

使用 sub-1GHz 组网，基于毫米波雷达的人数计数和跟踪的参考设计



说明

此设计展示了如何使用 IWR6843 器件 (TI 推出的一款采用集成 DSP 的单芯片毫米波雷达传感器) 来实现室内和室外人员计数应用以及利用 sub-1GHz 进行无线组网。该参考设计采用了 MMWAVEICBOOST 和 IWR6843ISK 评估模块 (EVM) 以及 LAUNCHXL-CC1352R1 无线 MCU LaunchPad™。该解决方案能够定位最远距离 6m (近距离配置) 和 14m (远距离配置) 的人员。

资源

TIDA-010022	设计文件夹
IWR6843	产品文件夹
CC1352R	产品文件夹
MMWAVEICBOOST	工具文件夹
IWR6843ISK	工具文件夹
LAUNCHXL-CC1352R1	工具文件夹



咨询我们的 TI E2E™ 支持专家

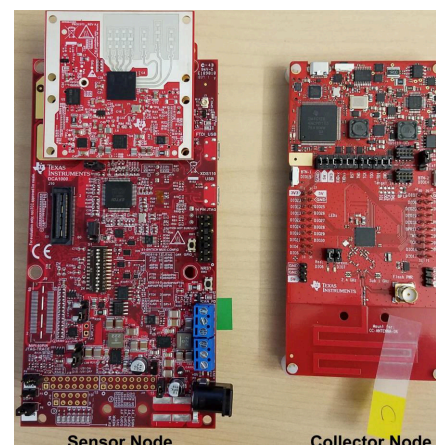
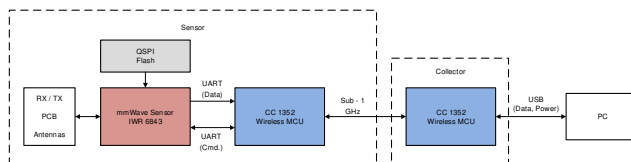
特性

- 包含相关的展示硬件和软件，可使用 IWR6843 器件和毫米波雷达传感器来进行人员计数和跟踪
- 使用 CC1352 器件实现基于 sub-1Ghz 的远距离低功耗的无线连接
- 基于 802.15.4e 或 IEEE802.15.4g 协议栈的集中器和传感器应用
- 毫米波技术可提供理想的检测目标的距离、速度和角度信息
- 覆盖 6m 距离的 120 度水平方位角视野，可通过采用不同的线性调频脉冲配置扩展至 14m
- 提供静态干扰消除和群组跟踪算法实现示例

应用

- 占位检测
- 运动检测器
- 自动门
- IP 网络摄像头
- 烟雾和热量探测器
- 照明传感器

设计图像



1 系统说明

工业和楼宇自动化安防系统可以使用雷达来检测和跟踪人员和其他物体。在安防系统中，毫米波技术可提供距离、速度和角度信息，不受环境影响。CC1352 无线射频微控制器在分散区域提供扩展的远距离连接，以超低功耗监测和跟踪活动。

人类监测已成为一个重要的探索领域，因为它可帮助了解人员的计数、活动、意图和健康问题。在包括监控、控制和分析在内的众多应用中，持续且一致地监测人类运动的能力是一项重要功能。准确度和精度在这些应用中发挥着重要作用。无源红外 (PIR) 和飞行时间 (TOF) 等传感器在使用过程中会受到精度限制、错误警报以及环境变化 (如黑暗、亮度和烟雾) 的影响。

雷达可以准确测量距离以及人和其他物体的相对速度。它们相对不受雨、尘或烟雾等环境条件的影响。此外，它们可以在完全黑暗中或明亮的日光下运行。因此，它们可用于楼宇自动化应用，例如人员计数、运动检测、IP 网络摄像头和安全防护装置。

Sub-1GHz 无线射频微控制器正成为全球许多应用的热门选择。这些器件在 1GHz 以下的 ISM 频段内 - 通常在 769MHz 至 935MHz、315MHz 和 468MHz 频率范围内运行。随着新兴的物联网市场向工业应用发展，Sub-1GHz 无线射频通信正成为这些应用的标准，主要原因有三个：距离、低功耗和避免高流量频段相关问题的干扰。

本设计指南介绍了该 TI 设计系统的元件选型、设计理论和测试结果。本设计指南中的内容可帮助系统设计人员率先集成 TI 的毫米波传感器和 SimpleLink™ 多频段无线 MCU。

