

Design Guide: TIDA-010997

边缘 AI 传感器 BoosterPack™ 参考设计



说明

此参考设计引入了一种即插即用的时间系列传感器 BoosterPack™，该传感器与多个 TI 评估模块 (EVM) 保持兼容。此设计可直接访问不同类型的传感器，从而实现简单的数据收集，以便使用 CCStudio™ Edge AI Studio 开发和评估边缘 AI 应用。

资源

TIDA-010997	设计文件夹
TAA3020	产品文件夹
HDC3020	产品文件夹
OPT4001	产品文件夹
TMAG5170	产品文件夹
TLV8544	产品文件夹

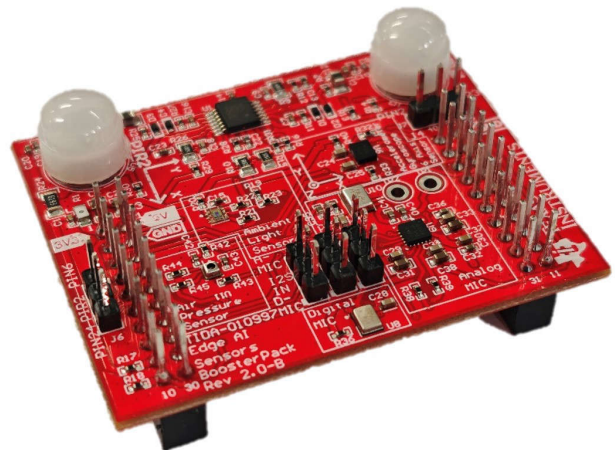
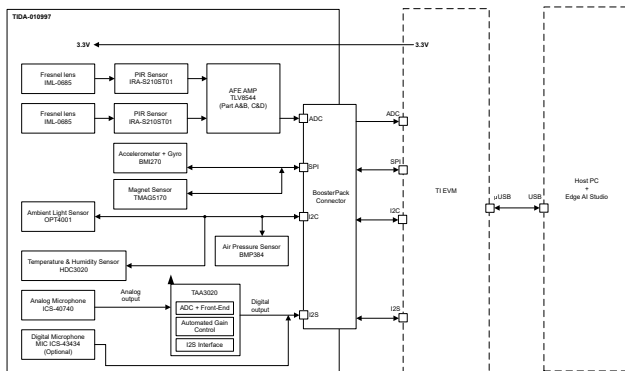


特性

- 2 × 双元件 PIR 传感器和菲涅耳透镜 (IRA-S210ST01 + IML-0685)
- 数字 I²S 输出底部端口麦克风 (ICS-43434)
- 超低噪声、差分模拟麦克风 (ICS-40740)
- 数字湿度和温度传感器 (HDC3020)
- 低功耗 6 轴加速计 + 陀螺仪传感器 (BMI270)
- 高速高精度环境光传感器 (OPT4001)
- 高精度线性 3D 霍尔效应传感器 (TMAG5170)
- 数字压力传感器 (BMI384)

应用

- 门窗传感器
- 电子智能锁
- 玻璃破裂探测器
- 运动检测器
- 恒温器



1 系统说明

边缘 AI 已迅速成为各种工业和汽车应用的基本要求。越来越多的工程师希望嵌入式器件能够在本地解读传感器数据、减少误报并提高响应能力。这些器件还必须在没有持续云连接的情况下实现预测和上下文感知行为。这一转变推动了对易于使用开发平台的需求，这些平台使工程师能够快速收集实际数据并直接在边缘部署机器学习模型。

传感器 **BoosterPack™** 满足了这一需求，为时间序列传感器评估和机器学习开发提供了灵活的硬件平台。

BoosterPack 支持多种 TI 评估模块 (EVM)，使用户可以根据性能、功耗和连接要求连接到不同的处理器件。通过结合使用硬件和软件环境，用户可以采集同步的传感器数据并快速部署推理模型。

为简化开发，该平台与 **Edge AI Studio** 软件环境集成。通过图形用户界面，用户可以收集数据集、标记事件、训练机器学习模型并评估性能。该平台可生成直接用于软件的输出，而无需在数据科学工作流程方面拥有深厚的专业知识。这能够对异常检测、活动分类、状态监测、声学事件检测等应用进行快速原型设计。

为了保持不同主机处理器之间的兼容性，可通过板载跳线启用和禁用各个传感器。这样即使选定的 EVM 不支持所需的通信接口也可以正常运行（例如，在 I2S 接口不可用时禁用数字麦克风）。后续章节介绍了所有硬件设计文件、所需的软件组件和开发工具。

