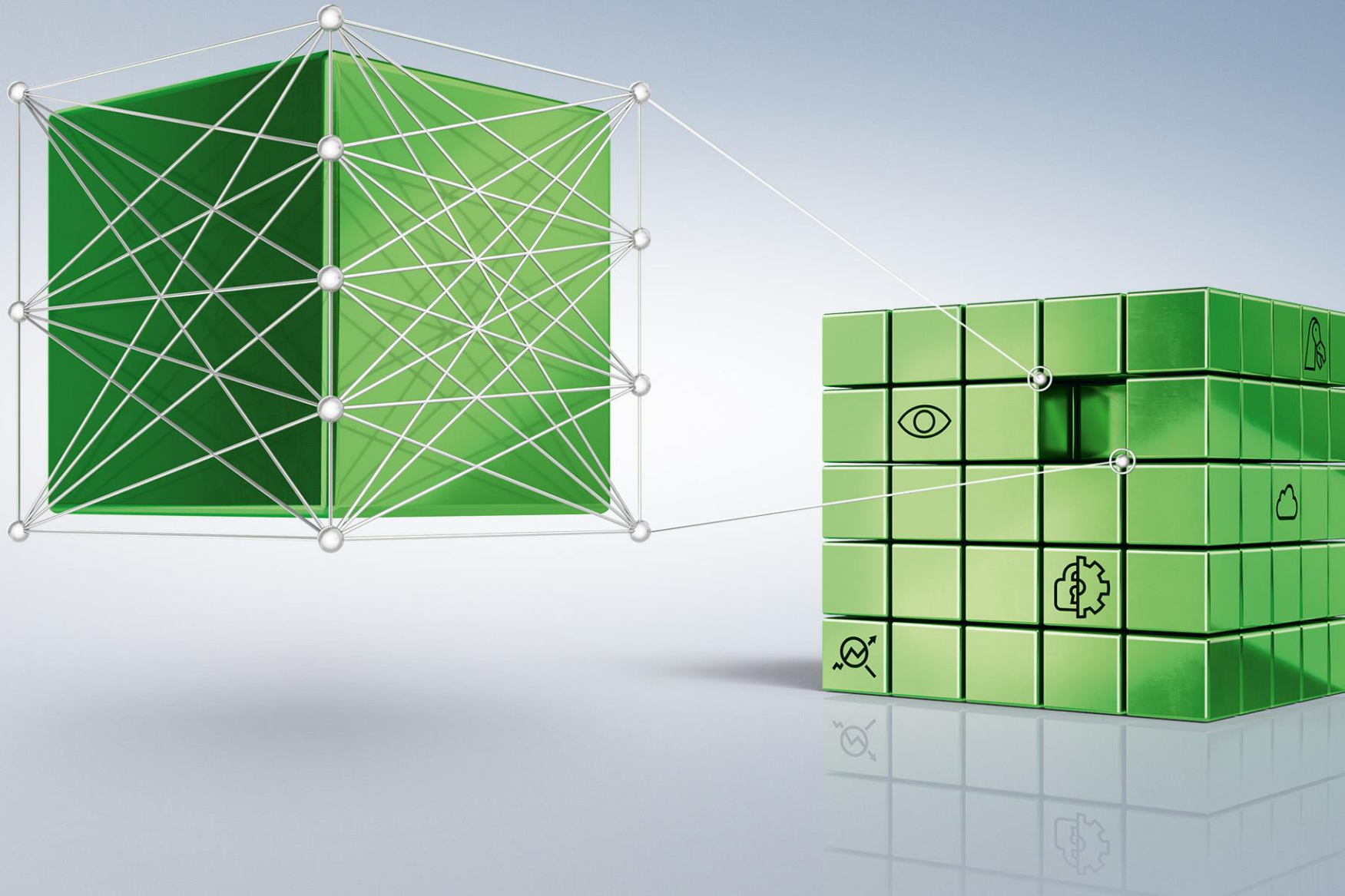


TwinCAT 3 机器学习

BECKHOFF





**“神经网络几乎是做任何事情第二好的方法[...]
最好的方法是真正了解问题。”**

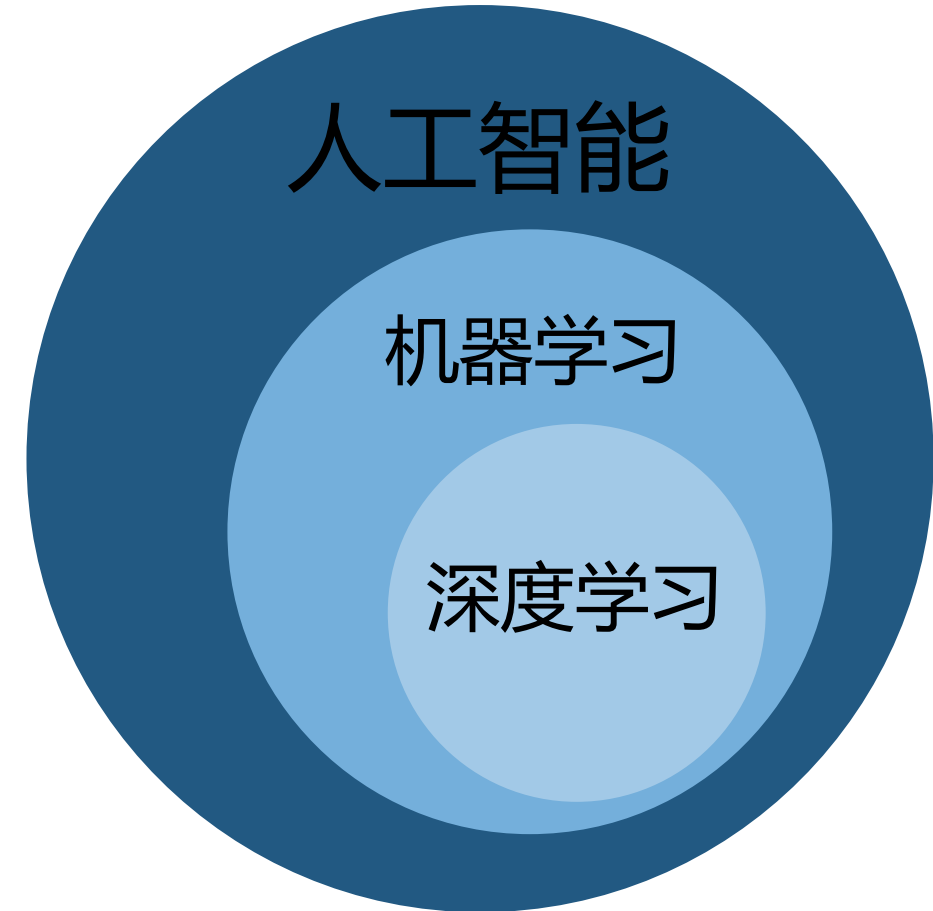
John S. Denker, 大约在1994年

- **机器学习快速入门**
 - 措辞
 - 模型
 - 训练概念
- **将机器学习模型引入自动化**
 - 机器学习 | 数据采集
 - 机器学习 | 训练
 - 机器学习 | 运行时
- **竞争**
- **应用**
 - 用于机器优化的神经网络
 - 异常检测
 - 传感融合/ 虚拟传感器

措辞 | 人工智能– 机器学习 – 深度学习

BECKHOFF

- 人工智能(AI)
 - 能够模仿人智力的智能
 - 区分弱AI和强AI
- 机器学习(ML)
 - 达到（弱）AI的概念
 - 基于可以通过训练数据学习特定任务的数学模型
 - 主要基于模型优化
- 深度学习(DL)
 - 专注于深度神经网络（DNN）作为模型
 - 需要大量数据集进行训练的复杂模型
 - 强大的视觉应用



机器学习的最基本思想

■ 理念

- 找到一个数学模型来概括给定输入数据和给定输出数据之间的关系

$$\underbrace{a_n = \theta_1 \cdot n + \theta_2}_{\text{模型}} \text{ 约束 } \begin{cases} \theta_1 \\ \theta_2 \end{cases} \text{ 参数}$$