后续子章节介绍该 TI 设计系统中的各模块以及实现最佳相应功能的最关键特性。

1.1 关键系统规格

表 1-1. 关键系统规格

参数	规格	详细信息
输入电源	5V	节 2.2.2
传感器类型	毫米波雷达	节 2.2.1
系统功耗	3.6W	节 3.2.2.2
雷达视场	水平 120°，垂直 30°	节 3.2.2.1
雷达最大距离	近距离配置为 6m，远距离配置为 14m	节 3.2.2.1
雷达距离分辨率	近距离配置为 4.9cm，远距离配置为 12cm	节 3.2.2.1
雷达最大速度	近距离配置为 18.64km/h，远距离配置为 18.9km/h	节 3.2.2.1
雷达速度分辨率	近距离和远距离配置均为 0.297km/h	节 3.2.2.1
帧速率	高达 20 帧/秒	节 2.2.4.3
最大物体数	多达 20 个物体	节 2.2.4.3
无线电发射器频率	915MHz	节 2.2.3
无线电发射功率	12dBm	节 2.2.3
无线电传输范围	70m	节 3.2.2.3
网络类型	星型	节 2.2.3

2 系统概述

2.1 方框图

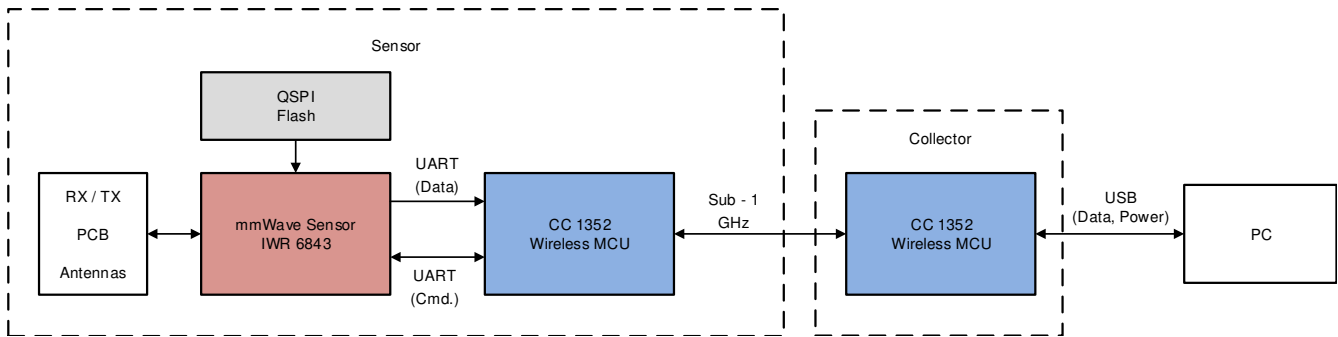


图 2-1. TIDA-010022 方框图

2.2 设计注意事项

使用 Sub-1GHz 毫米波雷达传感器进行人员计数和跟踪的参考设计可计算其视场内的物体数量，并将数据通过无线电发送到收集器节点。

2.2.1 毫米波传感器

2.2.1.1 毫米波传感器人员计数

信号处理链中人员计数应用示例的实现涉及以下模块，这些模块通过在 IWR6843 的 C674x 内核上执行的 DSP 代码来实现。跟踪模块在 ARM® Cortex®-R4F 处理器上运行。

- 距离处理：
 - 针对每根天线，执行 1D 窗口化和 1D 快速傅里叶变换 (FFT)
 - 距离处理与帧的有效线性调频脉冲时间交错。
- Capon 波束形成：
 - 静态干扰消除
 - 执行协方差矩阵生成、逆角谱生成和集成
 - 输出距离角度热图
- CFAR 检测算法：
 - 二次恒虚警率
 - 距离域中 CFAR-CASO 的第一次最小单元平均，经过角度域中 CFAR-CASO 的第二次最小单元平均确认，以找到检测点。
- 多普勒估算：
 - 对于检测模块中检测到的每个 [距离，方位角] 对，通过使用 Capon 波束权重对距离库进行滤波来估算多普勒，然后对滤波后的距离库的 FFT 进行峰值搜索。
- 跟踪：
 - 执行目标定位并报告结果。
 - 跟踪器的输出是一组具有特定属性 (如位置、速度、物理尺寸和点密度) 的可跟踪对象

