life.augmented

MEMS传感器助力智慧工业

意法半导体 微机电产品部

倪明

2020年11月

议程安排

1 MEMS 概述

2 工业应用及路标

3 加速计工作原理及关键参数

4 案例分享 用加速计测量振动

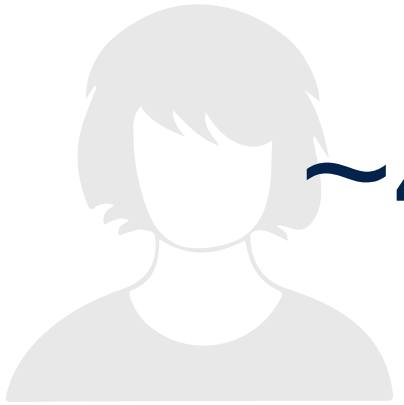
5 人工智能X因子

6 触手可及的资源

7 问答

life.augmented

ST MEMS概述



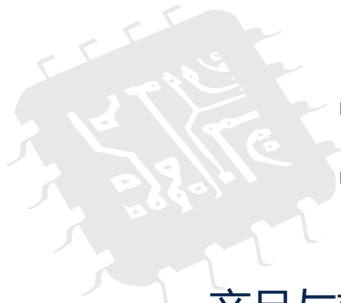
~400

员工



~145

专利 (Y18)



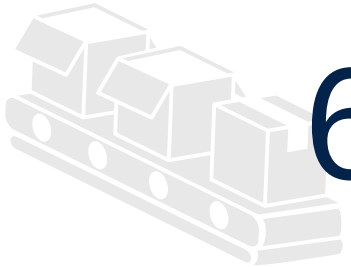
>150

产品与软件包



x2

工厂



6Mu/d

一流的服务

19B

传感器出货

life.augmented

生活中的ST传感器

个人电子产品

每2部手机中有1个ST MEMS产品



汽车

每3个汽车导航系统中有1个ST MEMS产品





工业

在防水和恶劣环境中气压传感器方面的领先地位

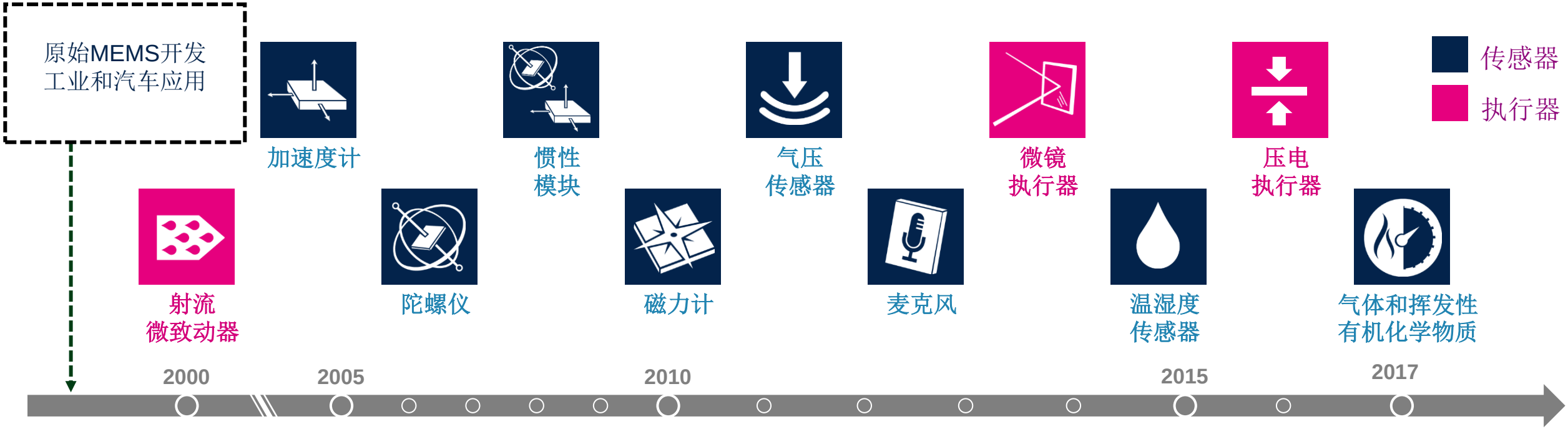


计算

每2个DRAM中有1个ST MEMS产品

life.augmented

ST MEMS的20年发展历程



大批量生产

消费电子

汽车

工业

life.augmented

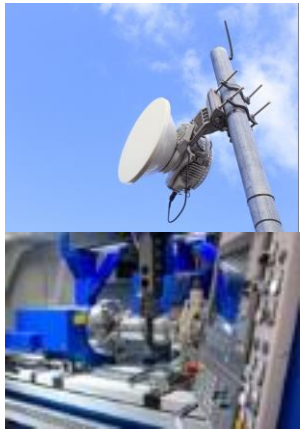
智慧工业中的MEMS传感器



life.augmented

智慧安装

应用



天线定向

智能安装



建筑结构健康监测





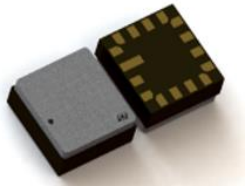
叉车水平测量

倾角计

- **高分辨率、高稳定性三轴数字倾斜传感器**
- 高稳定性
- ±2.5g量程
- 工作温度范围-40÷85°c
- 高端陶瓷封装

5x5x1.7 CLGA 16Lead

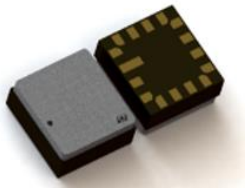
IIS3DHHC

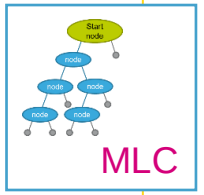


- **超高精度，超低功耗两轴数字倾斜传感器**
- 高分辨率，高精度 (<0.5° over Temp. and Time)
- ±0.5g to ±4g 量程可配置
- 操作温度范围-40÷105C°
- 高端陶瓷封装