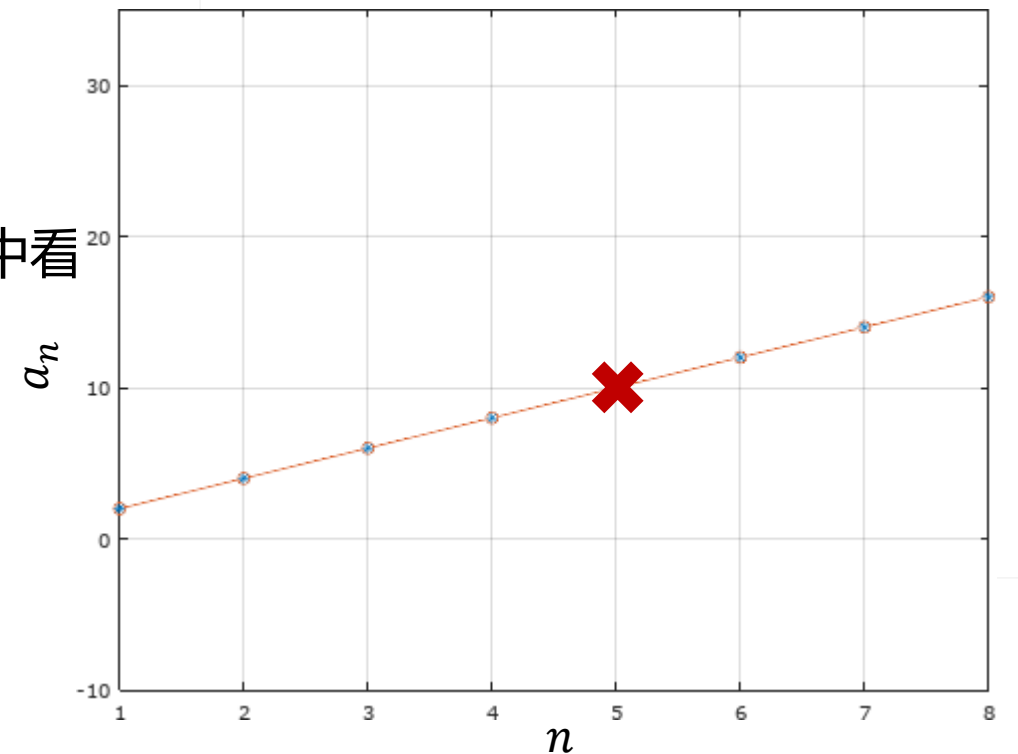
■ 程序

- 选择一个可能做到这一点的模型
- 使用给定的数据**训练**该模型以指定模型的行为，即最小化模型预测和样本数据的误差

■ 结果

- 一个数学模型：可以根据给定的输入（例如，在训练中看见）预测输出
- 使用此模型称为**推理**

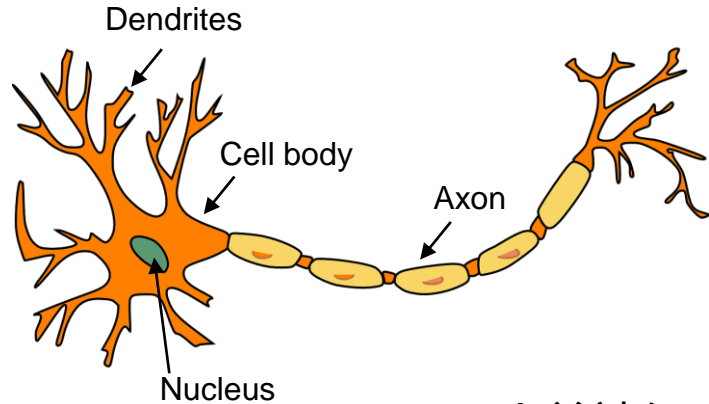
机器学习的模型当然是不同的。
例如，旨在成为通用逼近函数的**神经网络**



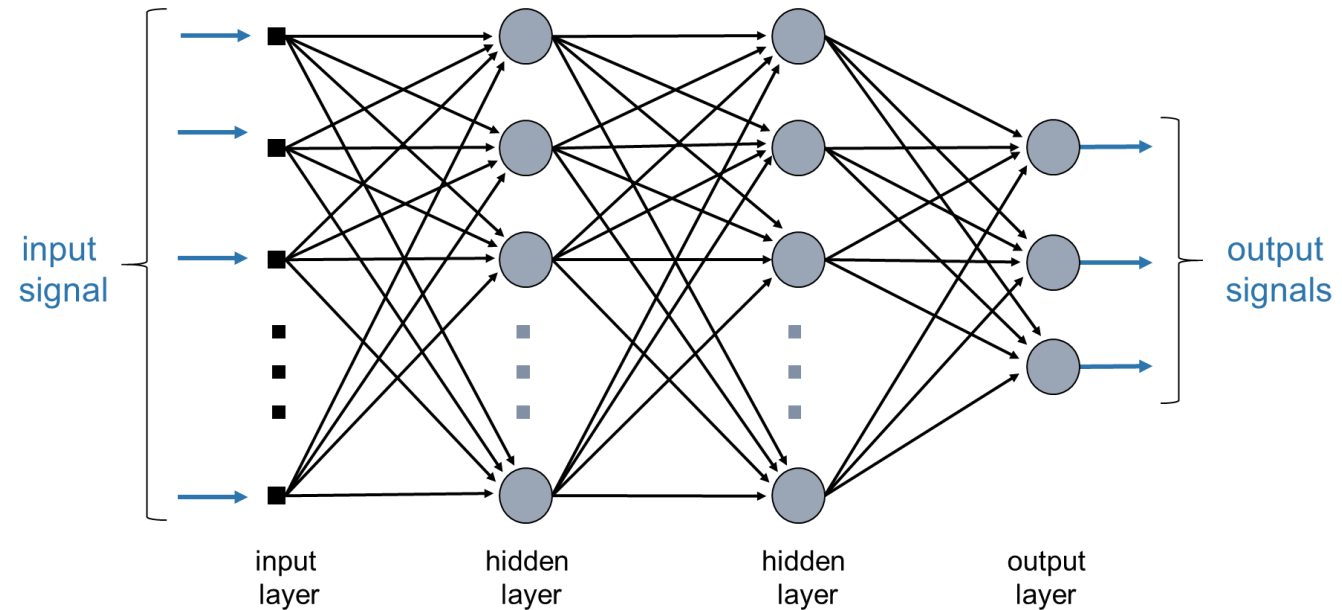
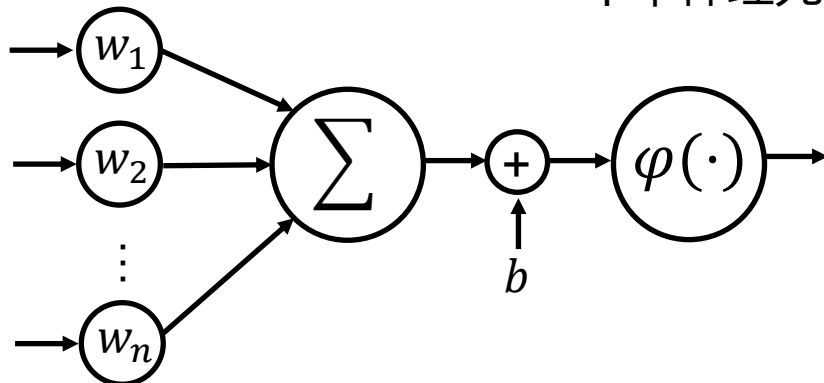
模型 | 简要了解多层感知器

BECKHOFF

- 多层感知器 (MLP) 是通用逼近函数
- 来自人脑细胞的基本概念



...一个单神经元...

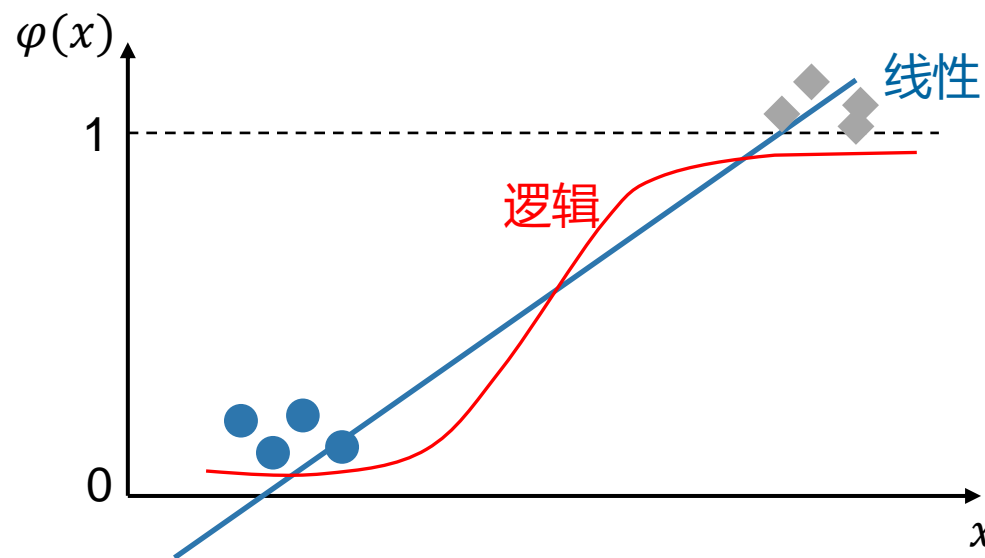
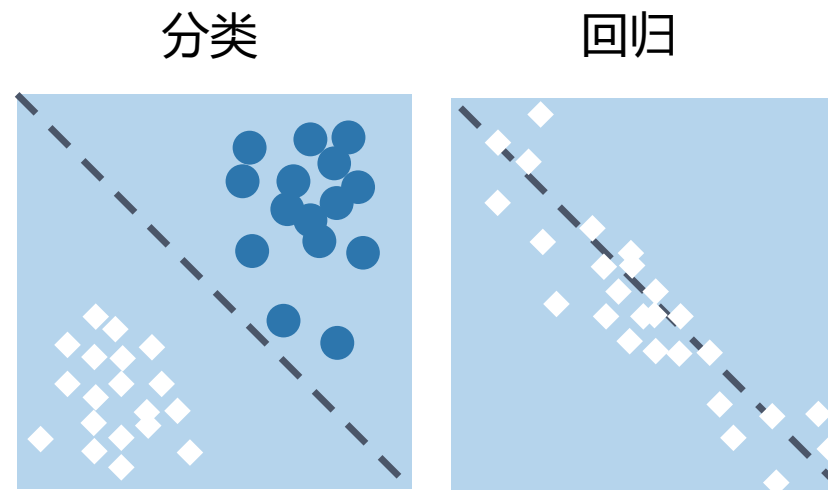


... 一个多层感知器

模型 | 回归 vs 分类

BECKHOFF

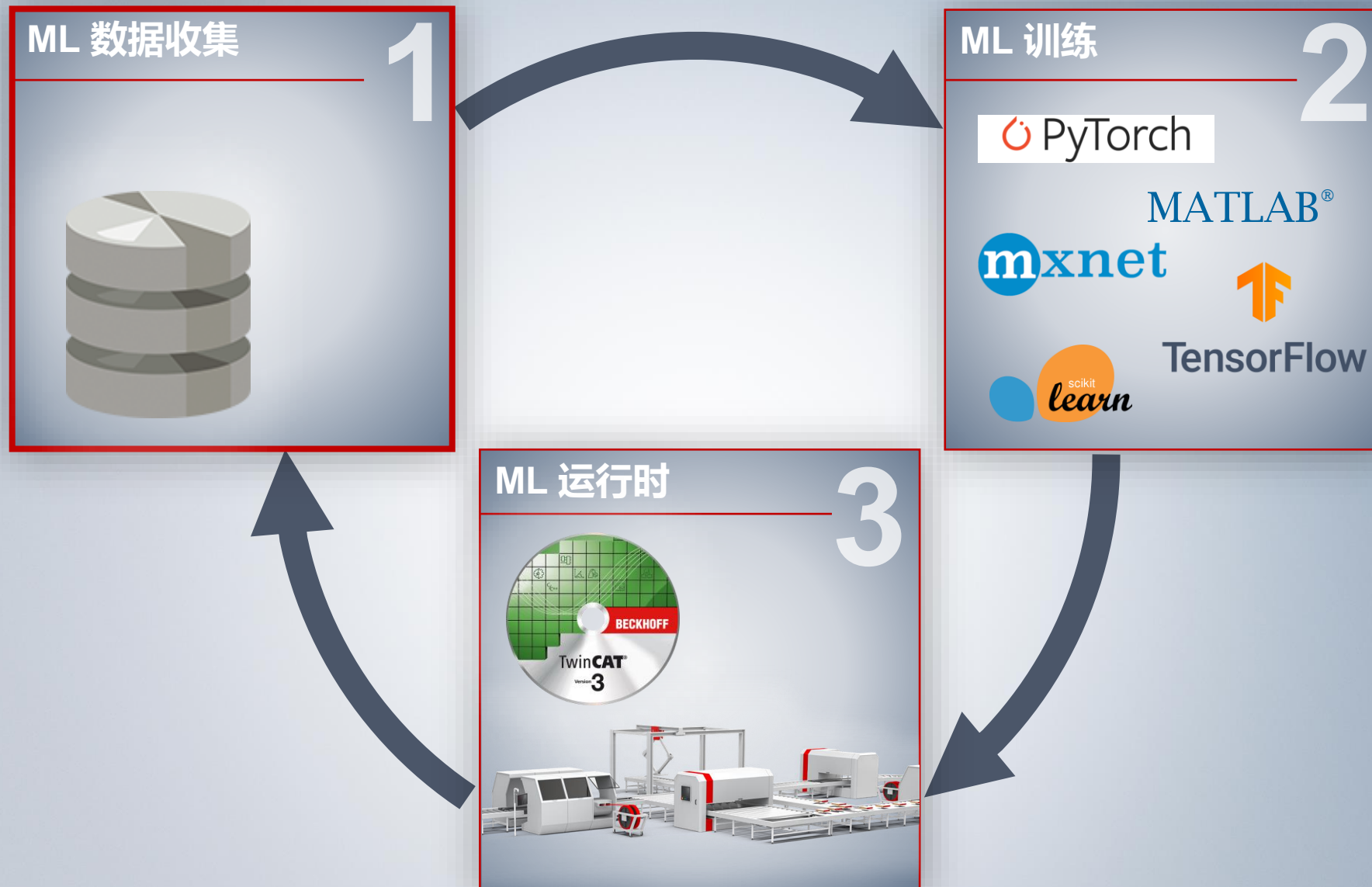
- 回归
 - 系统的大致描述
 - 输出是连续的
- 分类
 - 将数据分为 (多个) 类别
 - 输出是分类的
- 激活函数的非线性修改
 - $\varphi < 0.5 \rightarrow A$ 类
 - $\varphi \geq 0.5 \rightarrow B$ 类