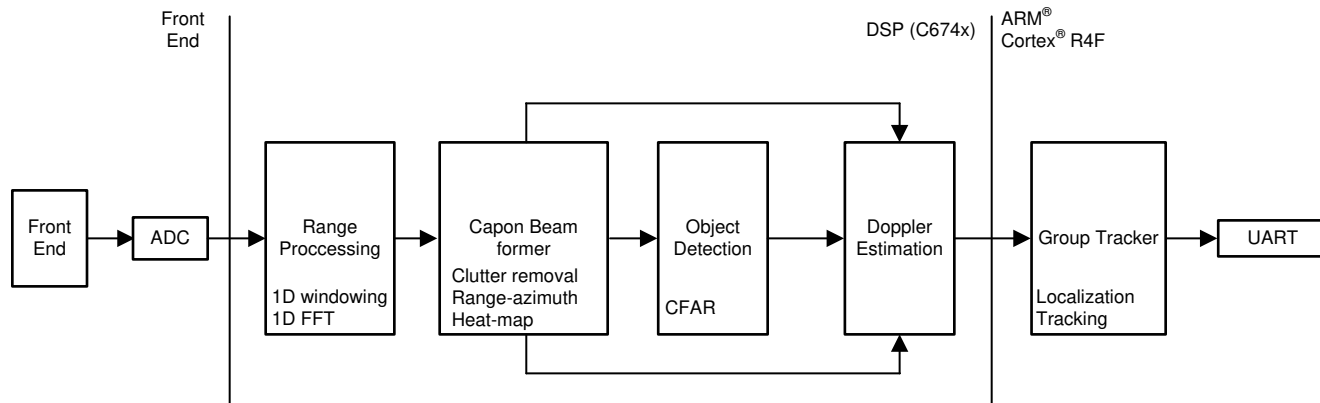


图 2-2. 人员计数应用方框图

有关人员计数应用的更多详细信息，请参阅 [使用毫米波雷达传感器的人员跟踪和计数参考设计](#)。

2.2.1.2 IWR6843 UART 通信

CC1352 器件通过命令行接口 (CLI) UART 端口配置 IWR6843 器件。配置完成后，IWR6843 开始通过单独的数据 UART 端口将雷达数据连续发送回 CC1352。然后，CC1352 解析来自 IWR6843 的数据，将数据进行封包，并不断地通过无线方式将数据包发送到收集器节点。图 2-3 是 IWR6843 UART 通信方框图。

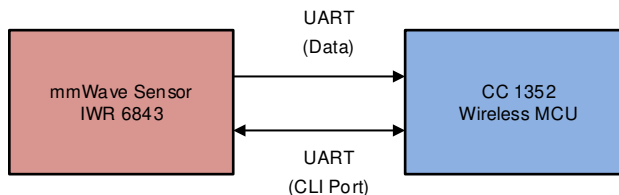


图 2-3. IWR6843 UART 通信

2.2.1.2.1 IWR6843 帧输出

IWR6843 每帧周期输出一帧。该帧具有固定的标头，后跟可变数量的段，采用标签-长度-值 (TLV) 格式。每个 TLV 都有一个固定的标头，后跟一个可变大小的有效载荷。字节顺序是小端字节序。图 2-4 展示了 IWR6843 输出帧格式。

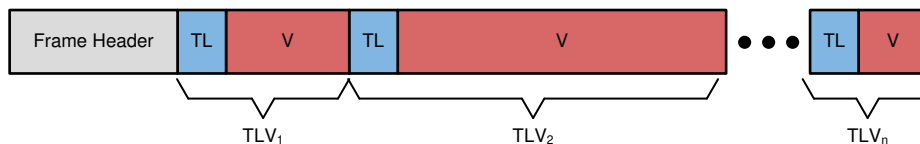


图 2-4. IWR6843 输出帧格式

2.2.1.2.2 IWR6843 帧头

帧头大小固定 (52 字节)，并具有以下结构 (请参阅图 2-5，使用了 MATLAB® 符号，包含名称、类型和以字节为单位的长度)。该标头旨在对内容进行自我描述，并允许用户应用程序在有损耗环境中运行。

```
frameHeaderStructType = struct(...
    'sync',          {'uint64', 8}, ... % Sync Pattern
    'version',       {'uint32', 4}, ... % mmWaveSDK version
    'platform',      {'uint32', 4}, ... % 0xA1642 or 0xA1443
    'timestamp',     {'uint32', 4}, ... % 600MHz free running clocks
    'packetLength',  {'uint32', 4}, ... % In bytes, including header
    'frameNumber',   {'uint32', 4}, ... % Starting from 1
    'subframeNumber', {'uint32', 4}, ...
    'chirpMargin',   {'uint32', 4}, ... % Chirp Processing margin, in us
    'frameMargin',   {'uint32', 4}, ... % Frame Processing margin, in us
    'uartSentTime',  {'uint32', 4}, ... % Time spent to send data, in us
    'trackProcessTime', {'uint32', 4}, ... % Tracking Processing time, in us
    'numTLVs',       {'uint16', 2}, ... % Number of TLVs in this frame
    'checksum',      {'uint16', 2}); % Header checksum
```