5x5x1.7 CLGA 16Lead

IIS2ICLX





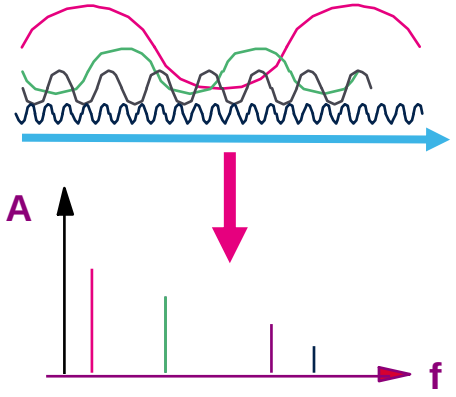
life.augmented

振动监测

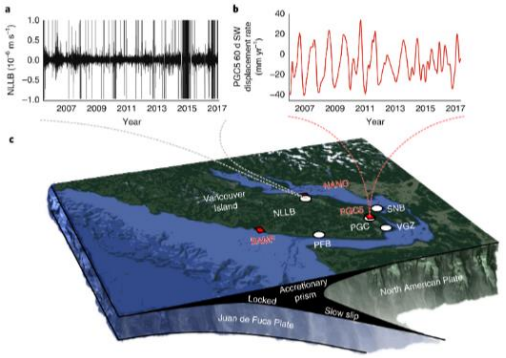
应用

机器状态监测





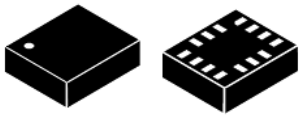
地震等灾害监测



振动传感器

- **带数字输出的三轴振动加速计**
- **超宽带宽: 最高可达 6.3KHz @ODR 26.7KHz**
- 最大±16g 量程
- 超低噪声
- 超宽工作温度范围 -40~105C°

IIS3DWB



2.5 x3x 0.83 mm LGA-14

- **模拟输出三轴振动加速计**
- 单宽最大1.8KHz
- 最大 ±6g 量程
- 工作温度范围 -40~85C°

LIS344ALH



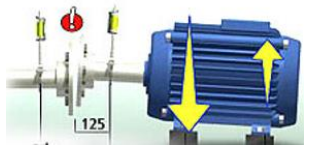
4 x4 x1.5 mm LGA-16

life.augmented

用于振动分析的MEMS传感器

设计您的工业IOT解决方案

应用案例













失衡 松度 未对准

滚柱轴承 传动装置 气蚀

轴承 变速箱 润滑

风扇轴承 排气阻塞 冷却故障

类型 缺陷/磨损

传感技术

声学

MP23ABS1

IMP34DT05

惯性

IIS3DWB

ISM330DLC/DHCX

IIS2DH

机械振动和声音分析（10-10KHz）

超声波分析

所需带宽

2Khz 3Khz 5Khz 10Khz >50Khz

life.augmented

工业10年传感器

6轴IMU

I3G4250D



4 x 4 x 1 mm

- 三轴数字陀螺仪
- 温度和时间范围内的高线性度和稳定性

ISM330DLC



2.5 x 3 x 0.86 mm

- 双通道输出
- 低功耗
- 智能特性
- 高带宽（3kHz）低噪声加速度计

- 电流控制HP：**0.75 mA**组合
- FS：**陀螺仪，高达2000 dps；加速度计，高达16 g**

ISM330DHCX



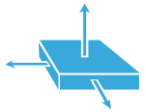
2.5 x 3 x 0.86 mm

- **增强型机器学习核心和FSM**
- **高精确度和稳定性：（BI：3° /hr)**
- **高带宽（3kHz）低噪声加速度计**

- 电流控制HP：**0.90 mA**陀螺仪；**1.2 mA**组合
- FS：**陀螺仪，高达4000 dps；加速度计，高达16 g**
- 扩展顶层：**-40° C +105° C**

加速度计

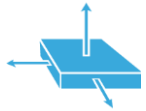
IIS2DH



2 x 2 x 1 mm

- 低功耗
- 高带宽（2 kHz）

IIS2DLPC



2 x 2 x 0.7 mm

- 超低功耗
- 多功能性：动态变化，从超低功耗变为高分辨率/高性能模式

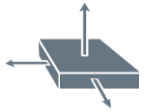
IIS3DWB



2.5 x 3 x 0.86 mm

- **三轴数字加速度计**
- **超高带宽和平坦带宽（>5Khz）**
- 低噪声（90 µg/√Hz）
- 低功耗（1.1mA）
- 扩展顶层：**-40° C +105° C**
- **振动监控的理想选择**

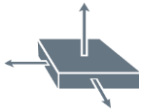
IIS328DQ



4 x 4 x 1.8 mm

- 扩展顶层：-40° C +105° C
- QFN封装

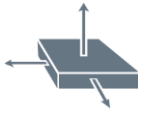
IIS3DHHC



5 x 5 x 1.7 mm

- **3轴数字测斜仪**
- 温度和时间范围内的高分辨率和稳定性
- 高端陶瓷封装

IIS2ICLX



5 x 5 x 1.7 mm

- **2轴数字测斜仪**
- **增强型机器学习核心和FSM**
- 超高分辨率和温度及时间稳定性
- 低功耗
- 扩展顶层：**-40° C +105° C**