- 机器学习快速入门
 - 措辞
 - 模型
 - 训练概念
- **将机器学习模型引入自动化**
 - 机器学习 | 数据采集
 - 机器学习 | 训练
 - 机器学习 | 运行时
- 竞争
- 应用
 - 用于机器优化的神经网络
 - 异常检测
 - 传感融合/ 虚拟传感器

机器学习 (ML) 数据收集

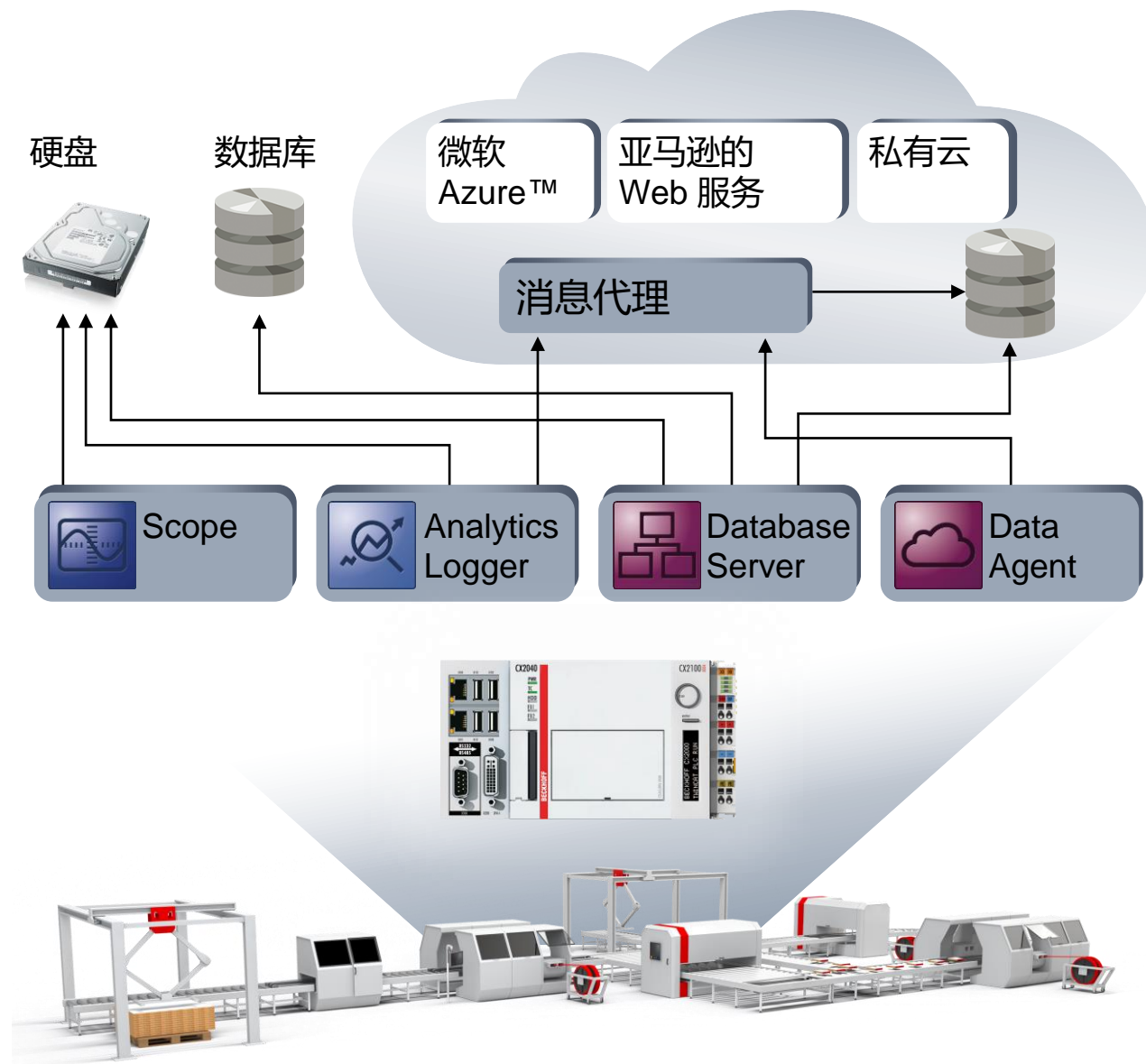
BECKHOFF



机器学习 (ML) 数据收集

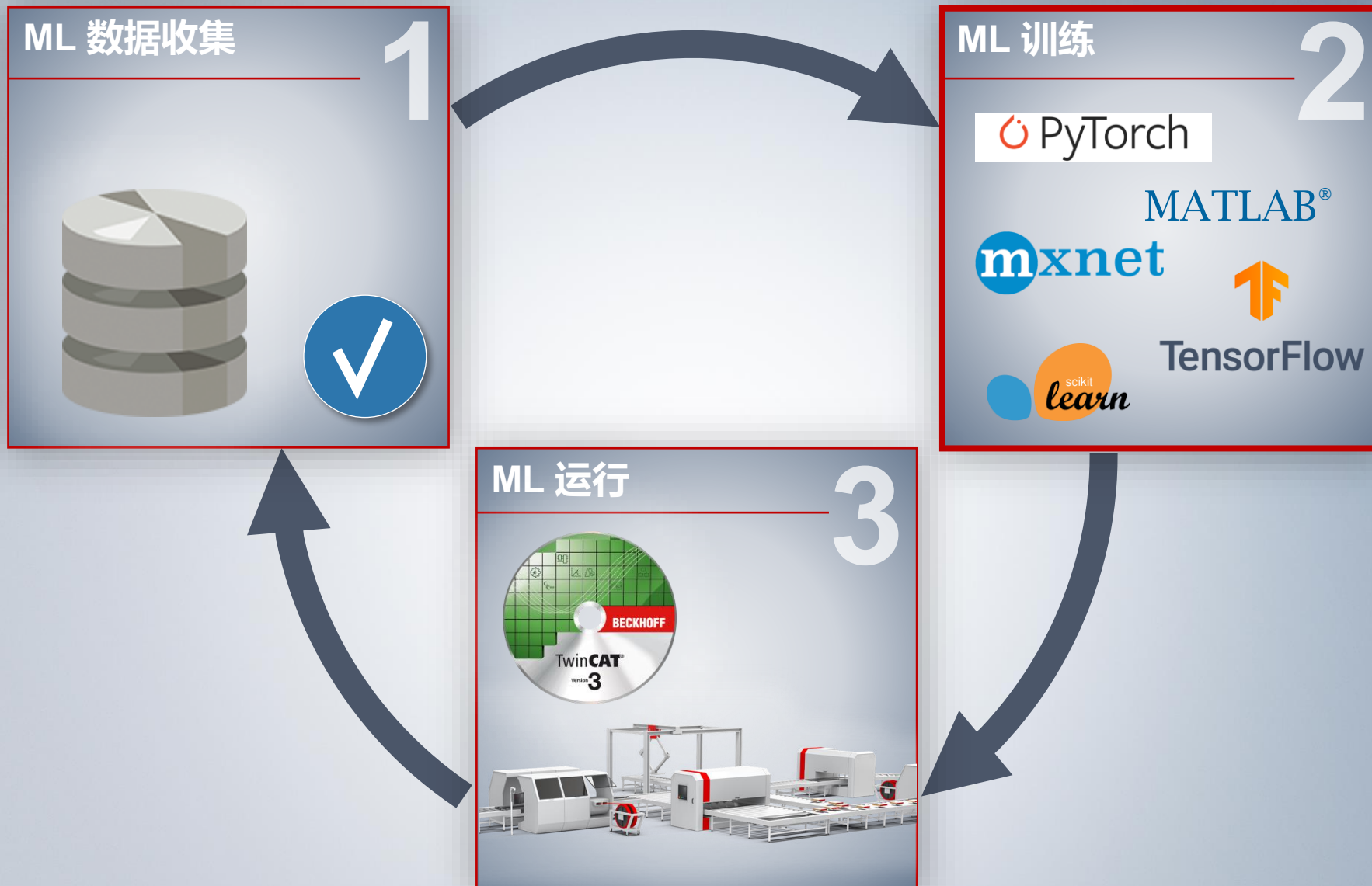
BECKHOFF

- 机器学习依赖于数据.
- 倍福常见产品的使用
 - TC3 Scope
 - TC3 Database Server
 - TC3 Data Agent
 - TC3 Analytics Logger
 - ...
- 产品选择取决于应用:
 - 长期的数据采集?
 - 访问机器的源代码?
 - 采样率和数据量?
 - ...



机器学习 (ML) 训练

BECKHOFF



机器学习 (ML) 第三方框架

BECKHOFF

存在各种各样的ML框架，其中大多数是**开源的**和**基于Python™**的。例如，可以商用的**MATLAB®**。

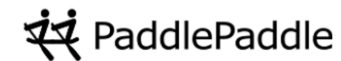
- 深度学习框架的示例:
 - TensorFlow (谷歌)
 - Keras (frontend for TensorFlow, CNTK, ...)
 - PyTorch (脸书)
 - MxNet (亚马逊)
 - CNTK (微软)
 - MATLAB® Deep Learning Toolbox (MathWorks公司)
- 具有经典ML工具的框架示例:
 - Python™ SciKit
 - MATLAB® Machine Learning Toolbox
 - ...



MATLAB®



TensorFlow



机器学习 训练 数据科学家在做什么？

BECKHOFF

使用框架处理数据的一般过程:

数据预处理

- 异常值, 转化, ...

建模

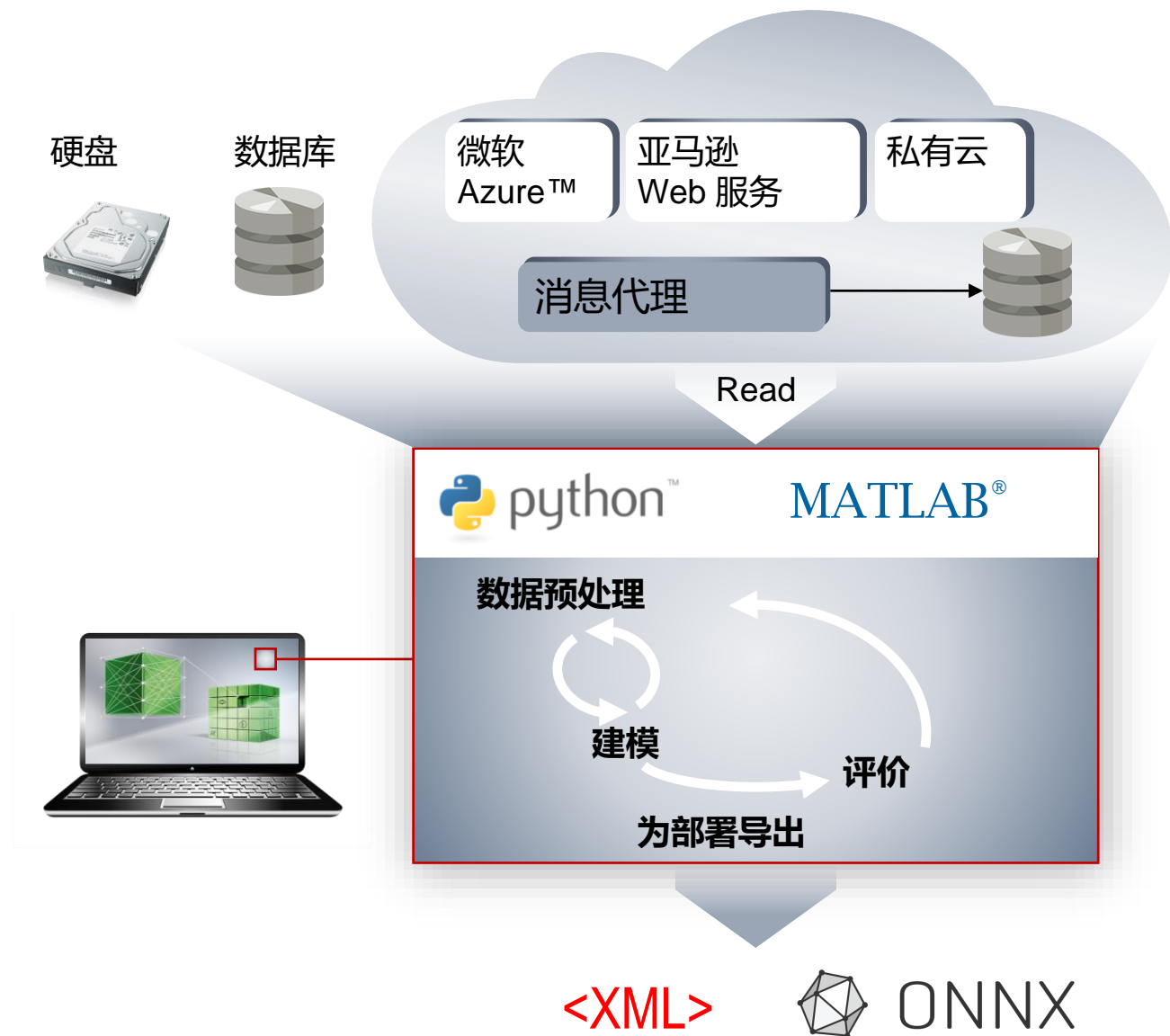
- 模型选择, 模型微调, 学习微调, ...