图 2-5. IWR6843 帧头

2.2.1.2.3 TLV 元素

每个 TLV 都有一个固定的标头 (8 字节) , 后跟一个特定于 TLV 的有效载荷 (请参阅图 2-6) 。

```
tlvHeaderStruct = struct(...
    'type',          {'uint32', 4}, ... % TLV object Type
    'length',        {'uint32', 4}); % TLV object Length, in bytes, including TLV header
```

图 2-6. TLV 标头

目前支持三个 TLV , 如下所示 :

- 点云 TLV
 - 类型 = POINT_CLOUD_2D
 - 长度 = sizeof (tlvHeaderStruct) + sizeof (pointStruct2D) × numberOfPoints

```
% Point Cloud TLV object consists of an array of points.
% Each point has a structure defined below
pointStruct2D = struct(...
    'range',         {'float', 4}, ... % Range, in m
    'azimuth',       {'float', 4}, ... % Angle, in rad
    'doppler',       {'float', 4}, ... % Doppler, in m/s
    'snr',           {'float', 4}); % SNR, ratio
```

图 2-7. 点云 TLV

- 目标列表 TLV
 - 类型 = TARGET_LIST
 - 长度 = sizeof (tlvHeaderStruct) + sizeof (targetStruct) × numberOfTargets

```

% Target List TLV object consists of an array of targets.
% Each target has a structure define below
targetStruct2D = struct(...
    'tid',          { 'uint32', 4}, ... % Track ID
    'posX',         { 'float', 4}, ... % Target position in X dimension, m
    'posY',         { 'float', 4}, ... % Target position in Y dimension, m
    'velX',         { 'float', 4}, ... % Target velocity in X dimension, m/s
    'velY',         { 'float', 4}, ... % Target velocity in Y dimension, m/s
    'accX',         { 'float', 4}, ... % Target acceleration in X dimension, m/s2
    'accY',         { 'float', 4}, ... % Target acceleration in Y dimension, m/s
    'EC',           { 'float', 9*4}, ... % Tracking error covariance matrix, [3x3], in
range/angle/doppler coordinates
    'G',           { 'float', 4}); % Gating function gain

```

图 2-8. 目标列表 TLV

备注

在第 N 个帧中接收到的目标索引 TLV 对第 (N - 1) 个帧中的点云进行索引。

- 目标索引 TLV
 - 类型 = TARGET_INDEX
 - 长度 = sizeof(tlvHeaderStruct) + numberOfPoints
 - 有效载荷是一个字节数组，每个字节代表一个跟踪 ID
-

备注

跟踪 ID 是一个字节。支持的值为 0 到 249。保留的值为 250 到 255。

2.2.2 电源设计

要为系统设计合适的电源，请考虑以下规格：

1. IWR6843 芯片需要多个电压轨：3.3V、1.8V、1.24V、1.0V
2. CC1352 芯片需要 3.3V 电压轨
3. 传感器节点的主电源为 5V

在该设计中，IWR6843ISK 电路板上的 LP8770 PMIC 用于为 IWR6843 生成电压轨。IWR6843ISK 从 MMWAVEICBOOST 电路板接收 3.3V 电压。

传感器节点中使用的 CC1352 器件直接由 3.3V 电压轨 (BRD_3V3) 供电，该电压轨由 MMWAVEICBOOST 电路板上的 LM53635-Q1 直流/直流转换器生成。该 3.3V 电压轨为 MMWAVEICBOOST 电路板上的各种元件（多路复用器、串行接口、调试端口等）供电，包括 IWR6843ISK 电路板。

2.2.3 无线网络设计

该设计利用 TI 的 SimpleLink TI-15.4 Stack 来实现星型网络。TI-15.4 Stack 实现了标准 IEEE 802.15.4e、IEEE 802.15.4g 规范，设计用于在 SimpleLink CC1352 超低功耗 MCU 上运行。TI 15.4 Stack 支持不同的模式，包括网络器件在不同频率上跳跃的跳频模式、网络协调器传输周期性信标以指示其存在的信标模式，以及协调器不发送周期性信标的非信标模式。

该网络由一个中央器件或收集器以及一个或多个传感器节点组成。收集器执行网络协调器的功能（启动网络、允许器件加入网络）并从传感器节点接收数据。然后，收集器定期发送跟踪请求消息（目标为其预期获得跟踪响应消息的传感器），以确定网络中的传感器节点是否处于活动状态。

传感器节点加入由收集器启动的网络。它们向收集器发送传感器数据报告，并响应收集器发送的跟踪消息。传感器节点还会轮询收集器发出的消息，从而实现双向通信。

该 TI 设计与 CC1352 LaunchPad 一起实现了传感器节点和收集器节点的功能。TI-15.4 Stack 配置为在 915MHz 频段（禁用跳频）、启用非信标模式且发射功率设置为 12dBm 的情况下运行。

