

# 思科预测性维护解决方案 白皮书

## 1. 方案背景

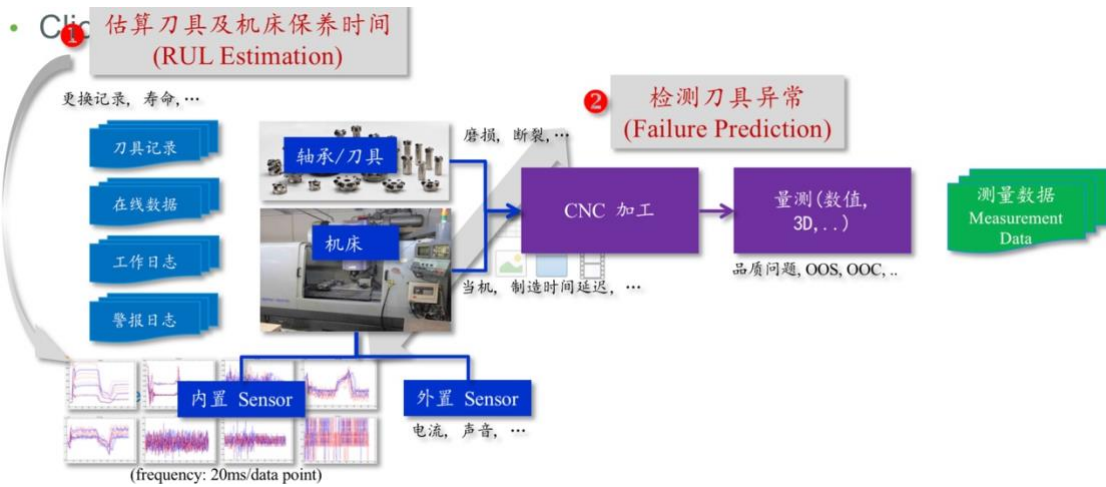
在生产线上，设备和零部件的故障/损耗是常见的一种工业损耗。在不可预测的情况下，这种损耗常常引起产线停工，影响生产效率。更有甚者，它会导致严重故障，给工业生产带来极大损失。为了减少这种不确定的零部件损耗及其带来的严重后果，工业界普遍的做法是对设备及其零部件做预防性维护 (PM – Preventive Maintenance)，即为了消除设备失效和非计划性生产中断的原因而策划的定期活动（基于时间的周期性检验和检修）。预防性维护虽然能在一定程度上提前排除故障，却也容易造成过度维护（维护频率过高）或缺乏维护（维护频率过低）。而且停工检测和维护，也会极大降低生产效率和提高生产成本。为了解决这个问题，业界提出了预测性维护 (PdM – Predictive Maintenance) 的概念。预测性维护 (PdM) 是通过对设备状况实施周期性或持续性监视来评价在役设备状况的一种方法或一套技术，用来预测应当进行维护的具体时间。

传统的预测性维护的方法主要是基于物理模型的，其基本思想是用基于物理性质（如摩擦系数、震动速度、转速、压力、温度、电流电压属性等参数）的固定的物理公式去拟合设备/零部件的健康状态或寿命。这种方法要求使用者有很深的工程物理背景知识，它常常采用复杂的物理公式，借助于过多的物理假设而忽略了数据本身的规律，因而通常预测准确度较低。基于这一现状，业界急需一套以单纯研究数据规律为基础的方法来改进预测性维护方法。

本方案就是思科与合作伙伴共同研发的，以机器学习/深度学习为基础的实现预测性维护的解决方案。他可以有效的提取设备/零部件物理特征，合理的标准化和归一化物理特征，利用基于时序数据的深度学习模型来准确的估算剩余寿命和预测故障。这套方案在大幅提升准确度的同时，也让预测性维护变得更通用、可持续、可扩展。

## 2. 方案简介

如下图中所示，预测性维护中常见的两类问题是如何准确估算设备/零部件的剩余寿命 (RUL – Remained Useful Life) 和准确预测设备/零部件未来发生故障 (Failure) 的几率。