评价

- 基于未知数据的学习模型验证

部署

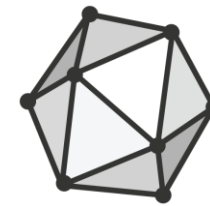
- 为TwinCAT3创建一个描述文件



ONNX基础

BECKHOFF

- 开放神经网络交换(简称ONNX)
- 神经网络的开放形式，由AWS， Facebook和Microsoft发起的机器学习模型
 - 最近，最重要的机器学习(ML)框架支持ONNX导入和导出...
 - 还存在ONNX支持的模型转换器
- 支持框架 (Frameworks)、运行时 (Runtimes)、转换器 (Converters)、编译器 (compilers) 的快速增长财团
- 然而
 - 机器学习框架专注于机器学习的不同方面
 - 并非在每个框架中都实现了ONNX规范的所有详细信息
 - Beckhoff还提供了自己的**特定于供应商的<XML>**导出描述文件



ONNX

Frameworks



Converters

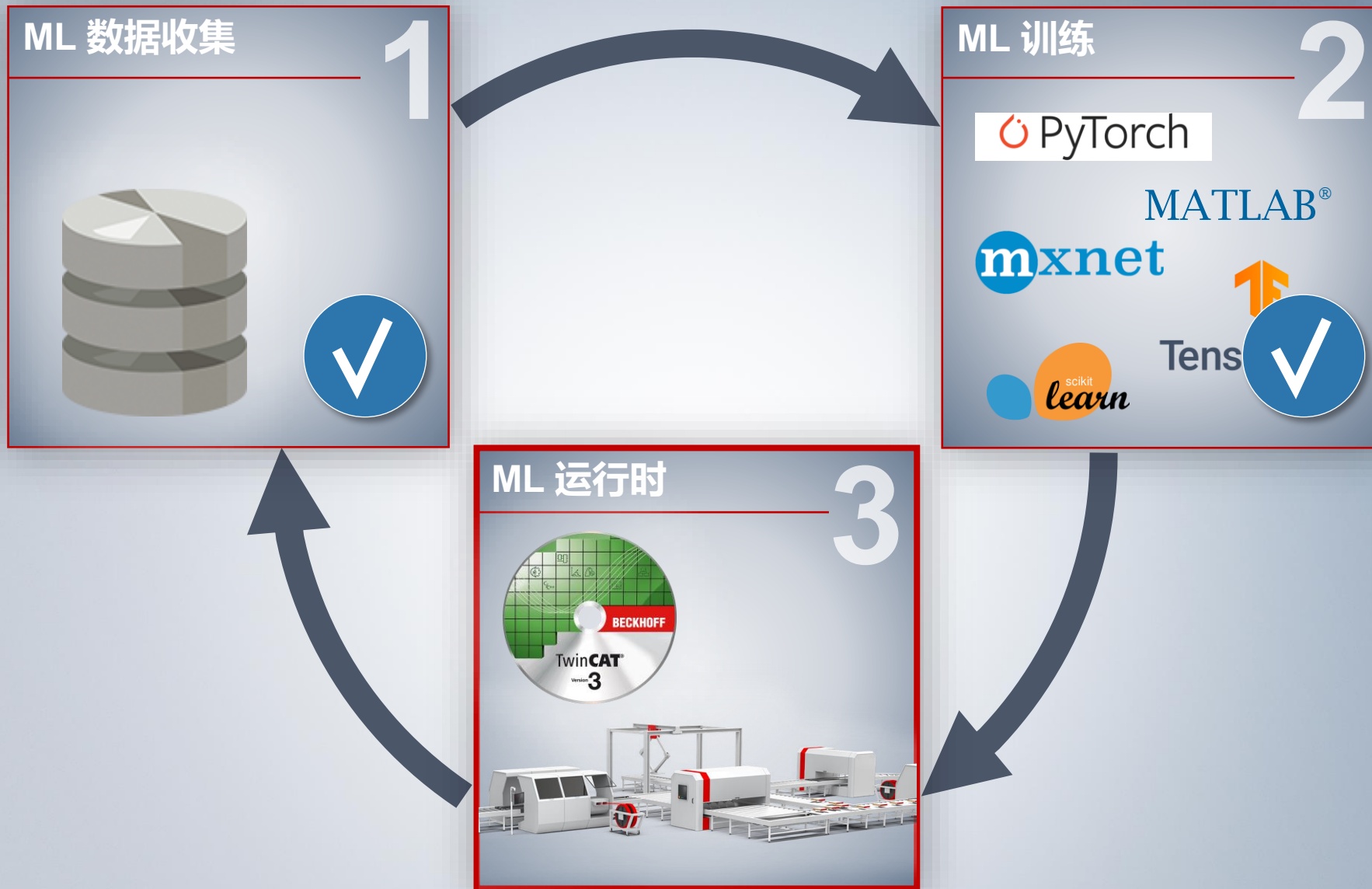


Runtimes



机器学习 (ML) 运行

BECKHOFF

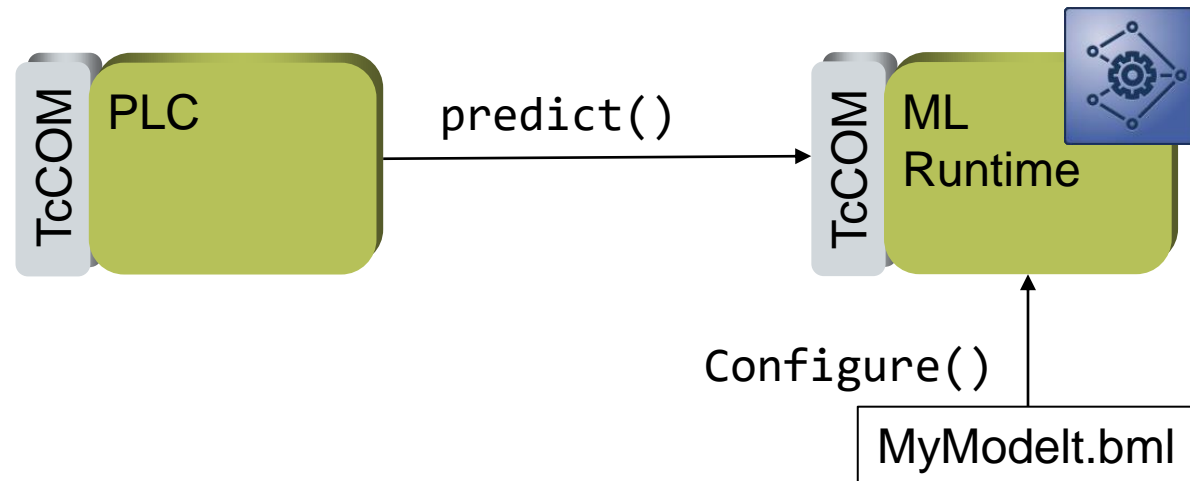


机器学习 (ML) 运行时 架构

BECKHOFF

TcCOM | ML Runtime

- 完全集成到 TwinCAT 3中
- 加载训练好的模型文件来配置其功能
 - 支持XML and BML 类型文件
- 在运行时重新配置 (更新机器学习(ML)模型)



用户模式| 文件转换器

- 把XML 和 ONNX 转化成 BML 或 XML
- BML 是Beckhoff特定的二进制形式
 - 可选的文件加密 (IP保护)