2.2.4 CC1352 软件设计

该 TI 设计中使用的收集器和传感器软件是随附 TI 15.4 Stack 提供的修改版本收集器和传感器示例代码。TI 15.4 Stack 和示例代码作为等待事件的状态机运行。为了使这些示例代码正常工作，需要进行两处修改：在收集器和传感器示例中添加了一个新事件，并添加了一个并行运行的额外任务来负责触发所述事件。当从毫米波器件接收到新的毫米波数据时，会触发新事件。以下部分提供了事件和任务的说明。

2.2.4.1 收集器节点

图 2-9 展示了收集器节点软件流程图。

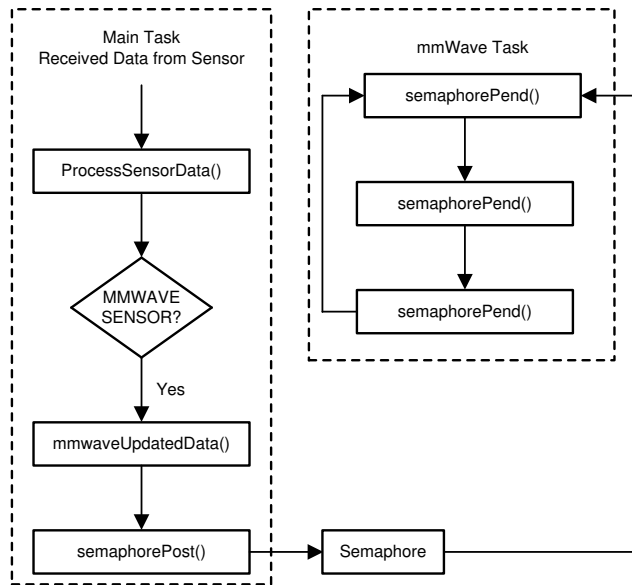


图 2-9. 收集器节点软件流程图

2.2.4.2 传感器节点

图 2-10 显示了传感器节点软件流程图。

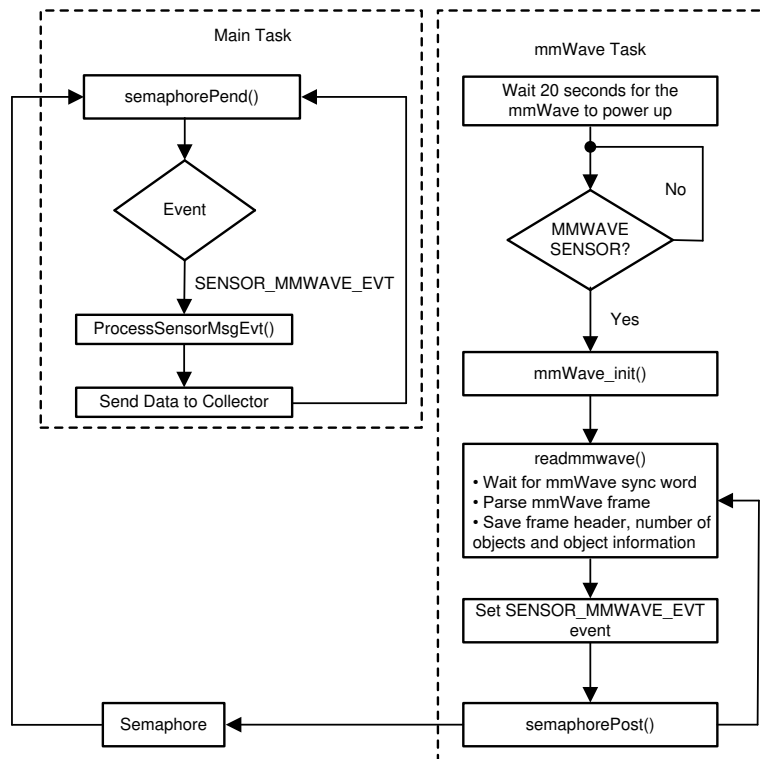


图 2-10. 传感器节点软件流程图

每个传感器数据包都包括 4 字节的帧编号、4 字节的检测到的物体数量，以及 12 字节的每个物体跟踪信息。

每个物体的跟踪信息为 12 字节，其中包括 4 字节的跟踪 ID、4 字节的 X 维度目标位置和 4 字节的 Y 维度目标位置。

```

/*!
mmWave Object Field
*/
typedef struct _Smsgs_objtrackingfield_t
{
    uint32_t tid;
    uint32_t posx;
    uint32_t posy;
} Smsgs_objtrackingfield_t;
/*!
mmWave Sensor Field
*/
typedef struct _Smsgs_mmwavesensorfield_t
{
    /*! mmWave frame number */
    uint32_t frame_number;
    /*! Number of objects detected */
    uint16_t num_objs;
    /*! Tracking information for each object */
    Smsgs_objtrackingfield_t objInfo[SMSGs_SENSOR_MMWAVE_MAX_OBJ];
} Smsgs_mmWaveSensorField_t;