2 系统概述

2.1 方框图

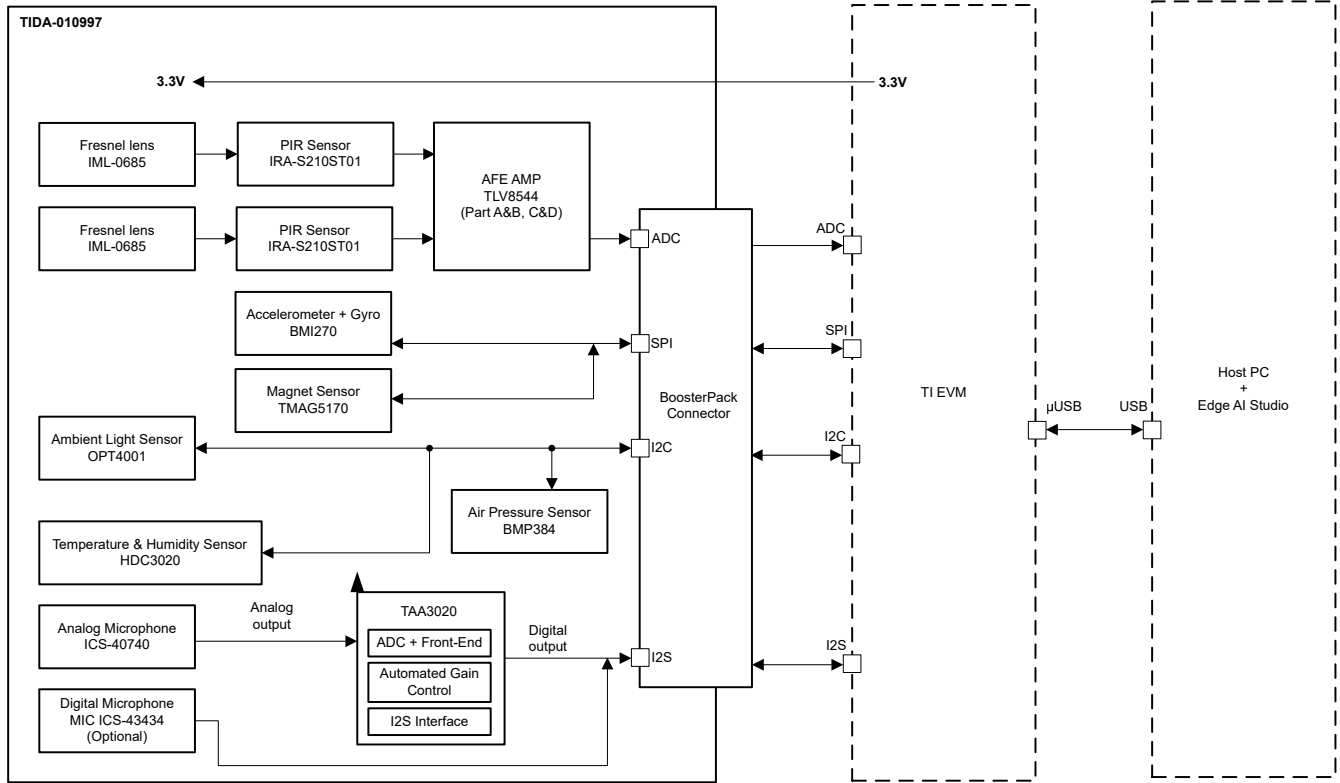


图 2-1. 方框图

2.2 设计注意事项

2.3 重点产品

2.3.1 MSPM0G5187 边缘 AI NPU 的混合信号微控制器

MSPM0G5187 微控制器 (MCU) 属于 MSP 高度集成的超低功耗 32 位 MCU 系列，该 MCU 系列基于增强型 Arm® Cortex®-M0+ 32 位内核平台，工作频率最高可达 80MHz。这些 MCU 为需要采用小型封装或高引脚数封装（高达 64 个引脚）的最高 128KB 闪存存储器的应用同时提供了成本优化和设计灵活性。

MSPM0G5187 系列 MCU 具有 TinyEngine™ 神经网络处理单元 (NPU)，用于支持人工智能 (AI) 和机器学习 (ML) 应用。NPU 提供面向深度卷积神经网络 (CNN) 的高效内核，支持使用预先训练的模型进行机器学习推理。该内核与片上 CPU 结合使用，可为 CNN 推理提供更高的性能和更低的功耗。

NPU 在 80MHz 下运行，并独立于器件中的主 CPU 运行。NPU 提供完全可编程的硬件加速器，可支持任意深度神经网络。输入激活可以是 8 位或 4 位，而权重参数可以是 8 位、4 位或 2 位。

支持的层类型包括通用卷积层、逐点卷积层、深度可分离卷积层、池化层（最大值和平均值）以及残差层。卷积核的大小可进行配置，且各层可包含填充和步长设置。RELU 激活获得支持。

NPU 支持每秒 640 兆次运算 (MOPS) 至 2560MOPS，与纯基于软件的实现相比，可提供高达 10 倍的 NN 推理周期改进。要获得数据收集和模型训练方面的无缝体验，请开始使用 TI Edge AI Studio，它可以自动生成适用于 MSPM0 的源代码，而无需手动编写代码。

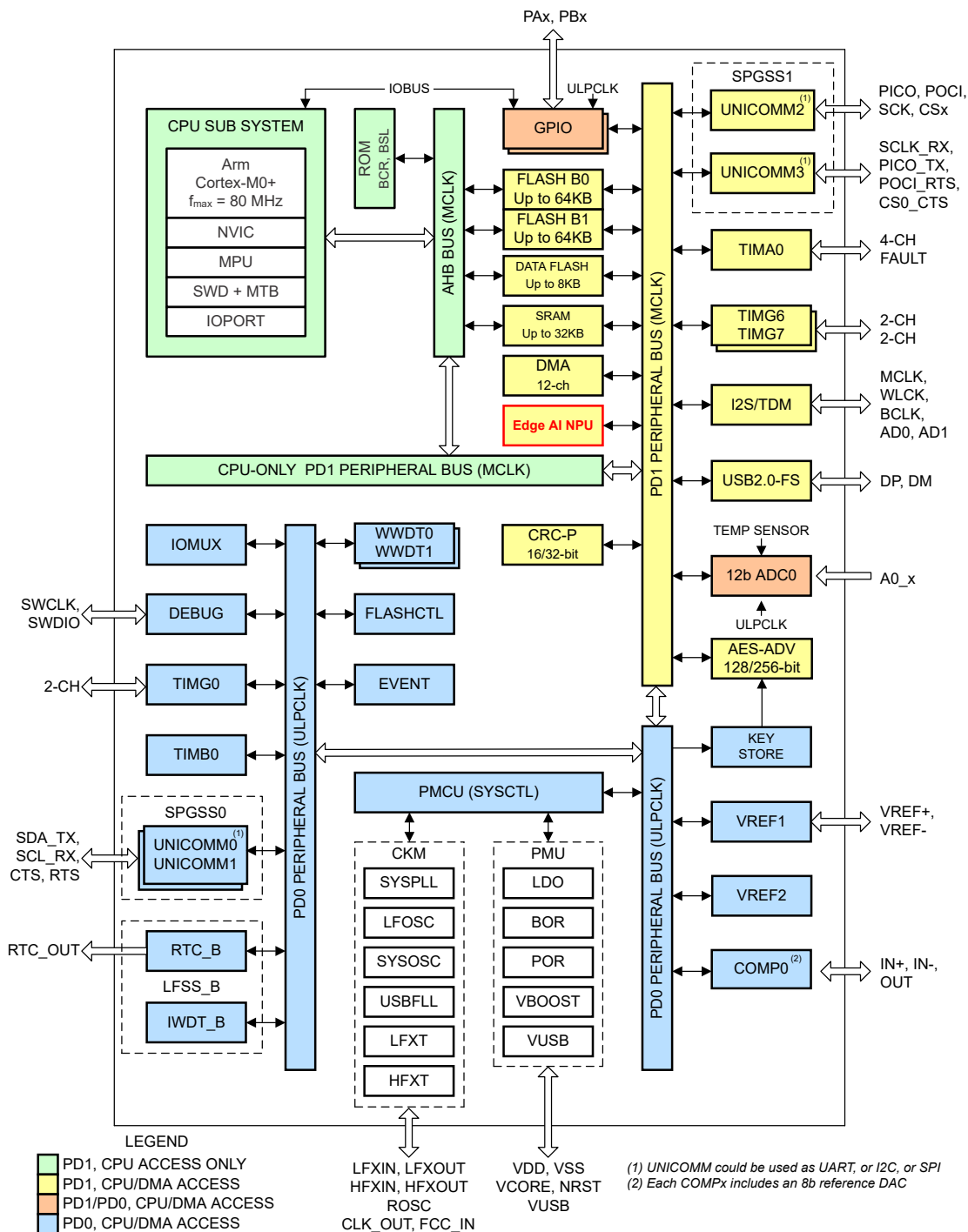


图 2-2. MSPM0G5187 方框图

2.3.2 CC2755R10 SimpleLink™ Bluetooth® LE 无线 MCU

SimpleLink™ CC2755x 无线微控制器 (MCU) 支持适用于汽车和工业应用的蓝牙®低功耗 6.0。这些器件采用 Arm® Cortex®-M33 处理器 (96MHz)，配备浮点单元 (FPU)、TrustZone®-M 支持、用于机器学习加速的自定义数据路径扩展 (CDE) 以及算法处理单元 (APU) (96MHz)。APU 是一种用于高效矢量和矩阵运算的数学加速器，可加速 Bluetooth® 信道探测后处理，并支持 IFFT 和多信号分类 (MUSIC) 等高级超分辨率算法。