机器学习 (ML) 运行时 特征

BECKHOFF

TwinCAT中的标准TcCOM

- 机器学习模型的实时推理引擎
- PLC, C++ 和循环调用者接口
- 直接访问EtherCAT从站, 即执行器和传感器

支持ONNX

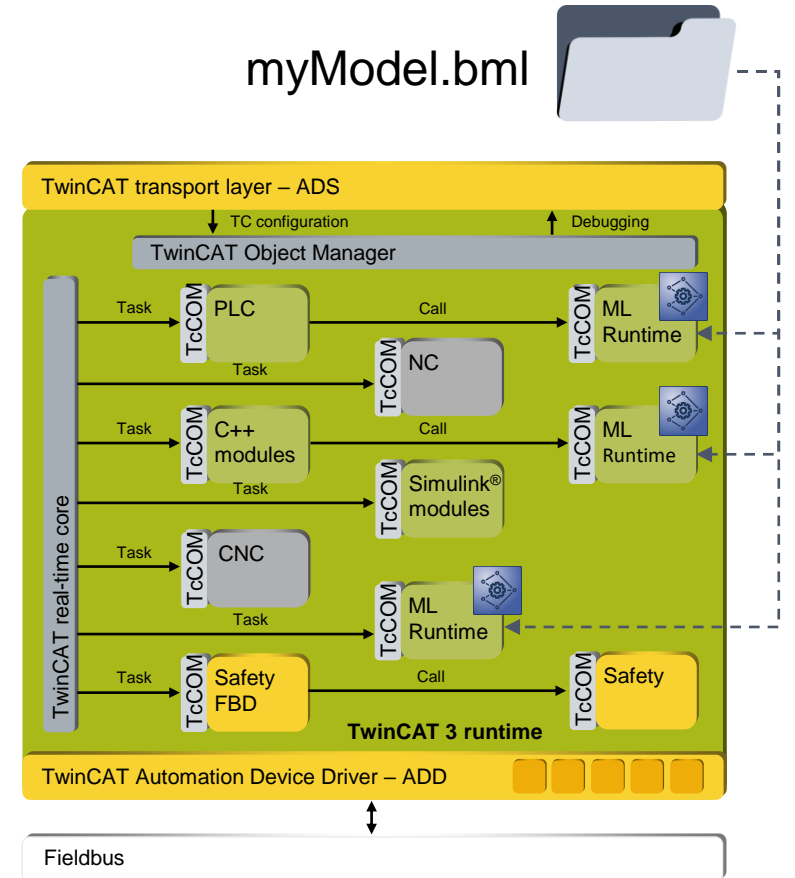
- 快速增长的机器学习 (ML) 标准化文件格式

非阻塞、并行

- 多个任务并行使用一个TcCOM对象

基于PC的控制可扩展的性能

- 要求: x86 CPU和64位操作系统
- 权值大小为10K的多层感知器 (MLP) 在一个亚毫秒的任务周期中多次调用



机器学习 (ML) 运行时 | PLC 样例代码

BECKHOFF

- Configure() 方法从文件系统加载训练好的模型
 - 获取有关输入和输出的数量信息
 - 获取有关的类型
 - 获取指向数据数组的指针
- 调研predict() 方法

```
1
2 // load new config file, get model and interface information
3 IF bLoadConfig THEN
4     // define file
5     fbPrediction.stPredictionParameter.MlModelFilename:='C:/temp/NeuralNetwork_Simple_2d_Identity_MLP_63_63.xml';
6
7     // load configuration
8     bConfigured := fbPrediction.Configure(bReconfigure:=FALSE);
9
10    // get interface information for loaded configuration
11    IF bConfigured THEN
12
13        hr:=fbPrediction.GetInputDim(nInDim); // get dimensions
14        hr:=fbPrediction.GetOutputDim(nOutDim);
15
16        hr:=fbPrediction.GetInputDataFormat(idtype); // get type
17        hr:=fbPrediction.GetOutputDataFormat(odtype);
18
19        hr:=fbPrediction.GetInputPointer(nInDim, idtype, ADR(nnInput), 0); // get pointer
20        hr:=fbPrediction.GetOutputPointer(nOutDim, odtype, ADR(nnOutput), 0);
21
22        // step out if no error
23        IF NOT hr THEN
24            bLoadConfig := FALSE;
25        END_IF
26    END_IF
27
28 END_IF
29
30 // call predict interface if configured
31 IF bConfigured THEN
32     hr:=fbPrediction.Predict(0,0);
33 END_IF
```

机器学习 (ML) ML 运行时 许可证

BECKHOFF

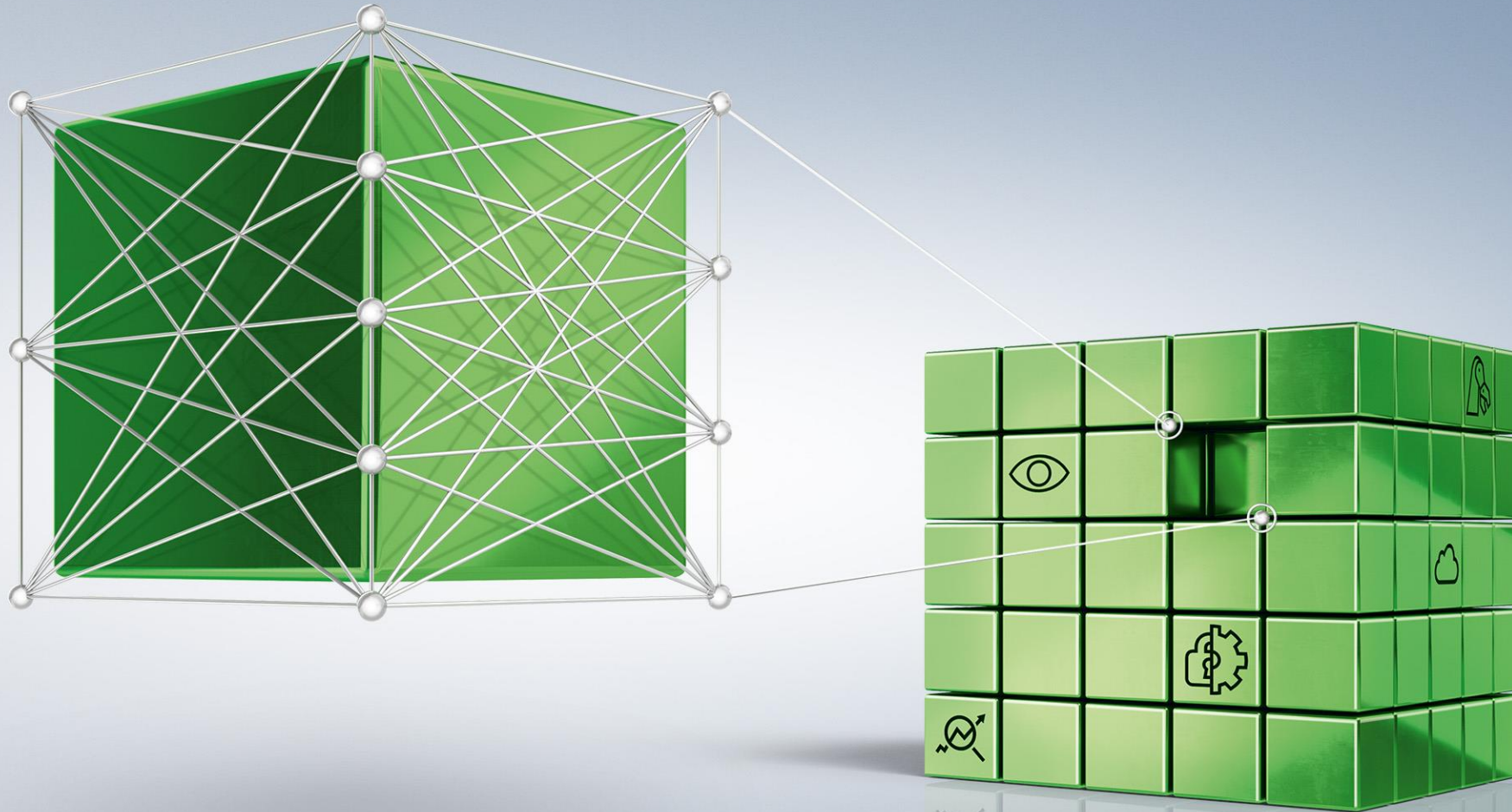
- **TF380x TC3 机器学习 (ML) 推理引擎**
- 经典机器学习模型的推论
 - 支持向量机(SVM), 主成分分析(PCA), k均值(k-means), ...
- **TF381x TC3 神经网络 (NN) 推理引擎**
 - 多层感知器 (MPL) ,卷积神经网络 (CNN) ,长短期记忆模型 (LSTM) , ...
- 许可证将基于实例计数 (类似于轴)
- 同时运行X个不同的机器学习模型的许可证, 要求实际同时使用的实例Y数小于许可数X
- 可用性
 - 计划2019第四季度发布第一版
 - 支持的模型 (SVM, MLP等) 矩阵将随着时间的推移而发展



- 机器学习快速入门
 - 措辞
 - 模型
 - 训练概念
- 将机器学习模型引入自动化
 - 机器学习 | 数据采集
 - 机器学习 | 训练
 - 机器学习 | 运行时
- 竞争
- **应用**
 - 用于机器优化的神经网络
 - 异常检测
 - 传感融合/ 虚拟传感器

应用：神经网络运动曲线

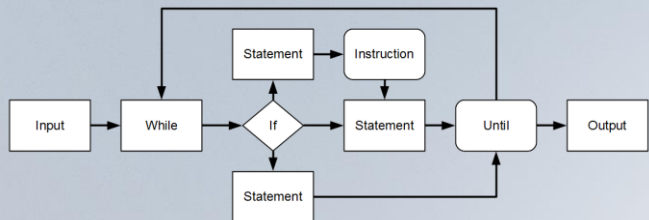
BECKHOFF



神经网络自动化 | 最优控制

BECKHOFF

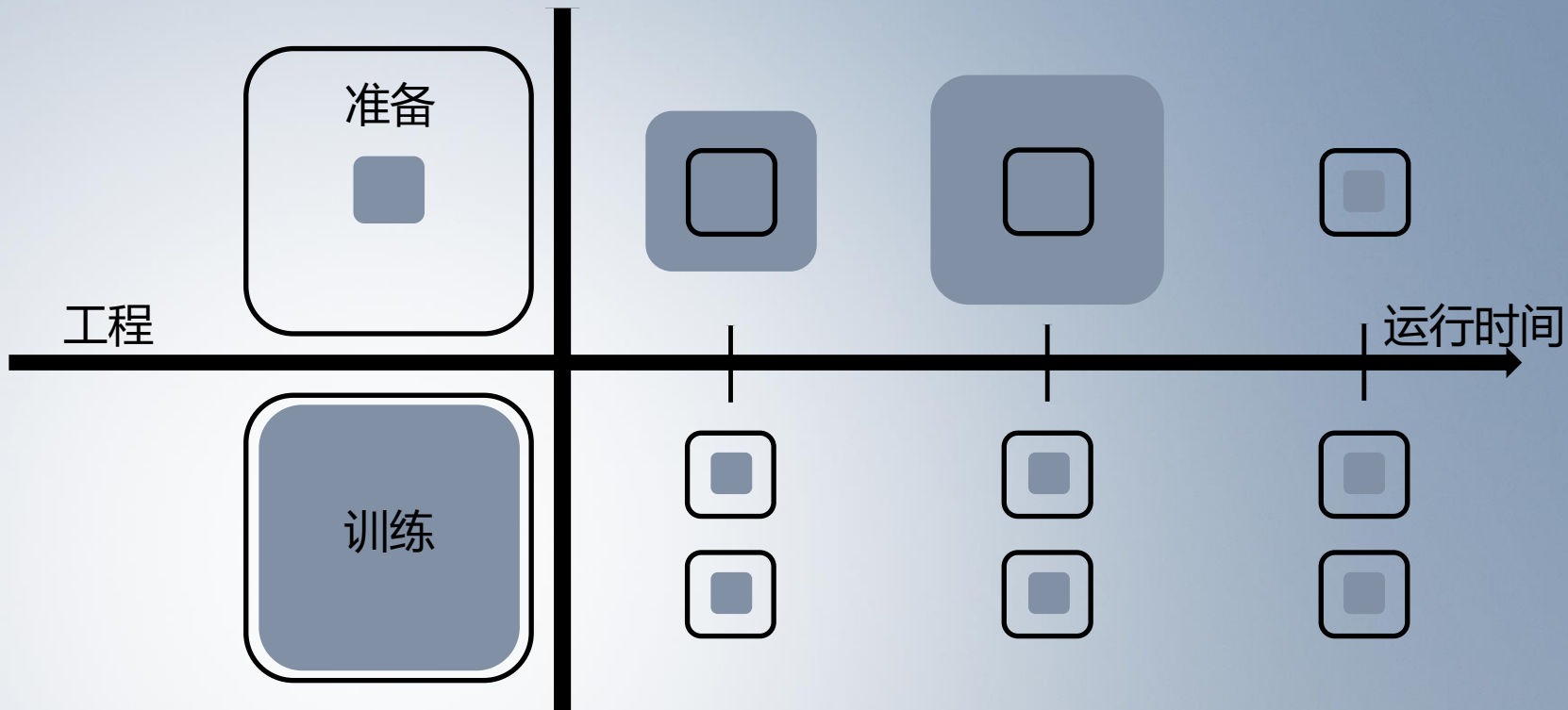
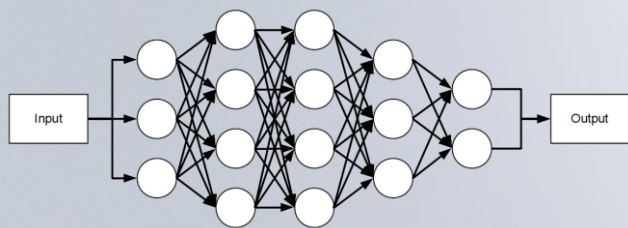
非线性优化