- 电流控制：**0.42 mA**
- FS：**± 0.5/1.0/2.0/4.0**

life.augmented

Micro Electro Mechanical System 微机电系统
加速计工作原理 及主要参数

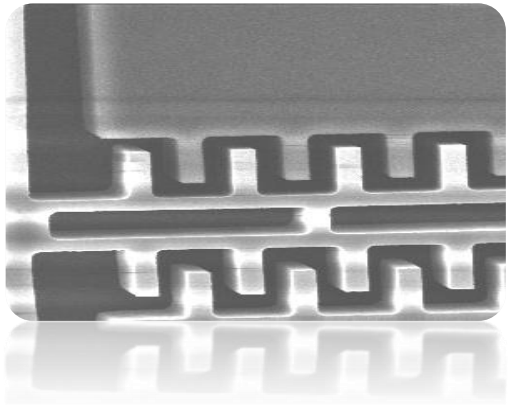


life.augmented

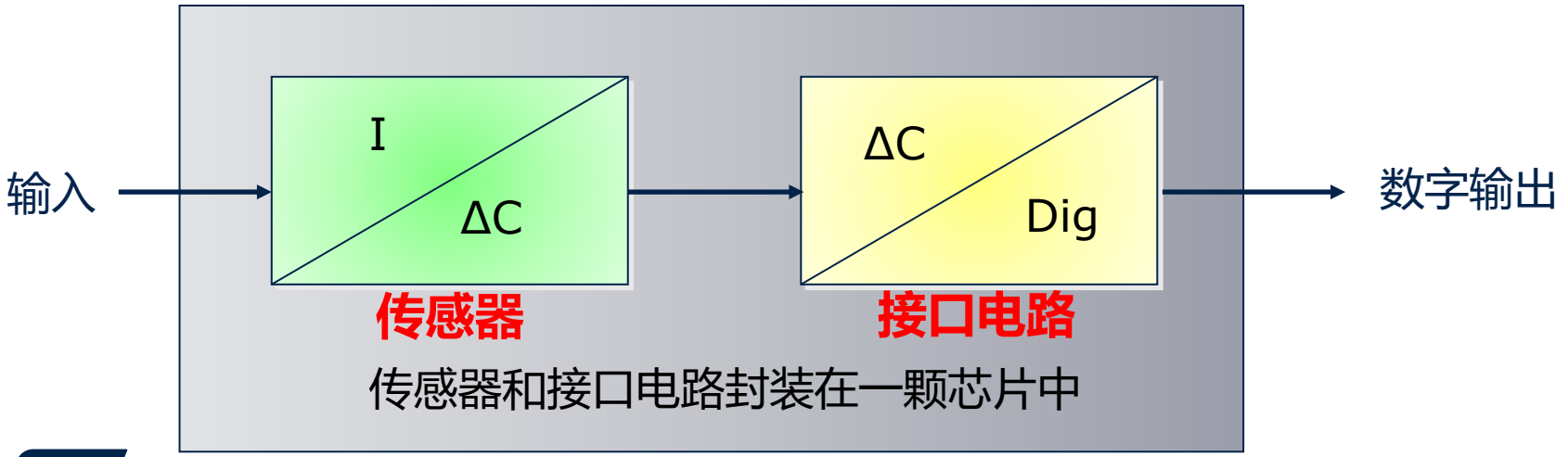
MEMS内部构造

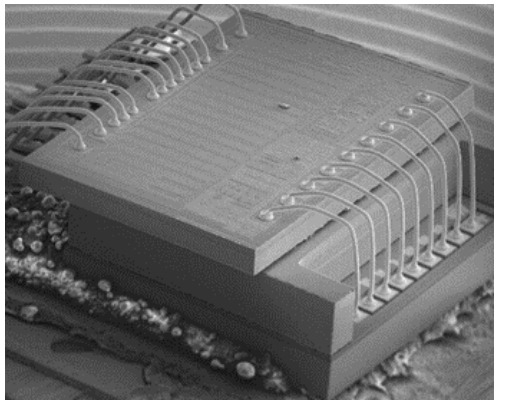
- MEMS 传感器
  - 加速度 / 旋转
  - 声波
  - 气压变化
  - 磁场变化

电容/ 电阻变化



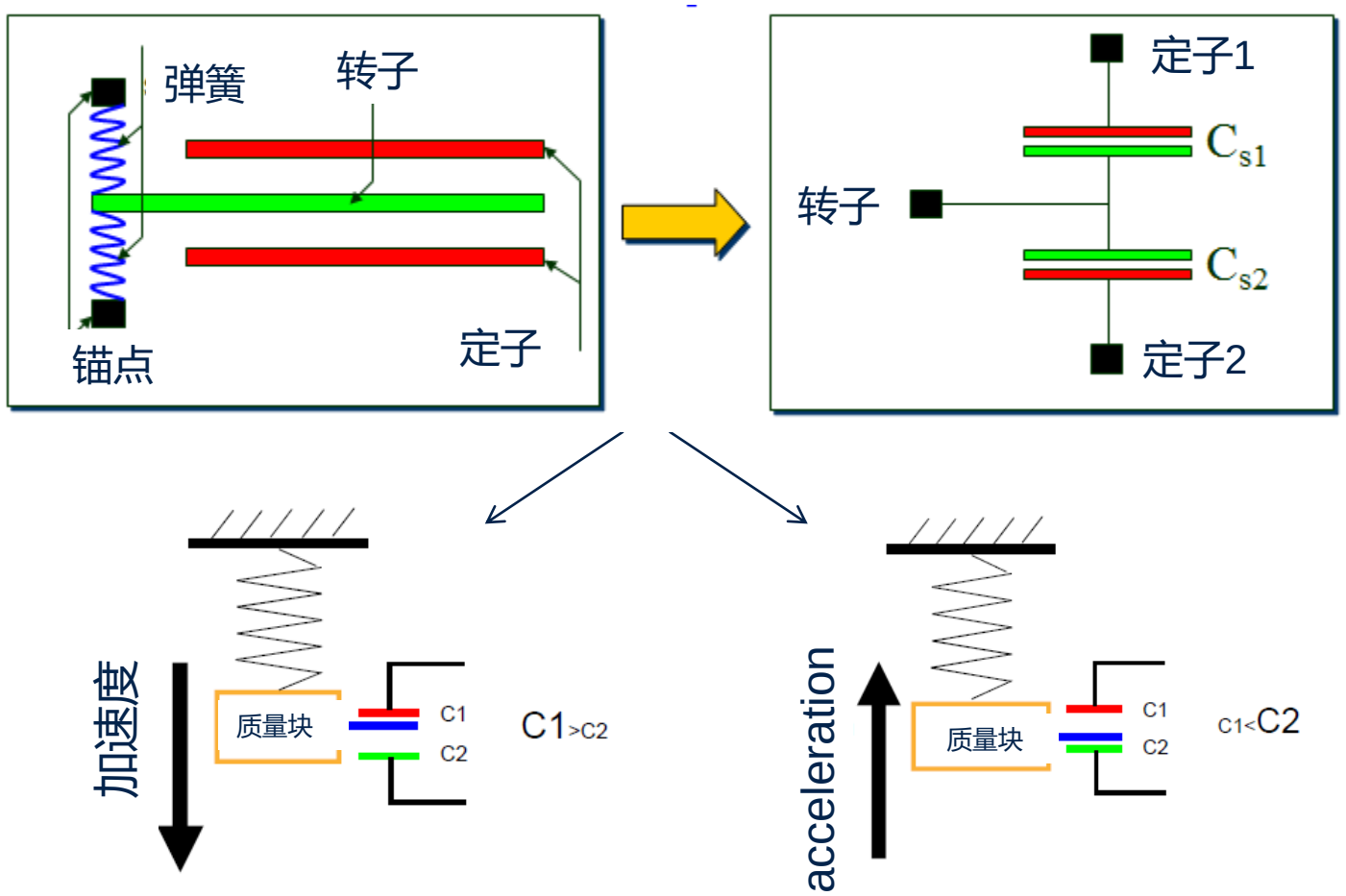
- 接口电路: 电容/ 电阻变化 → 数字信号输出





life.augmented

MEMS加速计的工作原理



- **传感器**: 加速度 ⇒⇒ 差分电容的变化
- **接口电路**: 差分电容变化 ⇒⇒ 输出信号
- ASIC接口电路可以感知最小 1aF (10^{-18} F) 电容变化.

life.augmented

加速计的关键参数

- Full Scale (FS) 量程范围, 1g=9.8m/s2
- Sensitivity (So) 灵敏度
- Noise Density (An) 噪声密度
- Bandwidth (BW) 带宽
- Output Data Rate (ODR) 数据输出频率

例如 FS= 8g, 对应的So= 0.244 mg/LSB
当传感器输出裸数据为100 LSB, 则实际加速度应为:
100 LSB x 0.244 mg/LSB = 24.4 mg