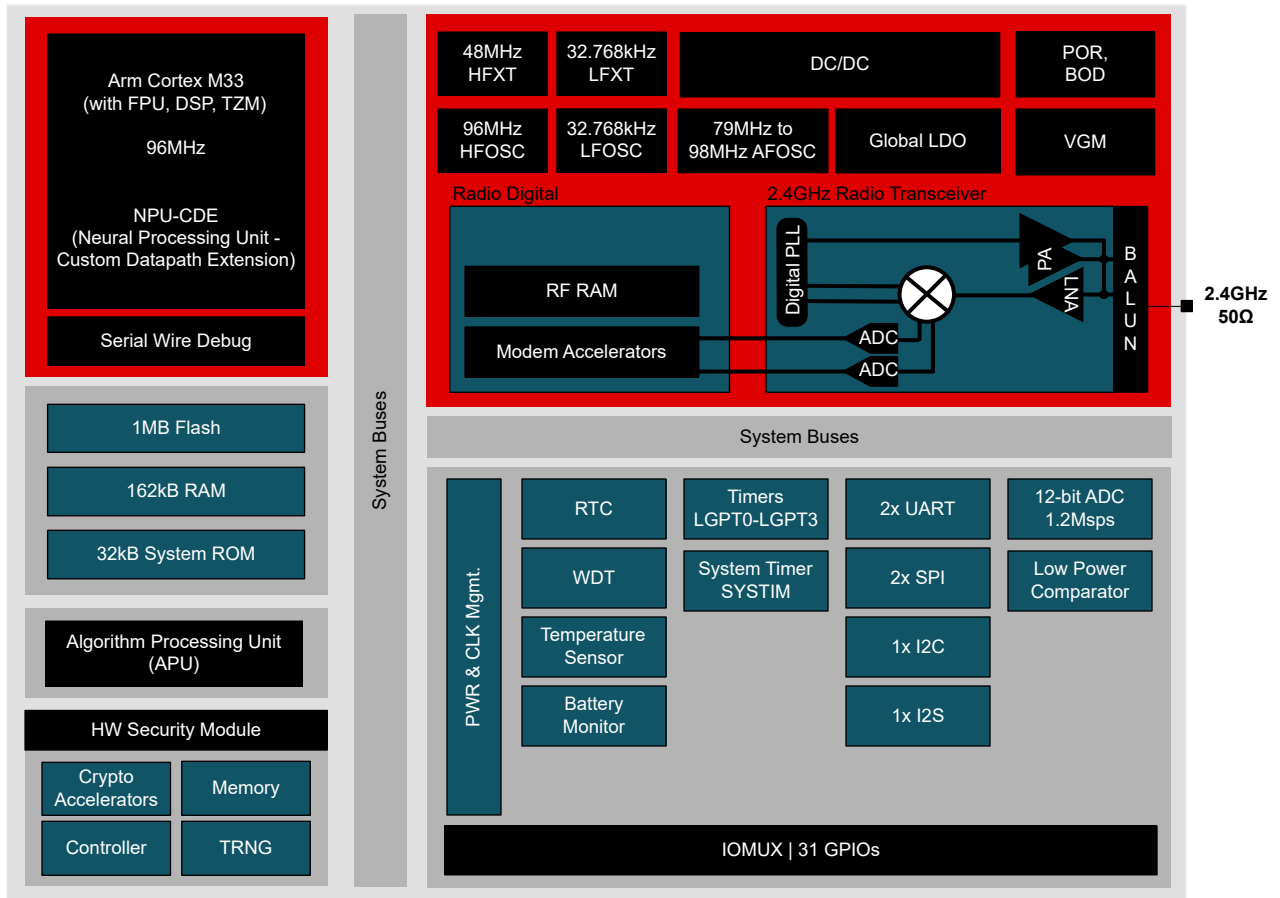


图 2-3. CC2755 方框图

3 硬件、软件、测试要求和测试结果

3.1 硬件要求

BoosterPack 集成了模拟和数字传感器。使用板载跳线，客户可以根据目标 EVM 配置启用、禁用或重新路由各个传感器。本节概述了主要设计注意事项，并介绍跳线功能。图 3-1 显示如何在 EVM 顶部安装 BoosterPack。

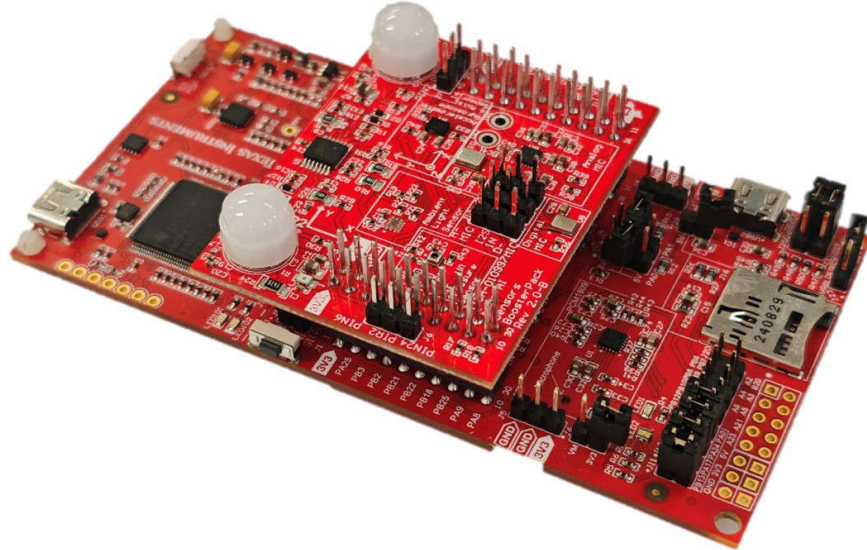


图 3-1. BoosterPack™ 和 EVM

以下跳线提供此功能：

- J7 将 PIR1 布线到板载 ADC 通道 (连接到 PIN2 或 PIN23)
- J6 将 PIR2 布线到板载 ADC 通道 (连接到 PIN6 或 PIN24)
- J8、J9 和 J10 在数字麦克风 (ICS-43434) 与模拟麦克风 + 外部编解码器 (ICS-40740 + TAA3020) 之间切换音频 I2S 总线