通用逼近定理 '89



机器学习



■ 计算负荷
□ 计算资源

神经网络运动曲线 基础

BECKHOFF

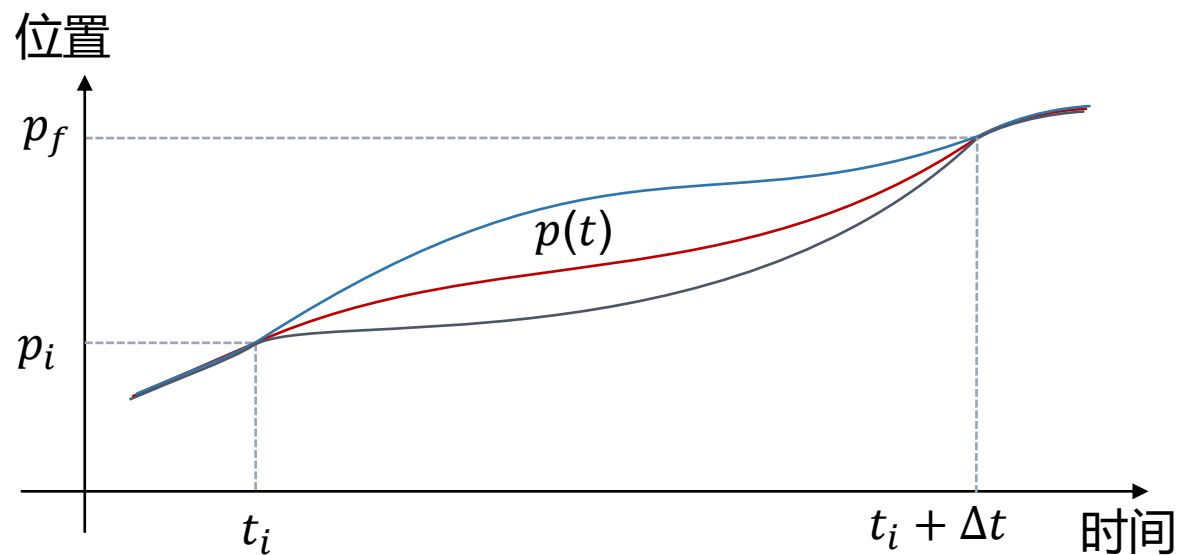
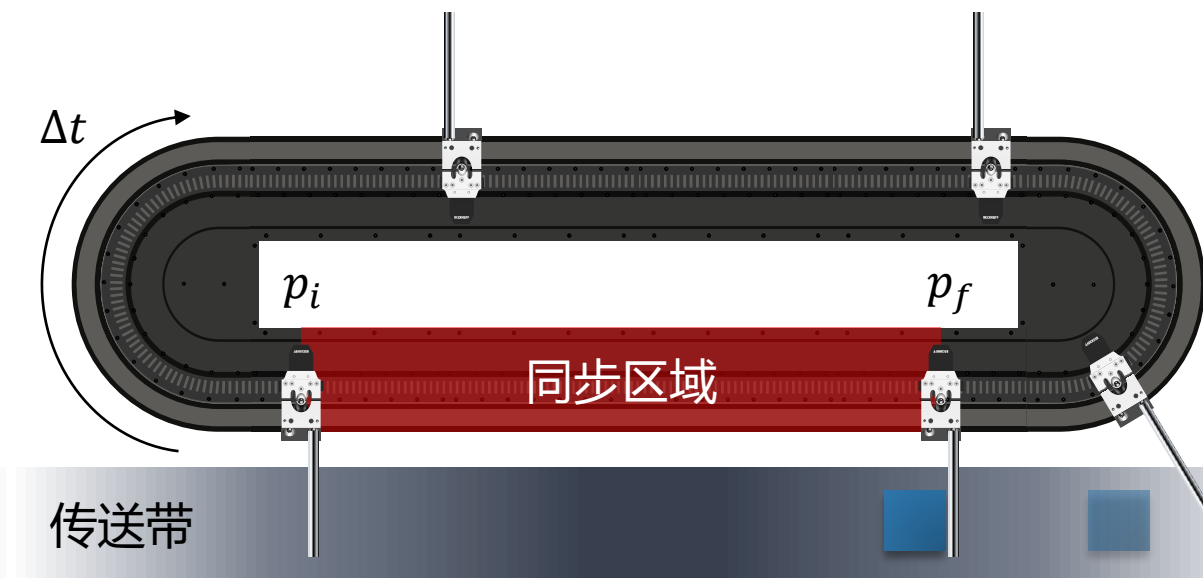
同步任务

- 从 p_i 到 p_f 找到最优的曲线

约束条件

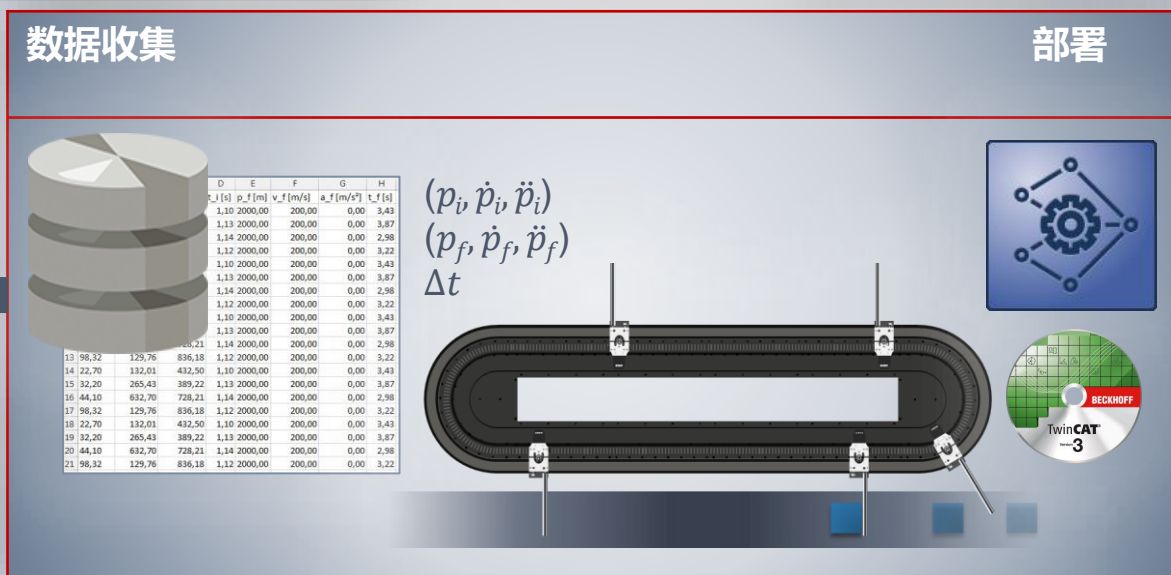
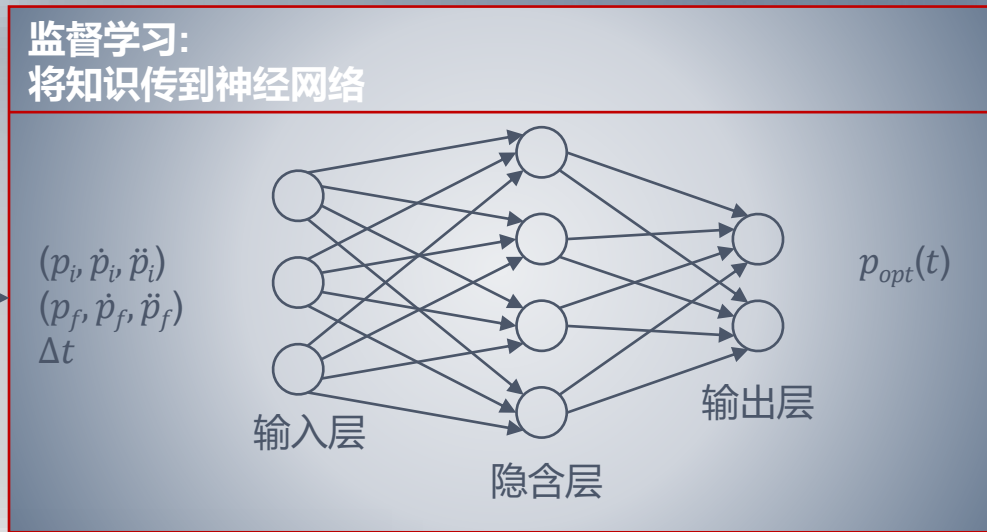
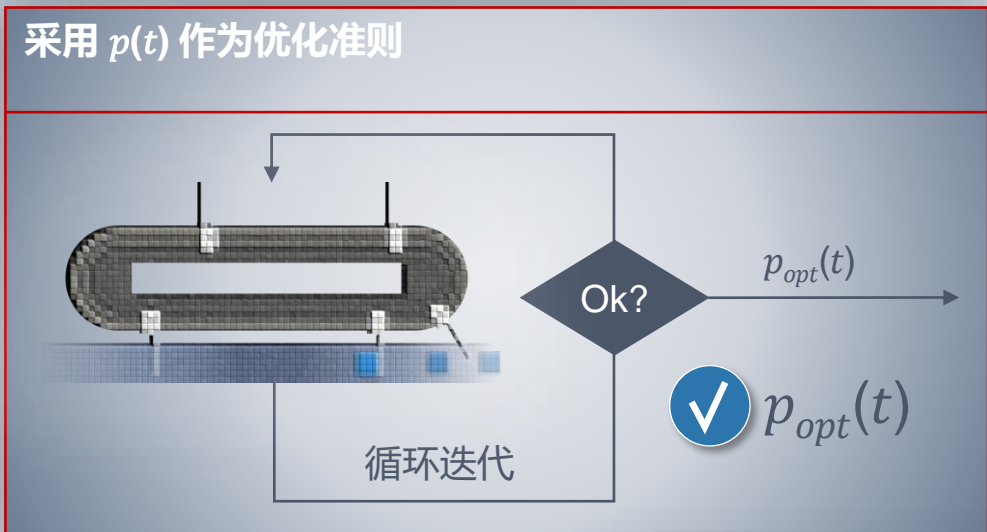
- 在时间 Δt 内到达 p_f
- 与定义的动力学 $(p_i, \dot{p}_i, \ddot{p}_i)$ 结束同步
- 与定义的动力学 $(p_f, \dot{p}_f, \ddot{p}_f)$ 同步
- $p(t)$ 在 p_i 和 p_f 出连续两次可微

多种可能的曲线– 选择哪一条曲线？



神经网络运动曲线 怎样做...?