```

2.2.4.3 毫米波传感器配置命令列表修改

此设计默认使用近距离配置。与默认命令列表相比，lowpower 和 pointCloudEn 命令也发生了变化：

1. 将“lowpower 0 1r”更改为“lowpower 0 0r”，这会禁用低功耗模式，因为 ES1.0 不使用低功耗模式
2. 添加了额外的命令“pointCloudEn 0r”以禁用点云，通过提供更小的帧供 CC1352 器件读取来减轻其负担

```

const char *CommandList[] = {"dfeDataOutputMode 1\r",
    "channelCfg 15 5 0\r",
    "adcCfg 2 1\r",
    "adcbufCfg 0 1 1 1\r",
    "profileCfg 0 60.6 30 10 62 0 0 53 1 128 2500 0 0 30\r",
    "chirpCfg 0 0 0 0 0 0 0 1\r",
    "chirpCfg 1 1 0 0 0 0 0 4\r",
    "frameCfg 0 1 128 0 50 1 0\r",
    "lowPower 0 1\r",
    "guiMonitor 1 1 0 0\r",
    "cfarCfg 6 4 4 4 4 16 16 4 4 50 62 0\r",
    "doaCfg 600 1875 30 1 1 0\r",
    "sceneryParam -6 6 0.5 6\r",
    "gatingParam 4 3 2 0\r",
    "stateParam 10 5 100 100 5\r",
    "allocationParam 250 250 0.25 10 1 2\r",
    "accelerationParam 1 1 1\r",
    "pointCloudEn 0\r",
    "trackingCfg 1 2 250 20 52 82 50 90\r",
    "sensorStart\r"
};

```

有关如何配置远距离模式的更多详细信息，请参阅 [使用毫米波雷达传感器的人员跟踪和计数参考设计](#)。

2.3 重点产品

TIDA-010022 设计具有以下器件和评估平台 (EVM)：

1. IWR6843：单芯片 60GHz 至 64GHz 毫米波传感器
2. CC1352：SimpleLink 高性能双频带无线 MCU
3. IWR6843ISK 和 MMWAVEICBOOST：毫米波 EVM
4. LAUNCHXL-CC1352R1：SimpleLink™ 多频带 CC1352R 无线 MCU LaunchPad™ 开发套件

更多有关这些产品的信息，请参阅 www.ti.com.cn 上的数据表或产品文件夹。

2.3.1 IWR6843 : 单芯片 60GHz 至 64GHz 毫米波传感器

IWR1642 器件包括用于两个发送器和四个接收器的整个毫米波块和模拟基带信号链，以及客户可编程 MCU 和 DSP。IWR1642 可处理所有人员计数和跟踪功能。