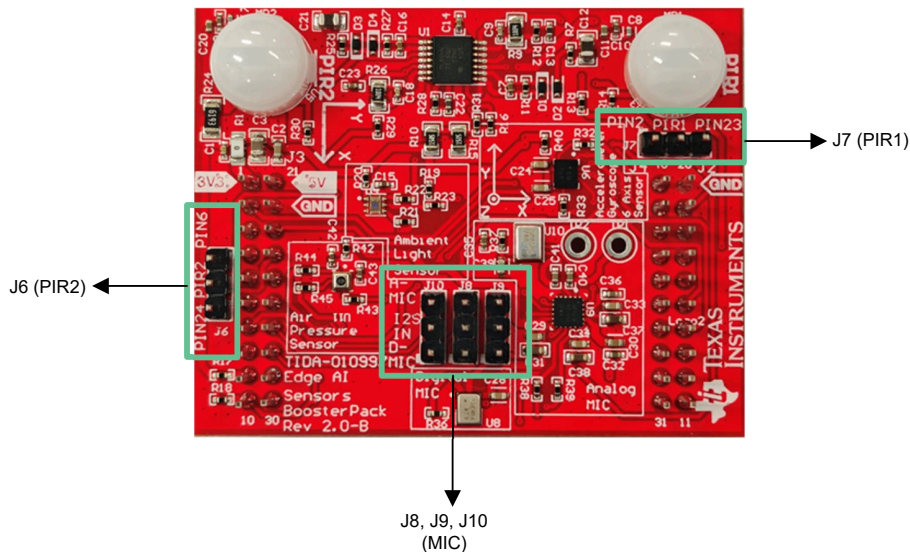


图 3-2. 跳线配置

图 3-3 和图 3-4 显示 BoosterPack 的完整引脚图。完整的原理图文件在 TIDA-010997 设计文件夹中提供。

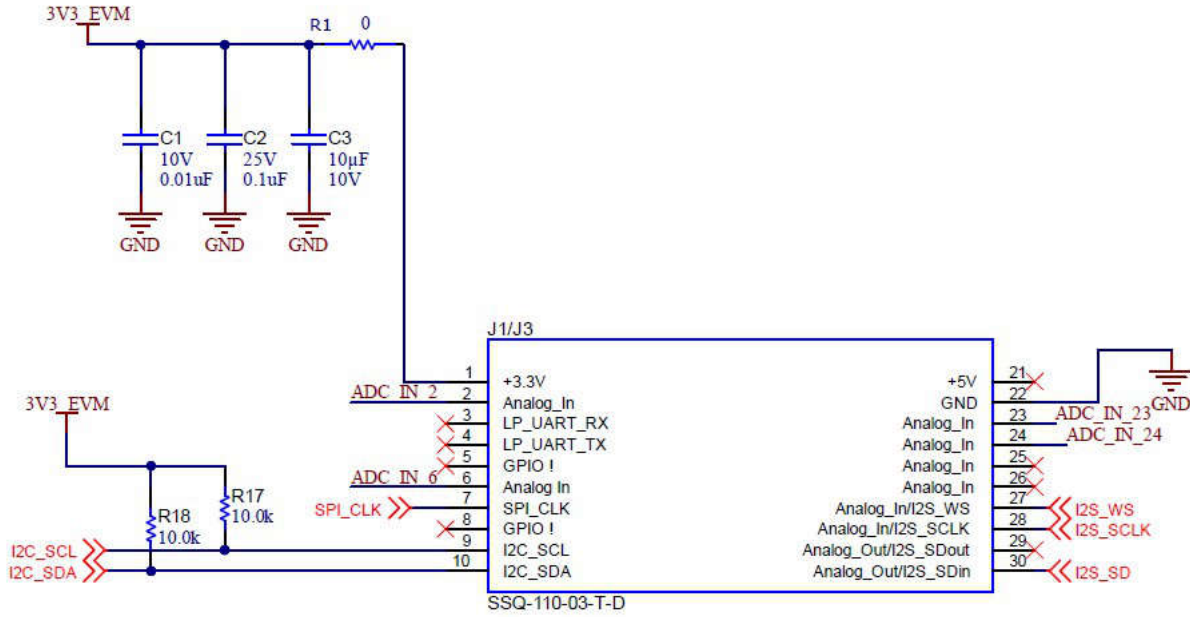


图 3-3. BoosterPack™ 引脚图 1

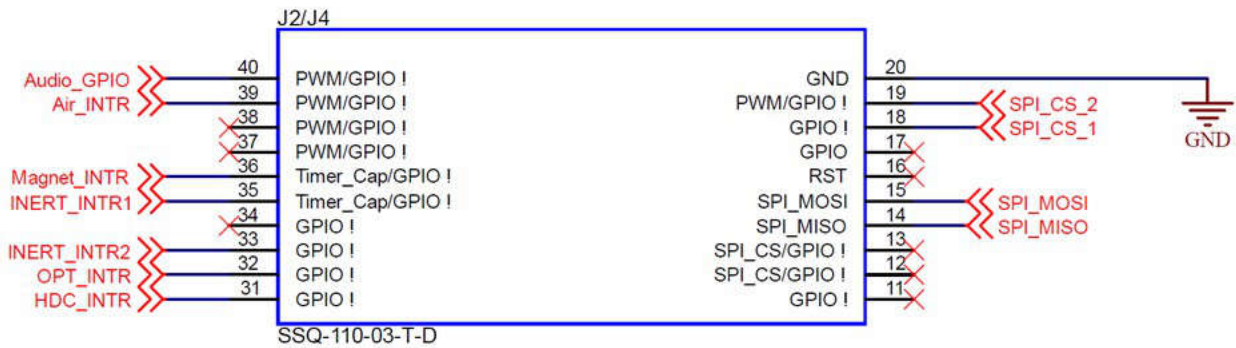


图 3-4. BoosterPack™ 引脚图 2

3.1.1 PIR 模拟信号链

用于 PIR1 和 PIR2 的信号链是相同的。以下说明以 PIR1 为例；相同的逻辑适用于 PIR2。如图 3-5 所示，有两个级用于实现放大的滤波器功能。

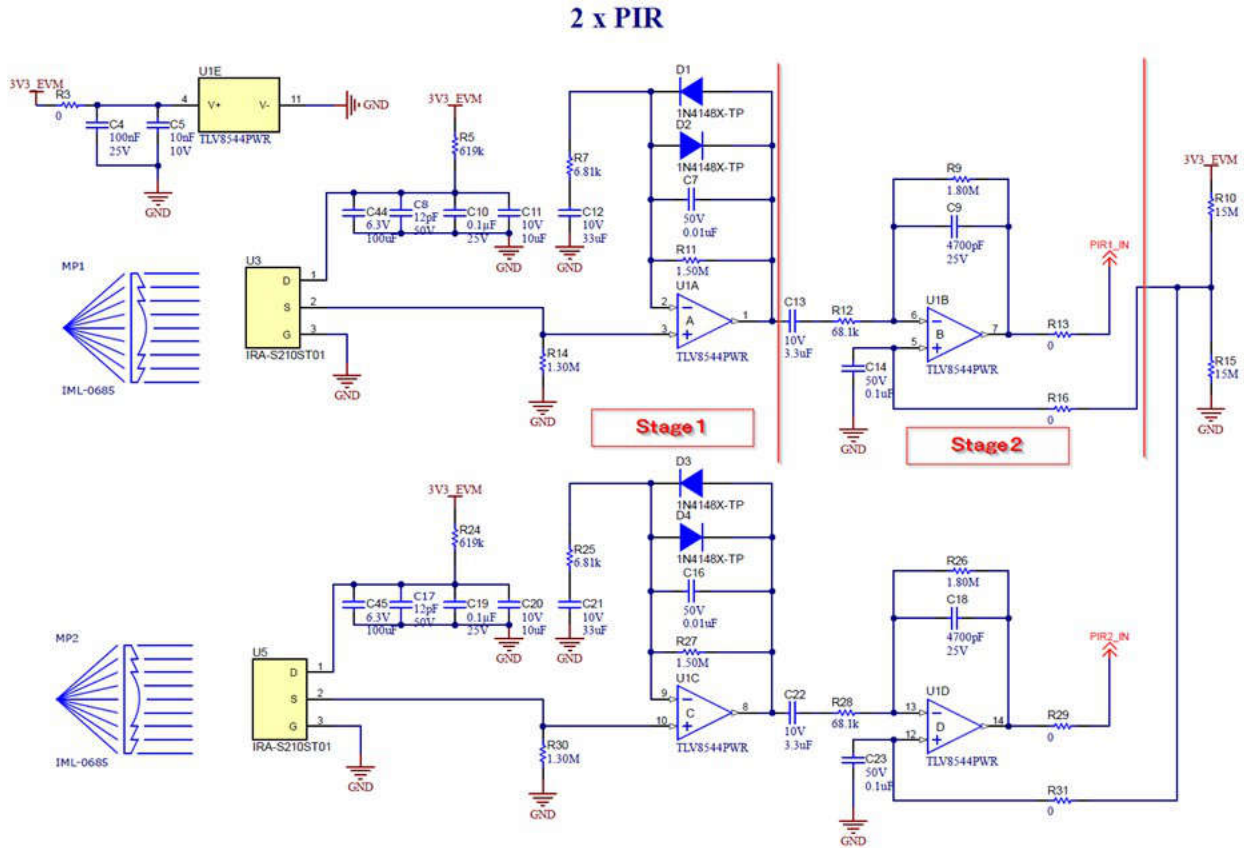


图 3-5. PIR 信号链

滤波器的第一级排列为同相增益级。这为传感器提供高阻抗负载，以使偏置点保持固定。增益和截止频率的计算公式如下：

$$f_{Low1} = \frac{1}{2\pi \times R_7 \times C_{12}} = \frac{1}{2\pi \times 6.81k\Omega \times 33\mu F} = 0.71Hz \quad (1)$$

$$f_{High1} = \frac{1}{2\pi \times R_{11} \times C_7} = \frac{1}{2\pi \times 1.5M\Omega \times 0.01\mu F} = 10.6Hz \quad (2)$$

$$|G_1| = 1 + \frac{R_{11}}{R_7} = 1 + \frac{1.5M\Omega}{6.81k\Omega} = 221.26 \quad (3)$$

第二级与第一级交流耦合，排列为反相增益级。这样便可通过将串的中心点连接到此滤波器级中运算放大器的同相输入，轻松地将直流偏置设置为 $V_{cc}/2$ 。方程式 4 至方程式 6 展示该级的增益和截止频率。

$$f_{Low2} = \frac{1}{2\pi \times R_{12} \times C_{13}} = \frac{1}{2\pi \times 68.1k\Omega \times 3.3\mu F} = 0.71Hz \quad (4)$$

$$f_{High2} = \frac{1}{2\pi \times R_9 \times C_9} = \frac{1}{2\pi \times 1.8M\Omega \times 4700pF} = 18.8Hz \quad (5)$$

$$|G_2| = \left| -\frac{R_9}{R_{12}} \right| = \left| -\frac{1.8M\Omega}{68.1k\Omega} \right| = 26.4 \quad (6)$$