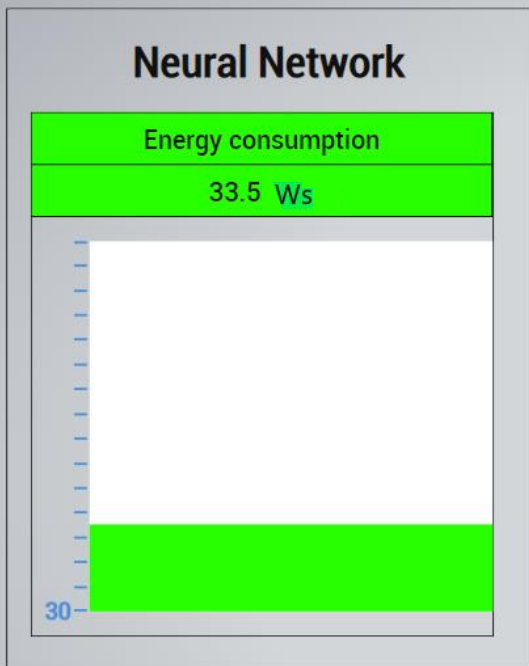
BECKHOFF



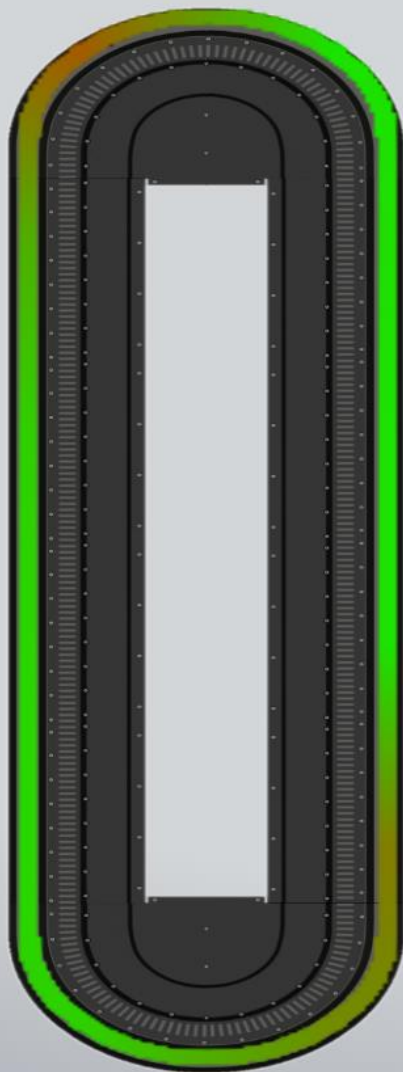
任务4
部署到TwinCAT上

神经网络运动曲线 结果

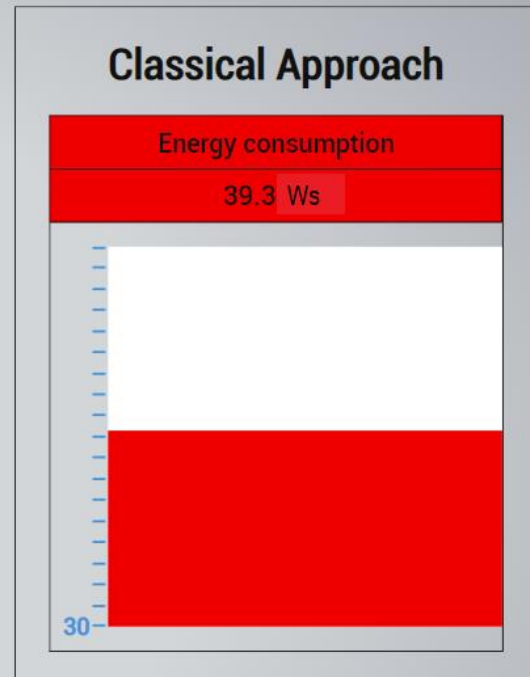
BECKHOFF




Neural Network



Classical Approach



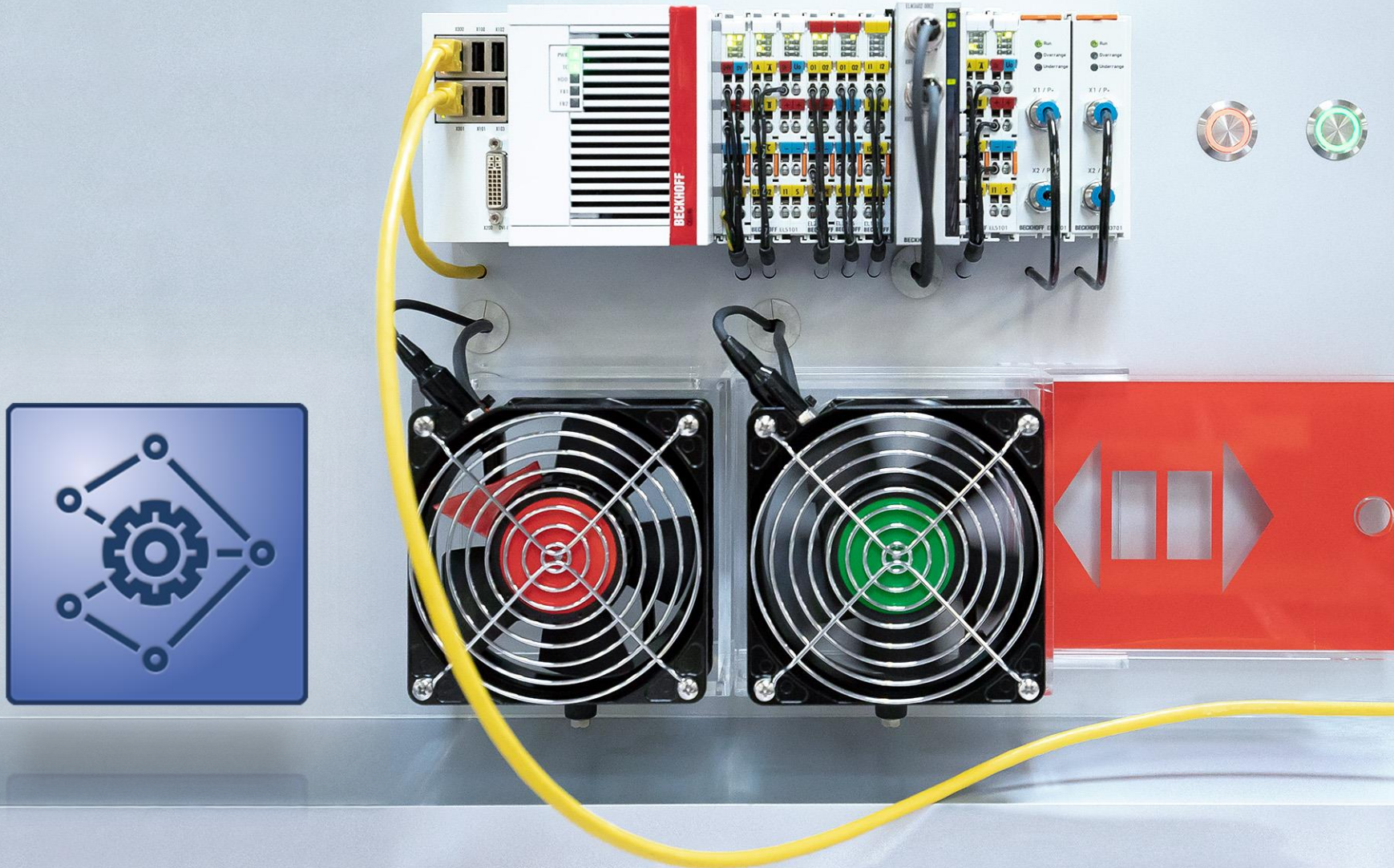
 High wearing

 Low wearing



风扇异常检测

BECKHOFF



风扇异常检测

TwinCAT机器学习工作站上的演示

BECKHOFF

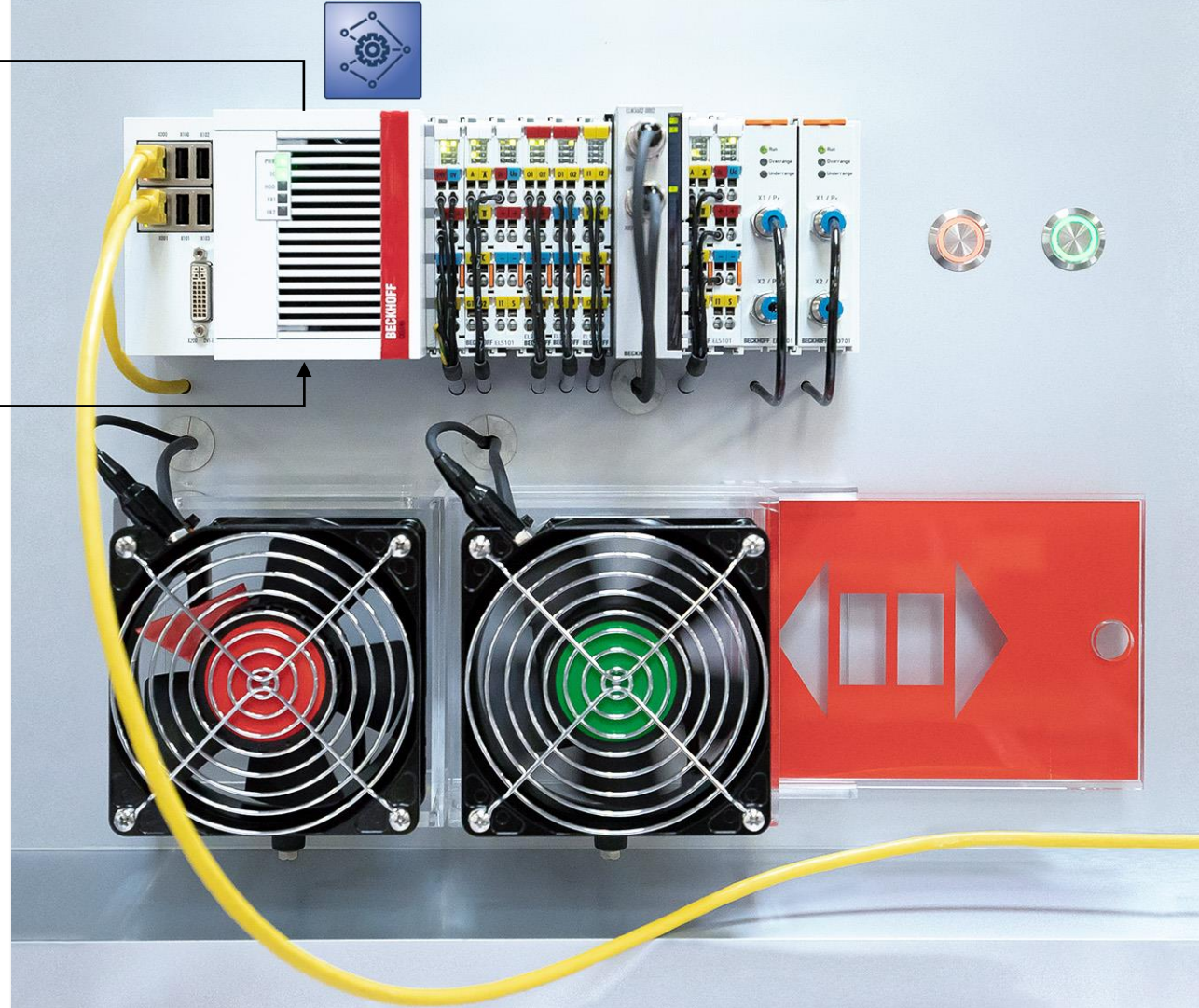
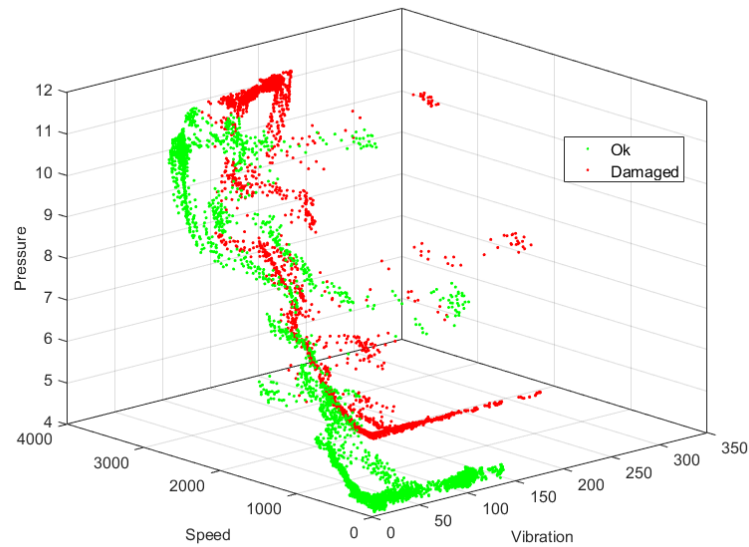
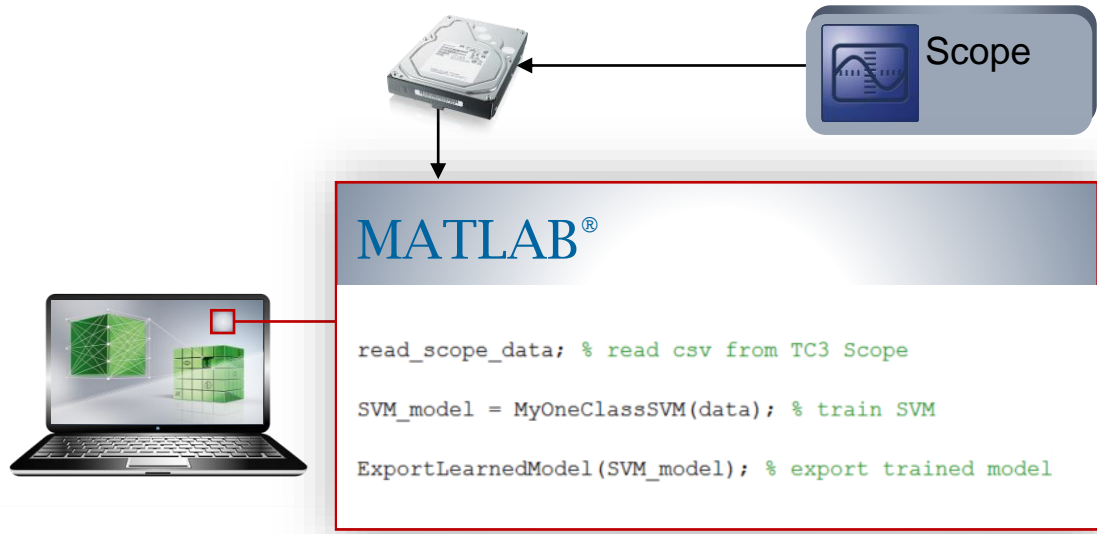
Anomaly detection 异常检测