为了达到准确预测的目的，本产品用以下关键技术来实现 RUL 估算和故障预测。

- 特征工程技术
  - 非监督式自我学习算法取有效片段
  - 时域特征（平均值、最大值等）
  - 频域特征（快速傅立叶变换 - FFT）
  - 时频域特征（小波变换 - Wavelet）
  - 相对相似度（Relative Similarity - RS）
- 数据建模
  - 机器学习 - 支持向量回归模型（SVR）
  - 深度学习 - 长短期记忆模型（LSTM）
  - 深度学习 - 卷积神经网络模型（CNN）
- 实时预测

- 通过 Cisco 雾计算系统启动在线服务进行零部件剩余寿命估算

### 3. 方案架构

本方案的实现，是基于横跨边缘计算、雾计算、云计算的三位一体的通用可扩展性系统架构。



- 边缘计算的主要工作是收集和传递零部件传感器数据，他会主要对接思科的重要边缘计算和雾计算工具 – Cisco Kinetic。
- 雾计算的主要工作是汇集数据，有效存储数据，实现对数据的分析和预测，用客户友好的图表结构展现数据。
- 云计算的重要工作是永久存储历史数据，利用云平台训练机器学习和深度学习模型。

### 4. 预测性维护流程

本方案所做的预测性维护，主要是基于对产线上大量的历史/实时数据进行收集、处理、分析、建模来实现的，它所遵循的预测性运维分析流程主要包括以下步骤：

- **数据获取**：通过思科 Kinetic 获取可用数据，如传感器信号、状态监控数据，及维护历史记录等。
- **数据预处理**：对数据进行过滤、整理，识别数据工况信息，如制程的变换。
- **特征提取**：用尽量多的统计量描述制造总体变化过程，剔除“非重要变量”，通过特征提取的方法得到衰退性特征。
- **特征甄选**：通过特征甄选算法，评估每一个算法的优势和劣势，并根据算法适用度进行排序。
- **模型训练**：利用历史健康状态数据，通过 Sophon 训练出健康模型，对零部件健康状态进行评估。
- **寿命预测**：将模型应用到雾端服务器，评估当前实时设备特征量与健康基线的拟合度，通过健康置信值来评估和量化衰退程度。必要时可以通过零部件的健康状况融合和同类，通过模式匹配及健康模式随时间的变化轨迹分析，来预测设备未来状态的变化。
- **数据储存**：模型输出的检测结果保存在雾端 Parstream 中。可以从该数据库中获取历史数据，提供历史数据查询 UI 展示，帮助设备维护人员制定决策。
- **数据检查**：完整的、永久历史数据存储于云端（TDC）或者数据中心（TDH）中，供设备维护人员进行二次检查、评估和统计分析
- **可视化**：设备健康模式的识别可以通过健康网格地图来表达，每一个区域对应一种故障模式。通过风险雷达图可以监控关键部件衰退分布，并进行维护优先级排序。
- **执行决策**：设备维护人员根据预测采取及时的维护措施，生产主管可以根据维修计划调整生产进度安排，采购和库存管理人员可以安排备品备件的采购。

### 5. 技术指标

针对剩余寿命估算（RUL estimation）和故障预测（failure prediction）两类典型场景，本方案都需要讨论定义相应的指标来确定客户案例的可实施性和可评测性。