此参考设计的默认参数根据实际实验测试选择，其中人类在 3.5 - 9.5 米距离移动的信号幅度恰好合适。PIR1 和 PIR2 共享相同的默认增益。用户可以根据实际检测距离调整电阻器和电容器，从而修改增益和滤波器频率。例如，使用以下设置可实现一条远距离通道和一条近距离通道。

- 对于 3.5 - 9.5m 检测，保持 PIR1 不变。
- 降低 PIR2 的滤波器增益，使 PIR2 成为 3.5m 以内距离的理想选择。

3.2 软件要求

节 3.3 概述了启用 BoosterPack 和 MSPM0G5187 上所有传感器数据采集所需的步骤。在继续之前，请确保根据节 3.1 中的硬件要求配置板载跳线。

要启用传感器，首先从最新的 MSPM0 SDK 刷写 *tida_010997_data_capture* 代码示例。该示例包括预定义的传感器配置，用户可以将其保留为默认值，也可以根据需要进行修改。

图 3-6 展示了传感器配置，该配置可根据需要手动进行调整：

```

336 /**
337  * @brief Captures pressure data from BMP384 sensor
338  * @param[in] numSamples  Number of pressure samples to capture
339  */
340 static void Sensor_Pressure_captureData(uint32_t numSamples)
341 {
342     bmp384_config_t config;
343     bmp384_data_t data;
344     int ret;
345
346     /* Configurable based on user preference */
347     config.mode = BMP384_MODE_NORMAL;
348     config.pressOsr = BMP384_OSR_x4;
349     config.odr = BMP384_ODR_50HZ;
350     config.filter = BMP384_FILTER_3;
351     config.pressEn = true;
352     config.intMode = BMP384_INT_DISABLE;
353
354     /* Initialize the sensor */
355     ret = bmp384_init(&config);
356     if (ret != BMP384_OK) {
357         __BKPT(0);
358     }
359

```

图 3-6. 传感器配置

刷写器件后，打开 [Edge AI Studio](#) 并启动 Model Composer 工具：安装桌面版本或使用基于云的版本。

3.3 测试设置

图 3-7 展示了完整的测试配置。MSPM0 EVM 物理连接到作为主处理和控制单元的传感器 BoosterPack。该 EVM 为每个板载时间序列传感器提供电源、通信接口和数据处理。MSPM0 EVM 与 Edge AI Studio 平台连接，可实现实时数据收集。