在此参考设计中，IWR1642 器件与 CC1352R SimpleLink 双频带无线 MCU 配对，可实现人员计数和跟踪数据的无线通信。

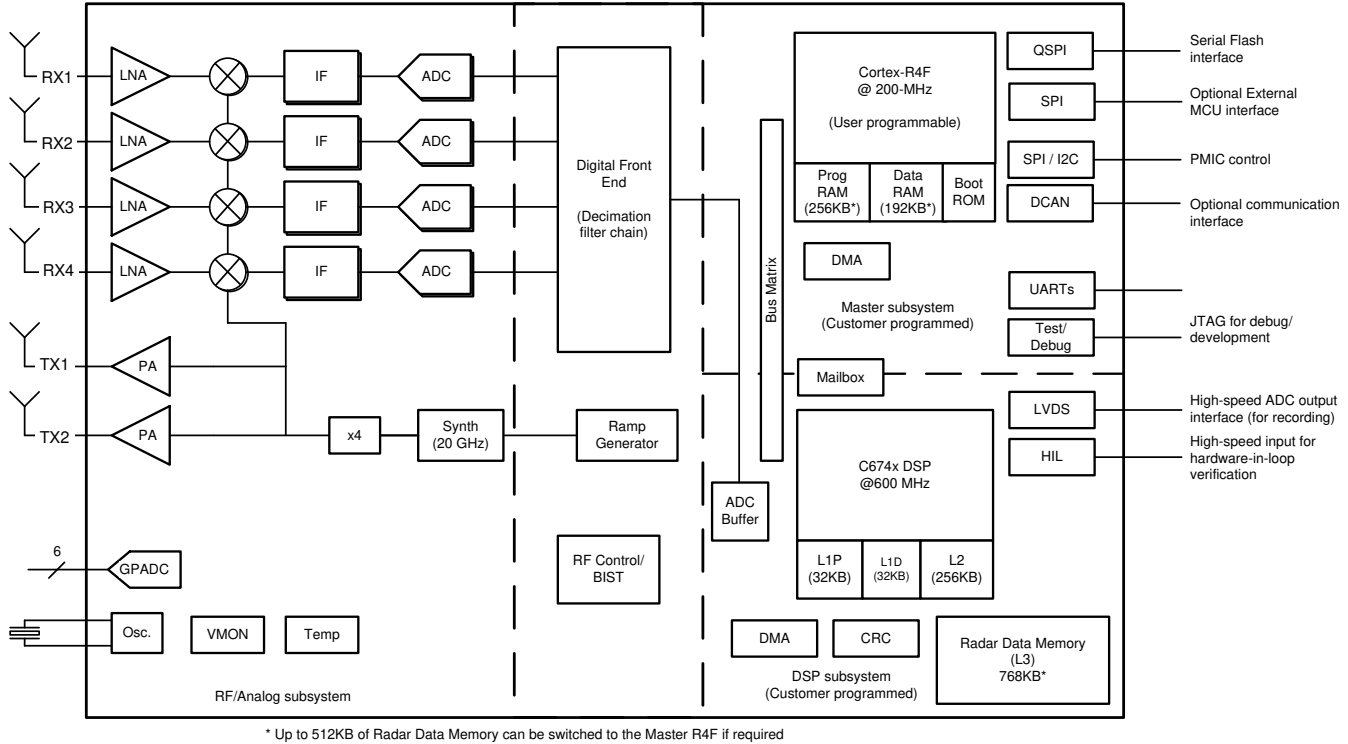


图 2-11. IWR6843 方框图

2.3.2 CC1352R : SimpleLink™ 高性能双频带无线 MCU

CC1352R 器件是面向无线 M-Bus、IEEE 802.15.4g、支持 IPv6 的智能对象 (6LoWPAN)、Thread、Zigbee®、KNX RF、Wi-SUN®、低功耗 Bluetooth® 5 和专有系统的 Sub-1GHz 和 2.4GHz 多协议无线 MCU。

CC1352R 器件是 CC26xx 和 CC13xx 系列中具有成本效益和超低功耗的 2.4GHz 和 Sub-1GHz 射频器件。极低的有源射频和微控制器 (MCU) 电流以及低于 1 μA 的睡眠电流和最高 80KB RAM 保持能力可确保卓越的电池寿命，并支持由小型纽扣电池供电以及在能量收集应用中运行。

CC1352R 器件在一个支持多个物理层和射频标准的平台上，将灵活的超低功耗射频收发器与强大的 48MHz Arm® Cortex®-M4F CPU 结合在一起。专用无线射频控制器 (Arm® Cortex®-M0) 可处理存储在 ROM 或 RAM 中的底层射频协议命令，因而可确保超低功耗和超高灵活性。CC1352R 器件的低功耗不会影响射频性能，CC1352R 器件具有优异的灵敏度和耐用 (选择性和阻断) 性能。

CC1352R 器件是高度集成的真正单芯片解决方案，整合了完整的射频系统和片上直流/直流转换器。

CC1352R 器件是 SimpleLink™ 微控制器 (MCU) 平台的一部分，该平台包括 Wi-Fi®、低功耗 Bluetooth®、Thread、ZigBee、Sub-1GHz MCU 和主机 MCU，它们共用一个通用、易于使用的开发环境，其中包含单核软件开发套件 (SDK) 和丰富的工具集。借助一次性集成的 SimpleLink 平台，您可以将产品系列中的任何器件组合添加到自己的设计中，从而在设计要求变更时实现 100% 的代码重用。有关更多信息，请访问 ti.com/simplelink。