### 5.1. 剩余寿命估算 ( RUL estimation )

常规的，我们用平均估算得分 ( MES – Mean Estimation Score ) > 0.45 与否来评估剩余寿命估算的准确度。

- 平均估算评分 =  $\frac{\text{测试集中所有样本的估算评分加和}}{\text{测试集中样本数}}$

- 即  $MES = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Score_i$

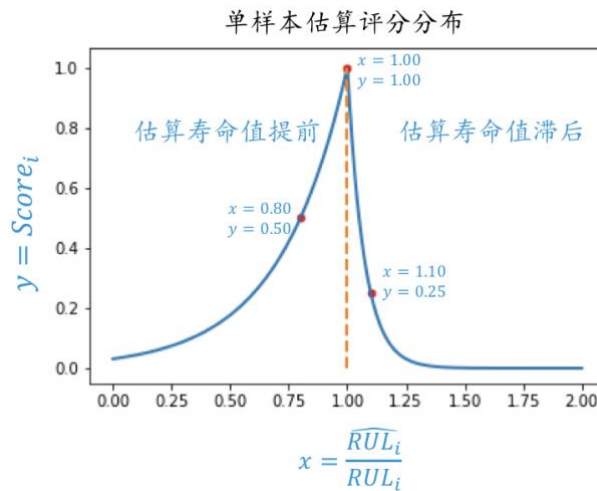
其中，单样本估算评分  $Score_i$  的计算定义如下

- $Score_i = \begin{cases} \exp(-\ln(0.5) \cdot (20Err_i)) & \text{if } Err_i \leq 0 \\ \exp(+\ln(0.5) \cdot (5Err_i)) & \text{if } Err_i > 0 \end{cases}$

- 估算错误率  $Err_i = \frac{RUL_i - \widehat{RUL}_i}{RUL_i} \times 100\%$

- 其中， $RUL_i$  为样本  $i$  的真实剩余寿命， $\widehat{RUL}_i$  为样本  $i$  的预测剩余寿命

显然，单样本估算评分的主要目的，是在相对鼓励缩短估算寿命值提前和相对惩罚估算寿命值滞后的基础上，根据估算寿命与实际寿命间的接近程度得到一个 ( 0, 1] 区间的标准化的评分。



注意：此指标基于目前数据集上的实验结果，实际值需要考虑场景复杂度、数据完备程度、训练及测试数据质量等多方因素，与需求方共同讨论决定。

### 5.2. 故障预测 ( failure prediction )

		预测值	
		$\hat{P}$	$\hat{N}$
真实值	P	True Positive	False Negative
	N	False Positive	True Negative

混淆矩阵/误差矩阵 (confusion matrix)

常规的，故障预测是一个二分类问题，基于如上二分类问题的误差矩阵，我们用准确率和漏检率来评估预测准确性。

- 准确率(accuracy)高于 85%

- 准确率 =  $\frac{\text{测试集中预测正确的样本数}}{\text{测试集中样本总数}}$

- 即  $accuracy = \frac{True\ Positive + True\ Negative}{P + N}$
- 漏检率(miss rate)低于 5%
- 漏检率 =  $\frac{\text{测试集中预测错误的正样本数}}{\text{测试集中样本总数}}$
- 即  $miss\ rate = \frac{False\ Negative}{P}$

注意：此指标基于目前数据集上的实验结果，实际值需要考虑场景复杂度、数据完备程度、训练及测试数据质量等多方因素，与需求方共同讨论决定。

## 6. 产品优势

本产品的主要优势是应用了思科及其合作伙伴所拥有的如下优秀技术

- 全面的 IoT 信号对接/处理能力 – Cisco Kinetic
- 通用的雾(Fog) 计算平台助力 – FCP
- 完备的信号特征提取 – unsupervised learning, FFT, Wavelet, Relative Similarity (RS)
- 最新的机器学习、深度学习的加持 – SVR, RNN, LSTM
- 集成强大的大数据平台 – TDH, Sophon, Slipstream 等

基于这些技术，本产品可以给用户带来如下回报

- 实现智能运维、节省定期设备检测成本
- 减少产线停工等问题，避免其带来的不必要经济损失
- 持续的设备数据收集、预测模型升级
- 提高生产效率

总体而言，本产品对整个产业届的影响主要体现在有效提升产能和降低成本、节约能源这两方面。




美洲总部  
Cisco Systems, Inc.  
加州圣荷西

亚太地区总部  
Cisco Systems (USA) Pte.Ltd.  
新加坡

欧洲总部  
Cisco Systems International BV  
荷兰阿姆斯特丹

思科在全球设有 200 多个办事处。地址、电话号码和传真号码均列在思科网站 [www.cisco.com/go/offices](http://www.cisco.com/go/offices) 中。

 思科和思科徽标是思科和/或其附属公司在美国和其他国家或地区的商标或注册商标。有关思科商标的列表，请访问此 URL：[www.cisco.com/go/trademarks](http://www.cisco.com/go/trademarks)。本文提及的第三方商标均归属其各自所有者。使用“合作伙伴”一词并不暗示思科和任何其他公司存在合伙关系。(1110R)