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.(1)	Typ.(2)	Max.(1)	Unit
FS	Linear acceleration measurement range			±2		g
				±4		
				±8		
				±16		
So	Linear acceleration sensitivity(3)	@FS = ±2 g	-2%	0.061	+2%	mg/LSB
		@FS = ±4 g		0.122		
		@FS = ±8 g		0.244		
		@FS = ±16 g		0.488		
SoDr	Linear acceleration sensitivity change vs. temperature(4)	from -40°C to +105°C delta from T = +25°C		±1	±2	%
TyOff	Linear acceleration zero-g level offset accuracy(5)	T = 25 °C	-180	±60	+180	mg
TCOff	Linear acceleration zero-g level change vs. temperature(4)			±1		mg/°C
An	Acceleration noise density 3 axes enabled(6)	X-axis		75	110	µg/√Hz
		Y-axis		75	110	
		Z-axis		110	190	
	Acceleration noise density only 1 axis enabled(6)	X-axis		60	90	
		Y-axis		60	90	
		Z-axis		80	130	
BW	Signal bandwidth	±3 dB point	5	6.3		kHz
ODR	Linear acceleration output data rate			26.667		kHz

案例分享 用加速计测量振动

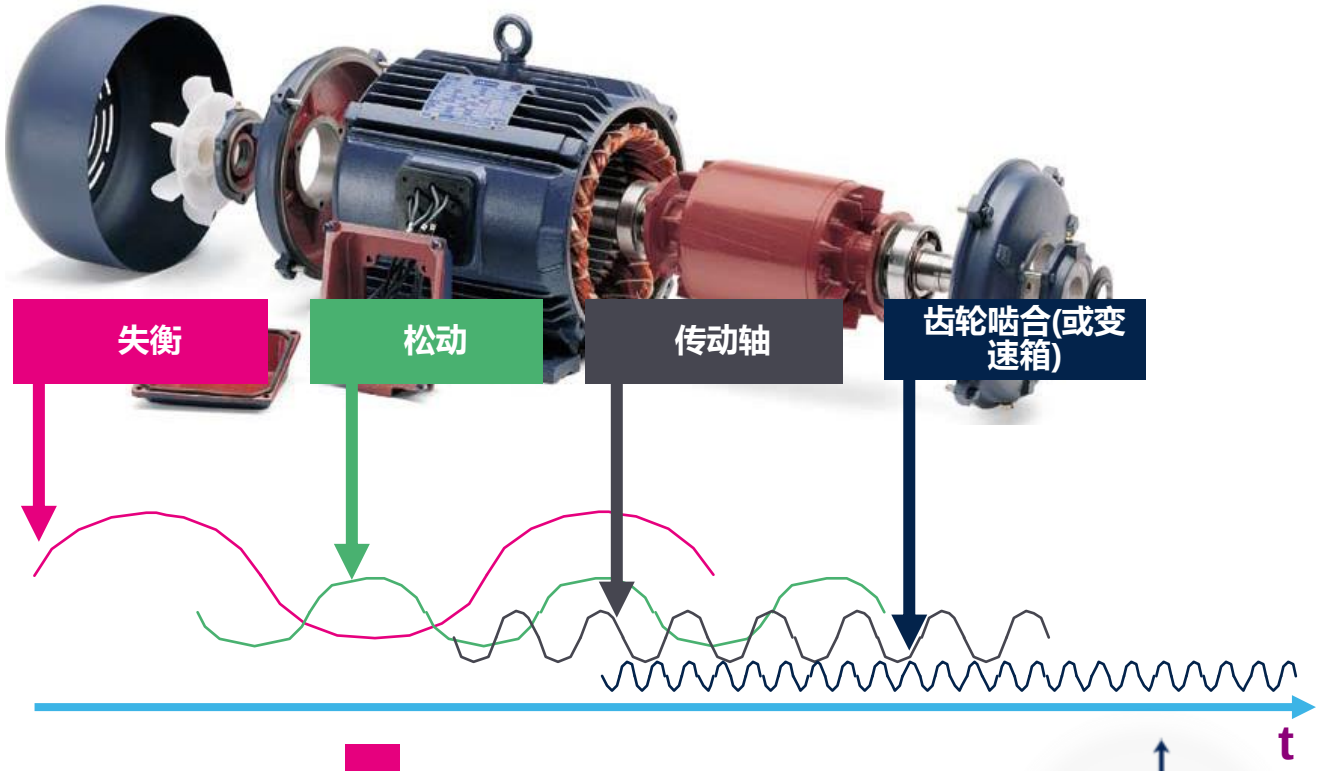


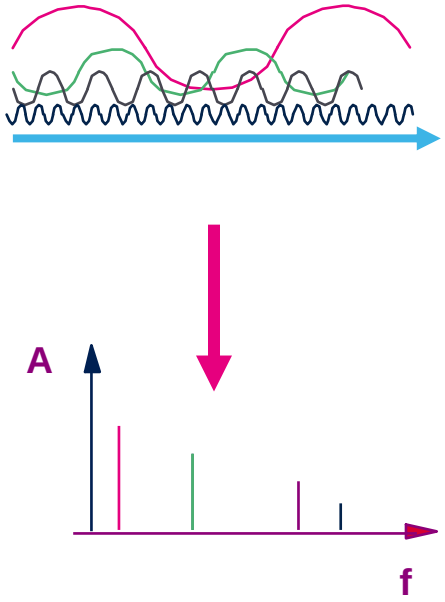
life.augmented

电机控制上的使用案例
通过加速度计进行振动监测

工业4.0
从预防性维护到预测性维护

当我们考虑机械振动时，一个典型的架构……





所有这些都是MCU来处理:
- 从超低功耗到高性能的MCUs



所有这些数据都可以连通:
- 无线连接
  - Wi-Fi, SubGHz, 蓝牙
- 有线连接
  - IO-Link, Fieldbus i.e. 工业以太网
- 连接到云



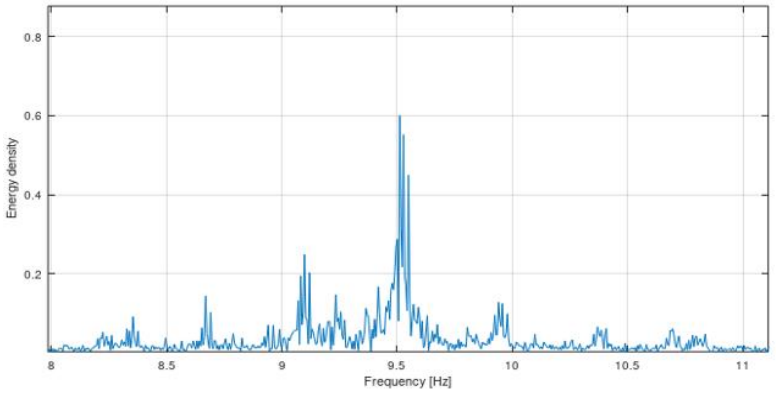
所有这些都是由MEMS加速度计监控的

life.augmented

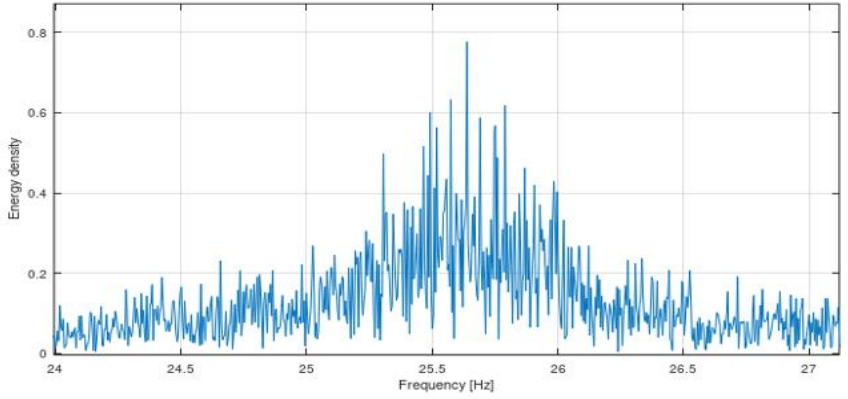
实际案例 – 用加速计测量振动频率

使用Sensortile.Box检测某空气净化器在不同工作模式下的振动频率:

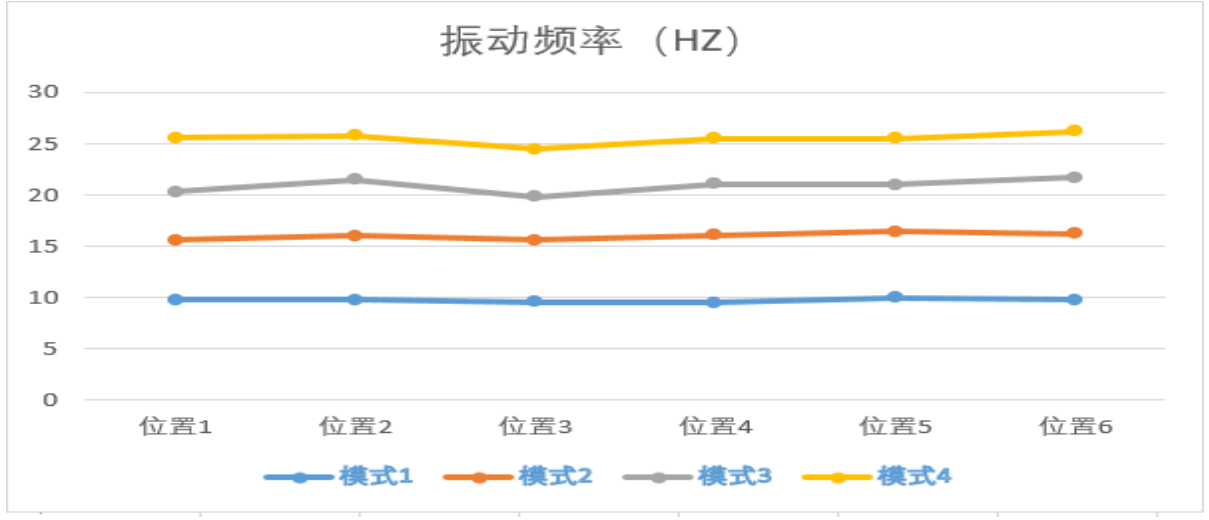
- 该空气净化器支持4个工作模式，将Sensortile.Box固定在净化器的不同部位，实时获取不同工作模式时加速计数据，使用FFT计算设备振动频率。
- 通过测试结果可以看出，净化器工作在不同模式下其振动频率是不同的，而sensor的摆放位置对结果影响有限。



模式1 FFT



模式4 FFT



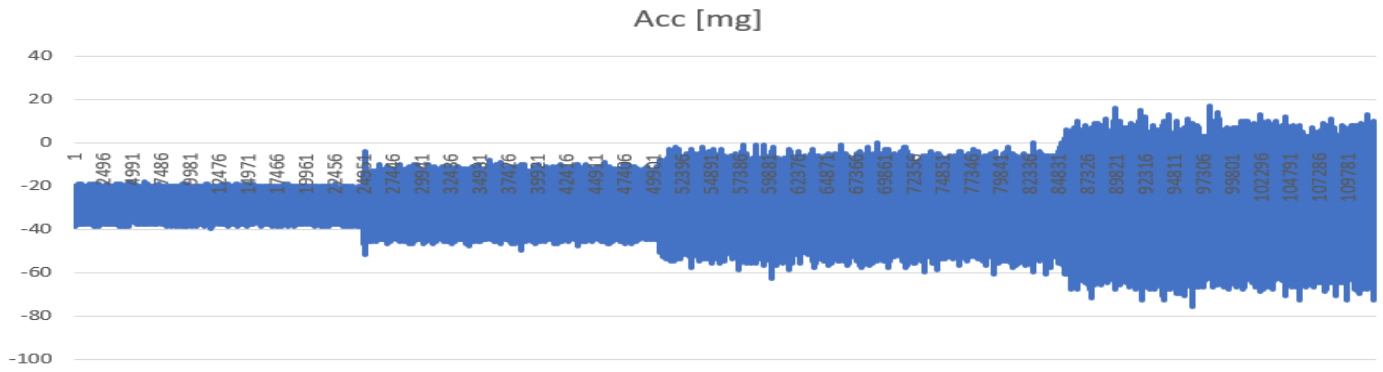


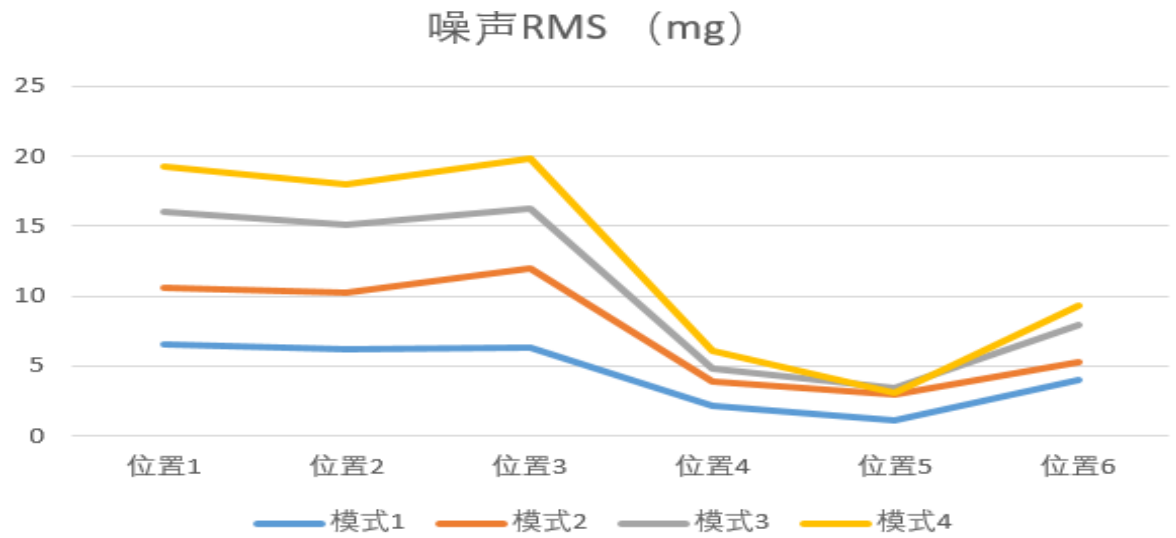
life.augmented

实际案例 – 用加速计测量振动噪声

使用Sensortile.Box检测某空气净化器在不同工作模式下的振动噪声:

- 该空气净化器支持4个工作模式，将Sensortile.Box固定在净化器的不同部位，实时获取不同工作模式时加速计数据，并计算噪声。
- 通过测试结果可以看出，sensor摆放在不同位置时，噪声水平是不一样的。因而，在实际使用时需要考虑摆放位置。







life.augmented

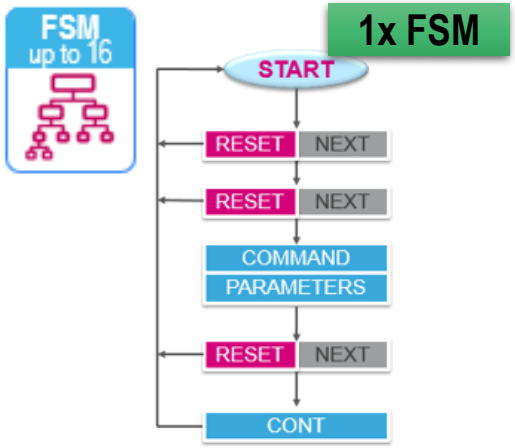
人工智能 X 因子:

机器学习内核(MLC) & 有限状态机 (FSM)



ST 创新MEMS 的特性

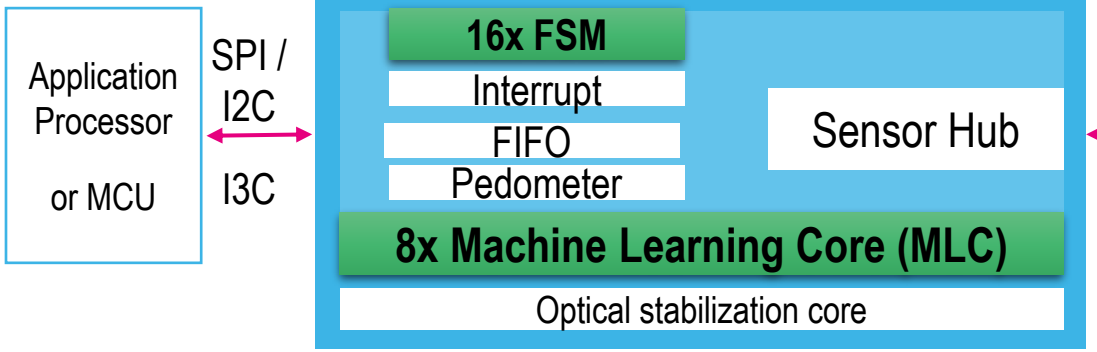
嵌入式功能-有限状态机
Finite State Machine



人工智能-机器学习内核
Machine Learning Core









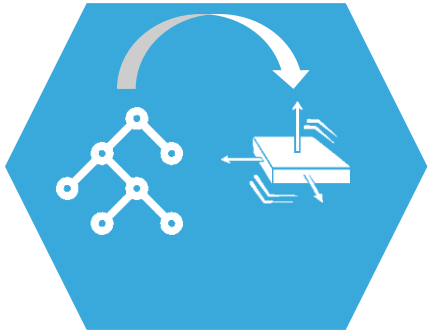
硬件计步 V2.0 with false positive recognition



自带误触发识别单元
优化了公交、地铁等复杂场景

机器学习核心集成决策树





life.augmented

机器学习内核(MLC)定义

MLC是一种基于决策树逻辑的传感器内分类引擎

运动传感

外部传感器



主处理器

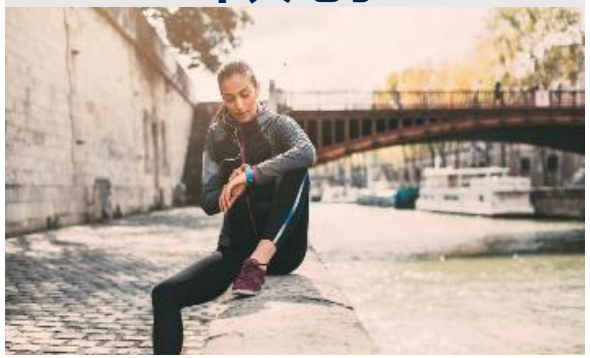
MLC通过**更好的活动检测能力提高了准确性**，
在内置传感器识别运动数据的同时给**主处理器减轻负载**

life.augmented

带有嵌入式机器学习核心变得更智能

真的边缘计算节省10到1,000倍的功耗

个人电子





LSM6DSOX

活动识别 | 健身房活动识别 | 飞行模式识别

消费电子





LSM6DSRX

虚拟现实 | 传感器融合 | 头部动作检测

工业物联网





IIS2ICLX
ISM330DHCX

智能天线 | 振动监测 | 动态测斜仪

汽车





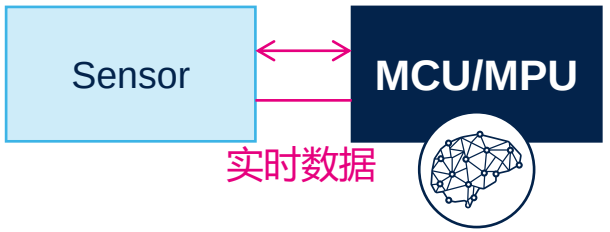
ASM330LHHX

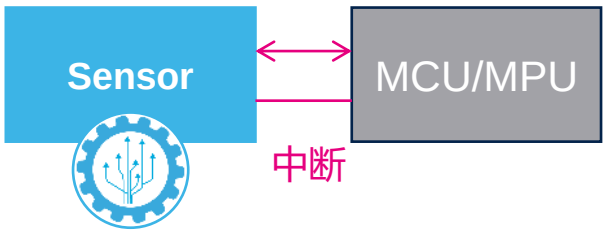
车辆移动 | 驾驶行为分析 | 车辆静止检测

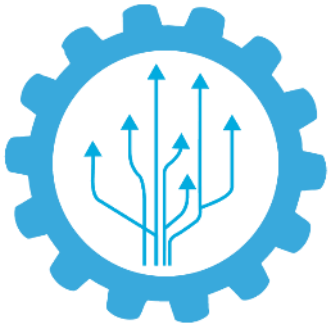
life.augmented

使用MLC带来的系统级受益

参数	用**软件**实现的活动检测	用MLC实现的活动检测	用MLC带来的受益
传感器功耗			差不多的传感器功耗
MCU/MPU运算量			减轻MCU/MPU负载
串行总线的吞吐量			总线上的吞吐量减少
电池使用			降低系统功耗