- 判别新数据和给定训练数据集是类似还是非类似
- 怎样做...
 - 压力，振动和风扇速度定义了“OK”空间。
 - 只使用“OK”数据来训练
 - 使用one-class SVM 模型来训练
- 应用优势
 - 无需故障数据



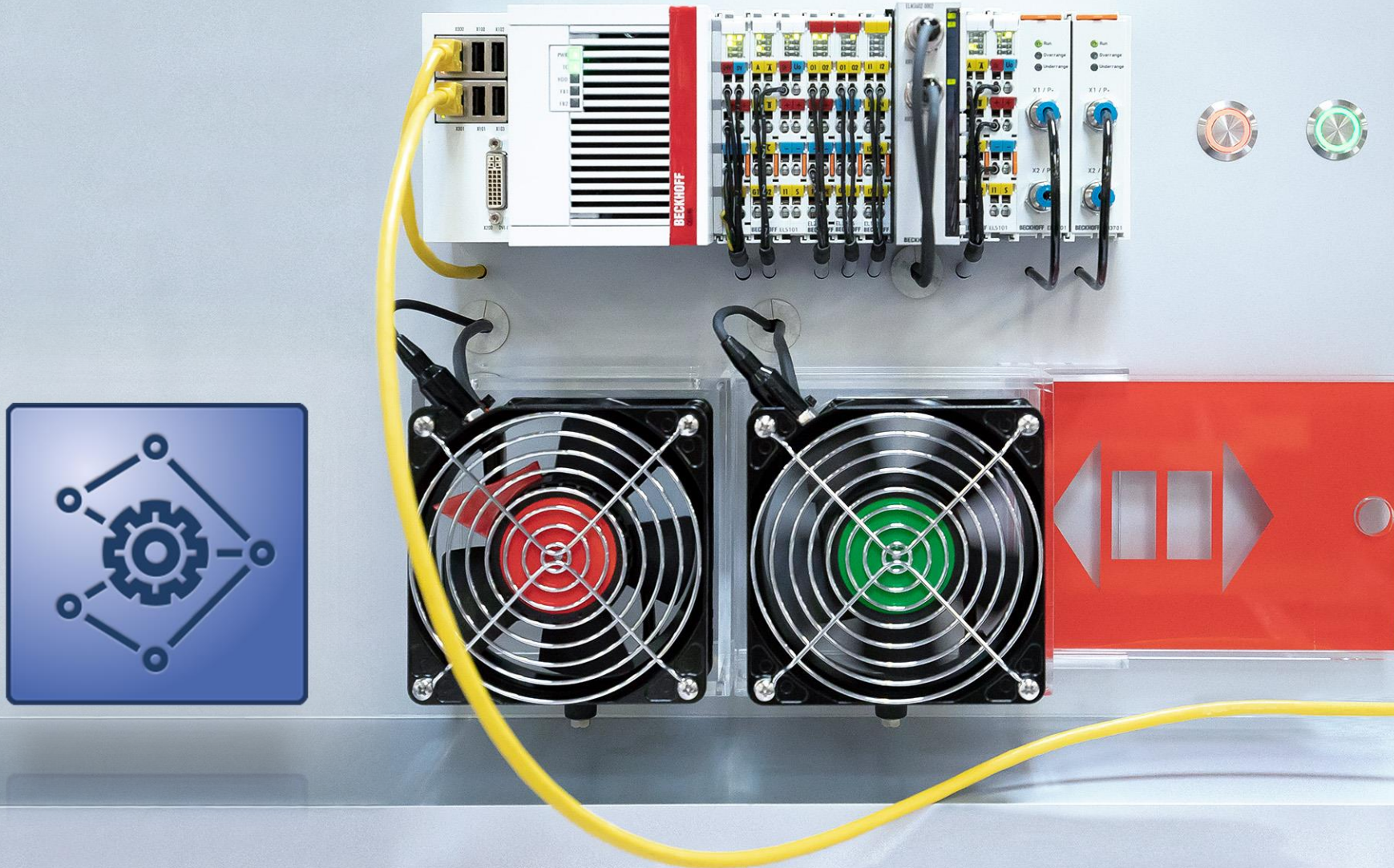
风扇异常检测

BECKHOFF



虚拟传感器的设计

BECKHOFF



虚拟传感器的设计

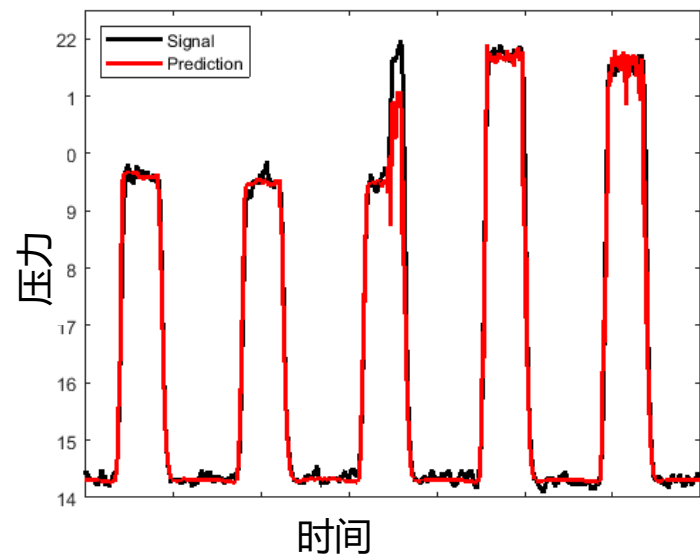
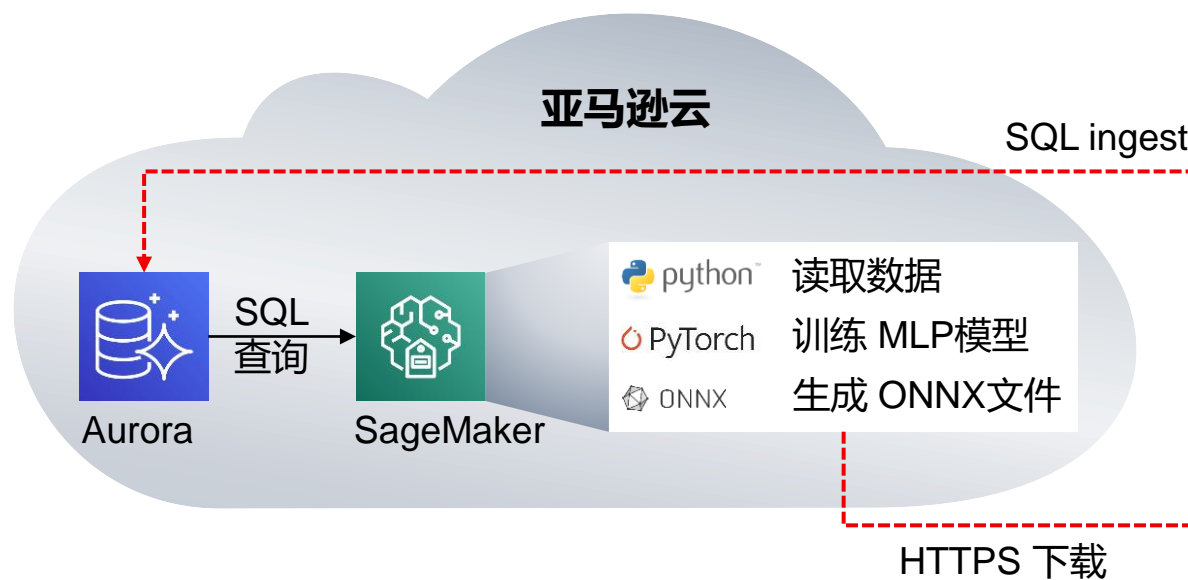
BECKHOFF

虚拟传感器

- 利用多个被测量者的可靠信息来评估感兴趣的变量
- 这里: 用振动和风扇速度来预测压力信号
- 怎样做...
 - 收集所有必要的信号（压力，振动，风扇速度），涵盖可能发生的所有情况
 - 在压力作为多层感知器（MLP）模型输出值的情况下监督学习
- 虚拟传感器的应用
 - 更换成本密集型传感器
 - 用冗余信息来监控（容易出错）被测量

虚拟传感器的设计

BECKHOFF



Contact

BECKHOFF

Beckhoff Automation GmbH & Co. KG

Headquarters
Huelshorstweg 20
33415 Verl
Germany

Phone: +49 5246 963-0
Fax: +49 5246 963-198
E-Mail: info@beckhoff.com
Web: www.beckhoff.com

© Beckhoff Automation GmbH & Co. KG

All images are protected by copyright. The use and transfer to third parties is not permitted.

Beckhoff®, TwinCAT®, EtherCAT®, EtherCAT P®, Safety over EtherCAT®, TwinSAFE®, XFC® and XTS® are registered trademarks of and licensed by Beckhoff Automation GmbH. Other designations used in this presentation may be trademarks whose use by third parties for their own purposes could violate the rights of the owners.

The information provided in this presentation contains merely general descriptions or characteristics of performance which in case of actual application do not always apply as described or which may change as a result of further development of the products. An obligation to provide the respective characteristics shall only exist if expressly agreed in the terms of contract.