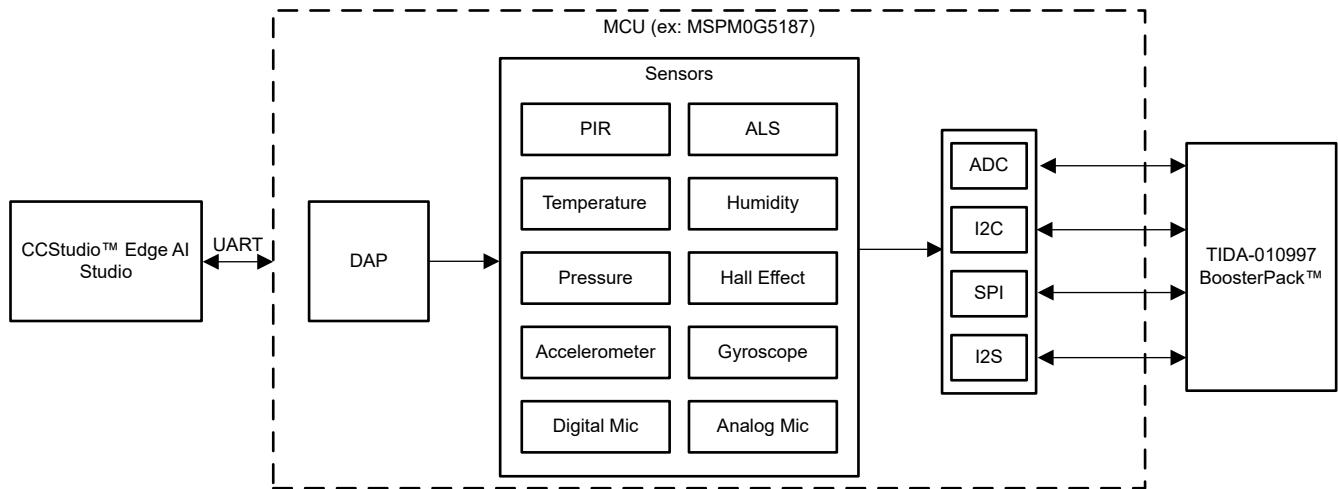


图 3-7. 软件流程

3.3.1 数据搜集

以下步骤介绍如何搭配使用 BoosterPack 和 Edge AI Studio 收集传感器数据。这些说明使用 MSPM0G5187 EVM 作为参考平台进行演示。但是，其他 TI EVM 也可以支持来自 BoosterPack 的传感器，并且兼容性正在持续扩展。

[tida_010997_data_capture](#) 自述文件中提供了 MSP 器件数据收集的详细文档。

1. 硬件设置：
 - a. 将 BoosterPack 连接到 LP-MSPM0G5187 LaunchPad™ 开发套件
 - b. 确保将 BoosterPack 上的跳线 J7 设置为 1:2
 - c. 构建 [tida_010997_data_capture](#) 示例并将其从 [MSPM0 SDK](#) 刷写到 MSPM0G5187
2. 数据收集：
 - a. 在主机 PC 上启动 CCStudio™ Edge AI Studio
 - b. 创建时间序列分类项目并导航至采集选项卡
 - c. 确保选择正确的 COM 端口并将波特率配置为 *115200bps*
 - d. 验证状态栏是否显示 *硬件已连接*
 - e. 选择合适的传感器，设置样本计数和样本标签，然后选择 *开始采集*
 - f. 数据以 CSV 格式保存

3.4 测试结果

3.4.1 无源红外传感器 (PIR)

- 默认：
 1. ADC 引脚配置用于 PIR1
 2. 31.25Hz 时采样率

请参阅 TI 的 [边缘 AI 技术](#) 登录页面上的 [基于 PIR 的楼宇安全多类运动检测 \(精度大于 98%\)](#) 内容。该架构使用此传感器 [BoosterPack](#) 进行构建，TI 客户可从 [Edge AI Studio](#) 免费获取随附软件。

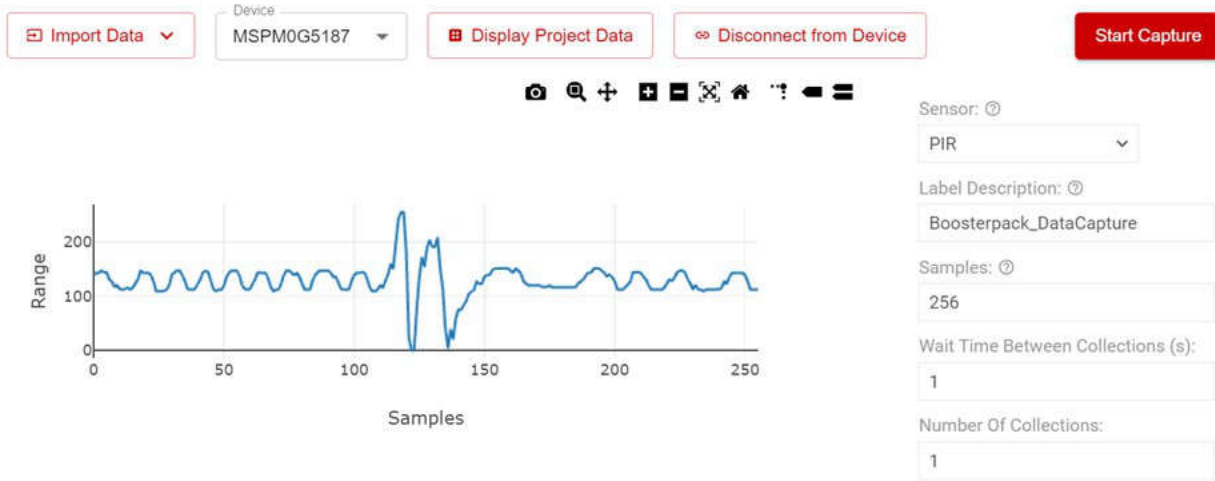


图 3-8. PIR 数据采集

3.4.2 HDC3020 — 温度和湿度传感器 (I2C)

1. 默认配置：
 - a. 模式：自动测量 (连续)
 - b. 低功耗模式：LPM_0 (最低噪声, 12.5ms 转换)
 - c. 测量速率：10Hz
2. 用户可配置：
 - a. 测量模式 (按需触发或自动)
 - b. 低功耗模式 (LPM_0 至 LPM_3)
 - c. 测量速率 (0.5Hz、1Hz、2Hz、4Hz、10Hz)
 - d. 传感器选择 (仅温度、仅湿度或两者)
3. 未启用且不可配置：
 - a. 加热器控制
 - b. 警报或阈值中断
 - c. 偏移校准
 - d. 最小值和最大值跟踪
 - e. 状态寄存器读回