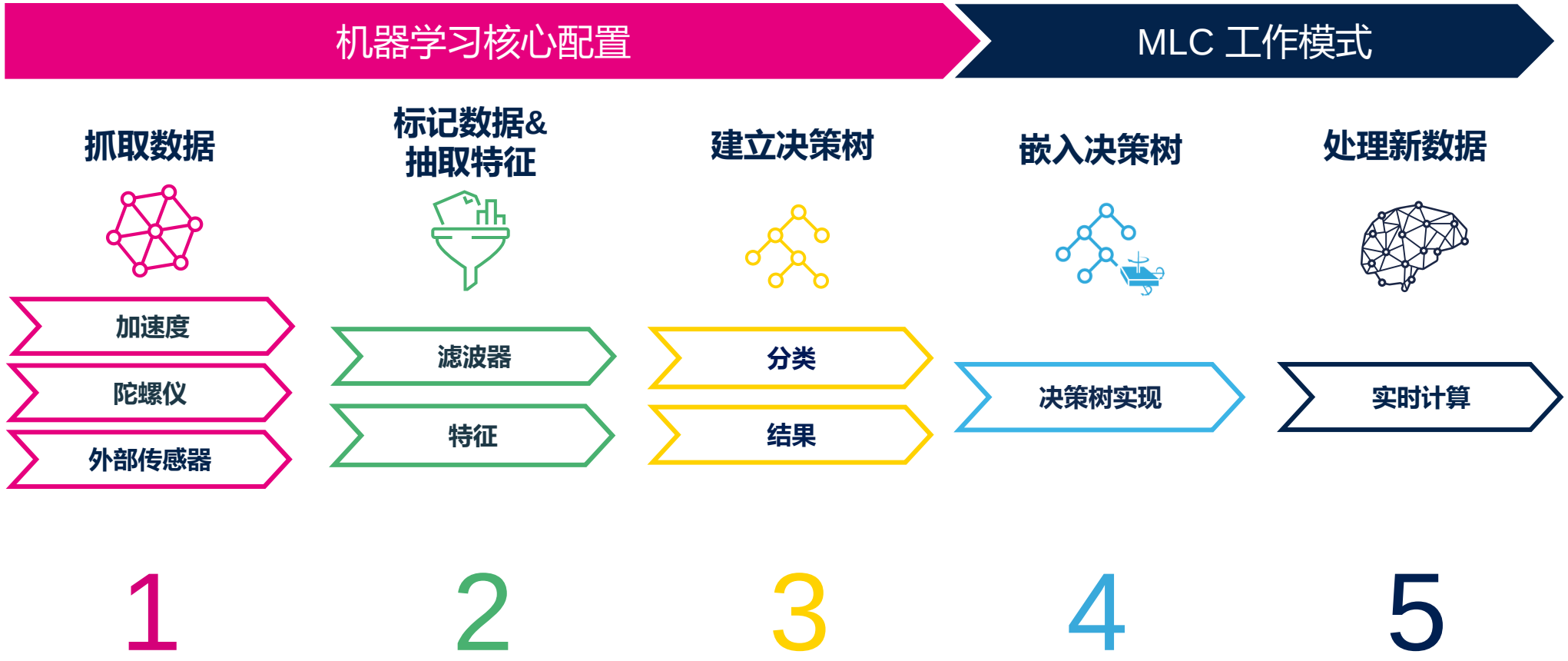






life.augmented

ST传感器机器学习的5个步骤



MLC使用有监督的机器学习

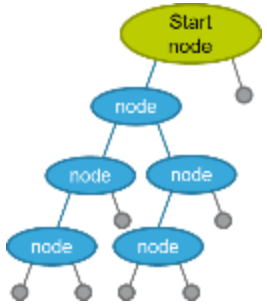
life.augmented

如何选择 机器学习内核 或 有限状态机

用机器学习内核实现状态追踪

可编程逻辑可以识别出一种模式是否符合用户自定义的状态之一： 例如跑步，走路，开车，飞行模式等

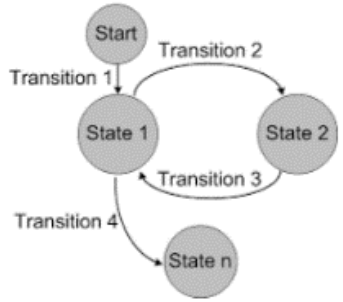
- ✓ 集成决策树逻辑引擎
- ✓ 最多8个自定义决策树同时运行
- ✓ 提供机器学习途径



用有限状态机实现自定义动作识别

有限状态机是一系列状态参数和变量的组合，它们可以支持低功耗算法

- ✓ 至多16个状态机独立地同时运行
- ✓ 用户可以使用其中 8/4/2/1 个状态机 状态机可以处理加速计，陀螺仪或者外挂传感器如磁力计的数据



主要差异		
标定过的传感器特征数据	**输入**	传感器采样数据
基于机器学习逻辑	**逻辑**	基于阈值/计时器的事件触发机制
用决策树来进行模式分类 – 报状态	**输出**	用指令和条件来检测事件是否发生 - 报中断