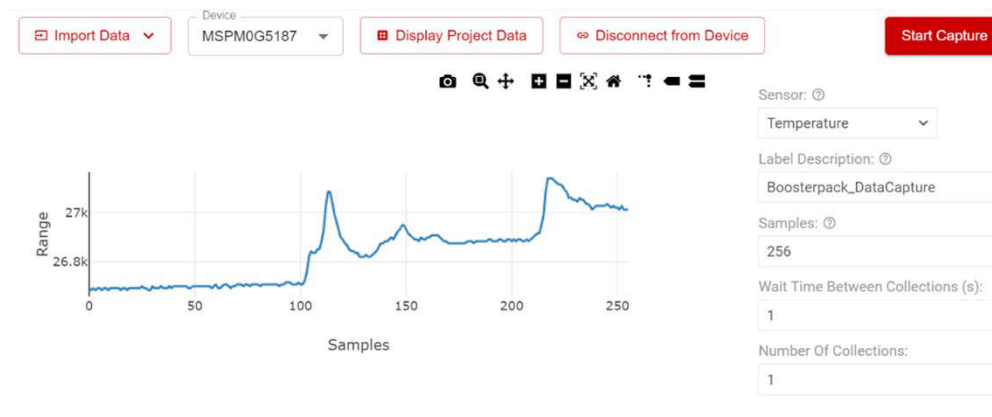


图 3-9. 温度数据采集

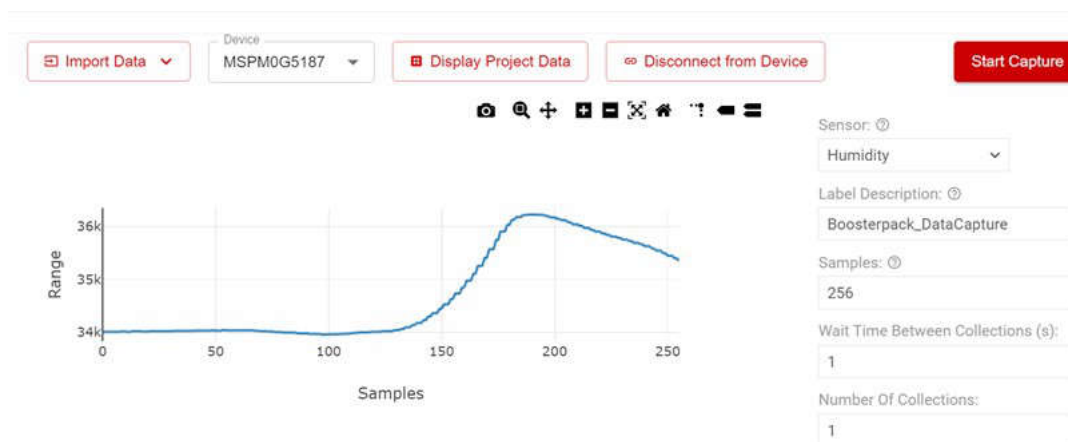


图 3-10. 湿度数据采集

3.4.3 BMP384 — 气压传感器 (I2C)

1. 默认配置：
 - a. 模式：正常 (连续)
 - b. 压力过采样：×4
 - c. 输出数据速率：50Hz
 - d. IIR 滤波器：系数 3
 - e. 中断：禁用
2. 用户可配置：
 - a. 电源模式 (睡眠、强制、正常)
 - b. 压力过采样 (×1 至×32)
 - c. 输出数据速率 (0.0015Hz 至 200Hz)
 - d. IIR 滤波器系数 (关、1、3、7、15、31、63、127)
 - e. 中断模式 (禁用、数据就绪、FIFO 水线、FIFO 已满)
3. 未启用且不可配置：
 - a. 温度测量 (仅返回压力)
 - b. 温度过采样
 - c. FIFO 功能
 - d. 海拔计算
 - e. 压力补偿和校准



图 3-11. 压力数据采集

3.4.4 OPT4001 — 环境光传感器 (I2C)

1. 默认配置：
 - a. 模式：持续
 - b. 转换时间：100ms
 - c. 范围：自动
2. 用户可配置：
 - a. 运行模式（关断、单稳态触发、连续）
 - b. 转换时间（600 μ s 至 800ms，12 个选项）
 - c. 范围（固定范围 0 - 8，或自动）
 - d. 锁存模式（透明、窗口）
 - e. 中断配置和极性
 - f. 快速唤醒启用
3. 未启用且不可配置：
 - a. LUX 计算（仅返回原始指数和尾数）
 - b. 阈值中断级别
 - c. 故障计数配置
 - d. FIFO 读回



图 3-12. 环境光数据采集

3.4.5 BMI270 — 6 轴 IMU (SPI)

1. 默认配置 — 加速计：
 - a. 电源模式：正常
 - b. 范围： $\pm 8g$
 - c. 输出数据速率：100Hz
 - d. 带宽：正常
 - e. 滤波器性能：高
2. 默认配置 — 陀螺仪：
 - a. 电源模式：正常
 - b. 范围： $\pm 2000dps$
 - c. 输出数据速率：100Hz
 - d. 带宽：正常
 - e. 滤波器性能：高
 - f. 噪声性能：正常

3. 用户可配置：
 - a. 功耗模式 (挂起、低功耗、正常、性能)
 - b. 传感器启用 (仅加速计、仅陀螺仪、两者)
 - c. 加速计范围 ($\pm 2g$ 、 $4g$ 、 $8g$ 、 $16g$)
 - d. 陀螺仪范围 (± 125 至 $2000dps$)
 - e. 输出数据速率 ($0.78Hz$ 至 $3200Hz$)
 - f. 带宽模式 ($OSR4$ 、 $OSR2$ 、正常、 CIC)
 - g. 滤波器和噪声性能模式
 - h. 中断类型和引脚选择
4. 未启用且不可配置：
 - a. FIFO 运行
 - b. 运动和静止检测
 - c. 步进计数器和检测器
 - d. 手腕手势识别
 - e. 活动识别
 - f. 内部温度传感器
 - g. 自检和偏移校准

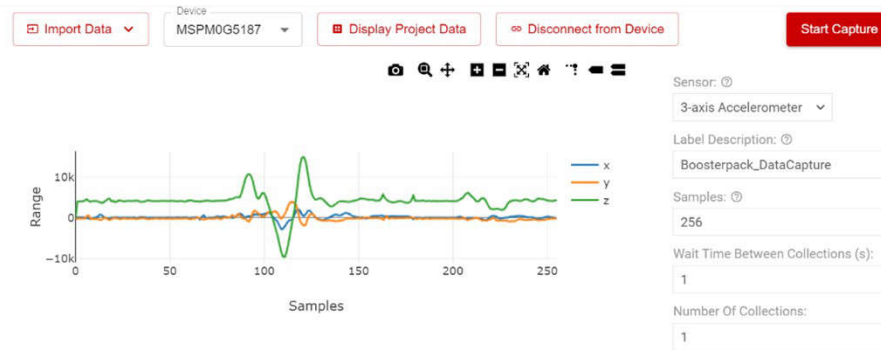


图 3-13. 加速计数据采集

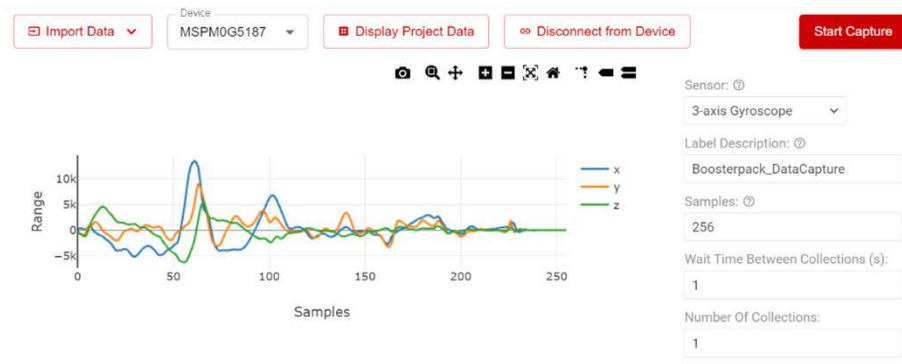


图 3-14. 陀螺仪数据采集

3.4.6 MAG5170 — 3D 霍尔效应传感器 (SPI)

1. 默认配置：
 - a. 运行模式：主动测量（连续）
 - b. 磁场范围： $\pm 50\text{mT}$
 - c. 通道数：X、Y 和 Z 已启用
 - d. 转换平均值：4 个样本
 - e. CRC：禁用
2. 用户可配置：
 - a. 运行模式（配置、待机、活动、触发、睡眠）
 - b. 磁场范围（ $\pm 25\text{mT}$ 、 50mT 、 100mT ）
 - c. 通道启用（X、Y、Z 单独或组合）
 - d. 转换平均值（1 至 32 个样本）
 - e. CRC 启用、CRC 禁用
3. 未启用或不可配置：
 - a. 各轴范围配置（所有轴使用相同的范围）
 - b. 温度测量
 - c. 角度计算 (CORDIC)
 - d. 阈值警报
 - e. 磁增益、偏移微调
 - f. 数据速率配置



图 3-15. 霍尔效应数据采集

3.4.7 ICS43434 — 数字麦克风 (I2S)

- 采样速率：62.5kHz

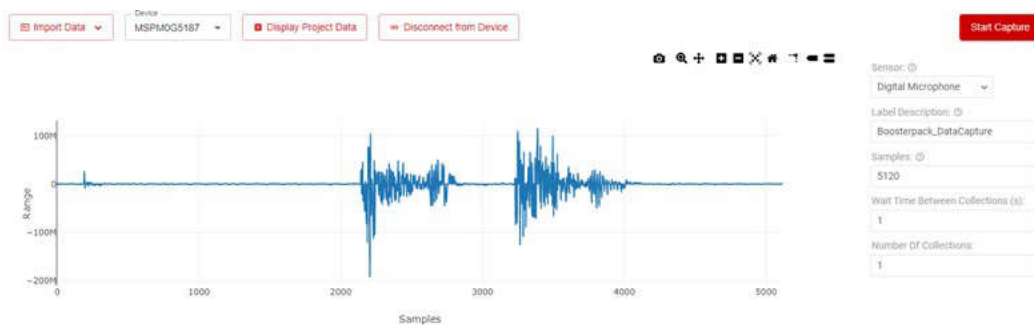


图 3-16. 麦克风数据采集

4 设计和文档支持

4.1 设计文件

4.1.1 原理图

要下载原理图，请参阅 [TIDA-010997](#) 中的设计文件。

4.1.2 BOM

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-010997](#) 中的设计文件。

4.2 工具与软件

工具

[CCStudio™ Edge AI Studio](#)

CCStudio™ Edge AI Studio 是旨在加速 TI 微控制器和处理器上 Edge AI 开发的一系列图形和命令行工具。

软件

[MSPM0 SDK](#) MSPM0 SDK 通过单个软件包提供软件、工具和文档的精选集合，可以加快 MSPM0 MCU 平台应用程序的开发。

4.3 文档支持

1. 德州仪器 (TI)，[使用 CC27xx 的边缘 AI PIR 运动检测](#)，代码示例
2. 德州仪器 (TI)，[TIDA-010997 使用 MSPM0G5187 进行数据采集](#)，代码示例

4.4 支持资源

[TI E2E™ 中文支持论坛](#) 是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题，获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的[使用条款](#)。

4.5 商标

BoosterPack™, CCStudio™, TI E2E™, TinyEngine™, SimpleLink™, and LaunchPad™ are trademarks of Texas Instruments.

蓝牙® is a registered trademark of Bluetooth SIG, Inc.

Arm®, Cortex®, and TrustZone® are registered trademarks of Arm Limited.

所有商标均为其各自所有者的财产。

5 作者简介

EYAL COHEN Eyal Cohen 是德州仪器 (TI) 的一名系统工程师，负责设计及开发工业领域中的参考设计。Eyal 在面向工业半导体市场的实时嵌入式系统、低功耗射频连接和楼宇安全产品的软件开发方面拥有丰富经验。Eyal 在特拉维夫大学获得了电气和计算机工程理学学士学位 (BSEE)。

KONG JIN 担任德州仪器 (TI) 的系统工程师，主要负责工业应用参考设计的开发。他的专业知识包括边缘 AI、嵌入式系统和硬件设计。Kong 在工业应用的系统级架构设计、原型设计和性能验证方面拥有丰富的经验。他获得了中国上海交通大学 (SJTU) 的电气工程学士和硕士学位。

RAHUL SREEKUMAR 是德州仪器 (TI) 的系统工程师，负责定义和支持无线微控制器的软件，包括 Zephyr RTOS 开发、边缘 AI 应用以及最新的蓝牙®低功耗功能（如信道探测）。他的主要工作是开发用于楼宇自动化和工业物联网 (IoT) 应用的边缘 AI 模型。Rahul 于 2024 年获得了美国弗吉尼亚大学电气和电子工程博士学位。

NIKKIL V 在德州仪器 (TI) 担任软件工程师，负责为微控制器开发底层驱动程序、应用代码和边缘 AI 应用。他主要负责串行通信协议和器件机器学习。Nikkil 于 2023 年在特里西国立理工学院获得了电气和电子工程工艺学士学位。

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月