life.augmented

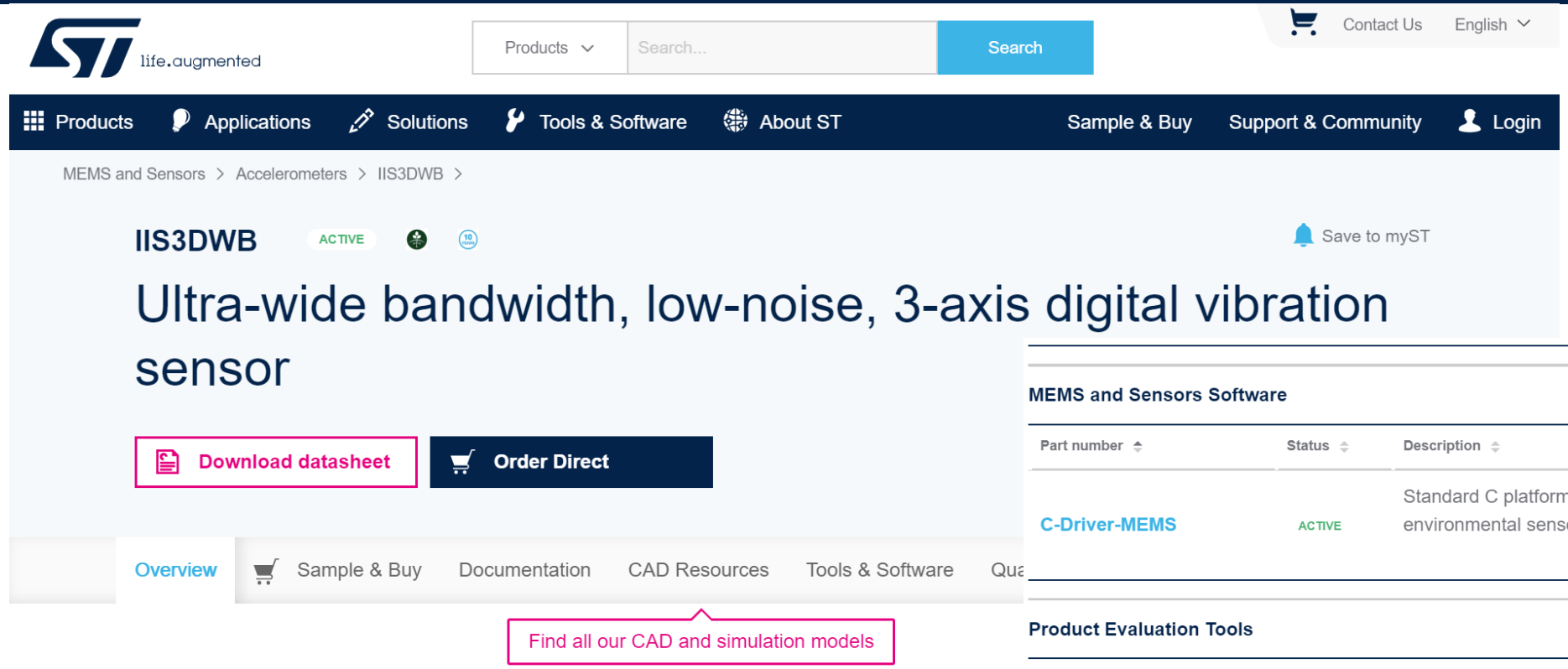
触手可及的资源



life.augmented

ST 官网
st.com

ST官网会及时发布ST 传感器最新手册、应用笔记和驱动程序



MEMS and Sensors Software

Part number	Status	Description
C-Driver-MEMS	ACTIVE	Standard C platform-independent drivers for MEMS motion and environmental sensors

Product Evaluation Tools

Part number	Status	Description
STEVAL-BFA001V2B	ACTIVE	Multi-sensor predictive maintenance kit with IO-Link stack v.1.1
STEVAL-MKI208V1K	ACTIVE	iNemo inertial module kit based on IIS3DWB

life.augmented

ST 传感器论坛

EEworld ST传感器论坛会定期更新ST 传感器相关的中文资料和前沿技术分享



http://bbs.eeworld.com.cn/forum-245-1.html

ST 官方天猫旗舰店

可以在ST 天猫官方旗舰店购买到MEMS的芯片和开发板，旗舰店会定期更新新产品上架

淘宝网 Taobao.com

STM32旗舰店 品牌直销

[描述 4.9 | 物流 4.8 | 服务 4.8] 联络賣家



life.augmented

SensorTile.Box 开发工具
STEVAL-MKSBOX1V1

你的ST MEMS传感器的入口点



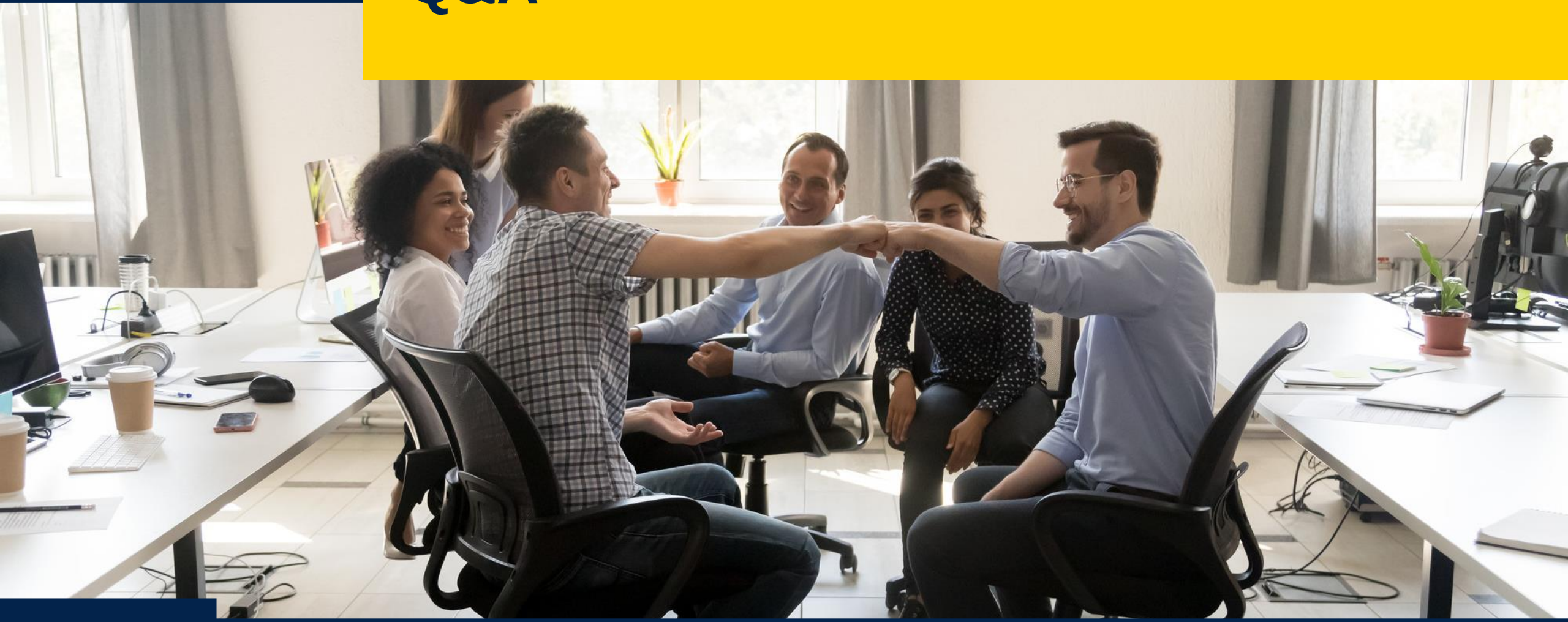
- 气压计和温湿度
- 计步器
- 数据记录器(在SD卡)
- 振动检测和训练
- 指南针 & 角度检测
- 传感器融合(四元数)
- 婴儿哭闹检测
- 人类活动识别

NN based

MLC based

https://www.st.com/content/st_com/en/products/evaluation-tools/product-evaluation-tools/mems-motion-sensor-eval-boards/steval-mksbox1v1.html

Q&A



life.augmented

Thank you

© STMicroelectronics - All rights reserved.
The STMicroelectronics corporate logo is a registered trademark of the STMicroelectronics group of companies. All other names are the property of their respective owners.

life.augmented