在此参考设计中，CC1352R 用于连接以初始化 IWR1642，连接到无线传感器网络，并将所有人员计数和跟踪数据传输到该网络。

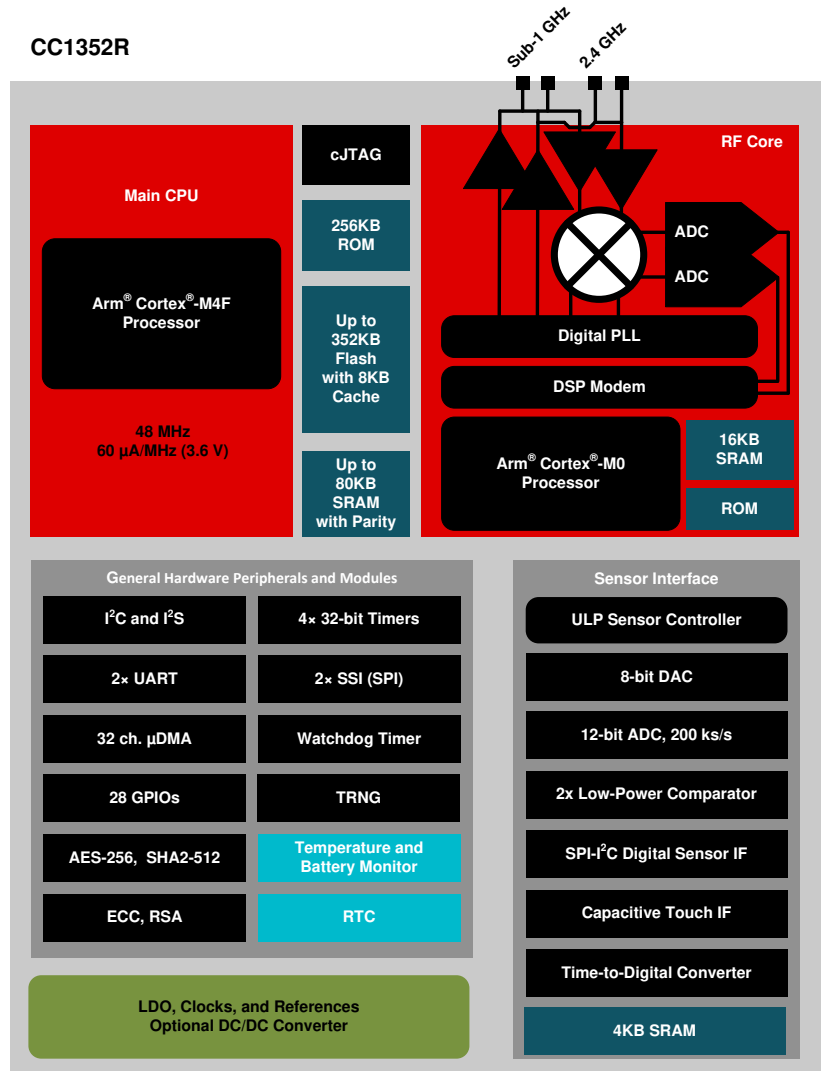


图 2-12. CC1352R 方框图

2.3.3 IWR6843ISK 和 MMWAVEICBOOST : 毫米波 EVM

IWR6843ISK 和 MMWAVEICBOOST 是毫米波 EVM 硬件平台的一部分。德州仪器 (TI) 的 IWR6843 工业入门套件 (IWR6843ISK) 是一款适用于 IWR6843 毫米波检测器件的易用评估模块，该电路板包含 60GHz 毫米波雷达收发器，其中蚀刻的天线充当雷达前端电路板。MMWAVEICBOOST 是一款可与所有入门套件中所用的 TI 毫米波传感器配合使用的附加电路板，可为毫米波传感器提供更多接口和 PC 连接。MMWAVEICBOOST 电路板为 mmWave Studio 工具提供了一个接口，用于配置雷达器件并使用 DCA1000 评估模块 (EVM) 等采集板采集原始模数转换器 (ADC) 数据。IWR6843ISK 和 MMWAVEICBOOST 包含开始为片上 C67x DSP 内核和低功耗 ARM R4F 控制器开发软件所需的一切资源。它提供通过 40 引脚 LaunchPad™/BoosterPack™ 连接器与 MSP43xx 电路板连接的接口。

IWR6843ISK 器件包含以下特性：

- 用于通过 LVDS 和跟踪数据功能传输原始模数转换器 (ADC) 数据的 60 引脚高密度 (HD) 连接器
- 远程板载天线
- 用于所有电压轨的电流传感器
- 板载 PMIC

MMWAVEICBOOST 器件包含以下特性：

- 使用两个 60 引脚高密度 (HD) 连接器的主机入门套件通过 CSI 或 LVDS 传输高速 ADC 数据和仿真器信号
- 配有在入门套件上进行闪存编程的串行端口且基于 FTDI 的 JTAG 仿真

- 基于 XDS110-UART 的 QSPI 闪存编程
- 用于连接 DCA1000 EVM 的 60 引脚 HD 连接器
- 两个 20 引脚 LaunchPad 连接器 (利用 TI 标准 LaunchPad 生态系统, 并通过雷达芯片实现所有数字控制)
- 两个板载控制器局域网 (CAN) 收发器
- 板载 PMIC
- 用于 JTAG 跟踪的 60 引脚 MIPI HD 连接器
- 板载 FTDI 芯片 (为串行外围接口 (SPI)、通用输入/输出 (GPIO) 控制和通用异步接收器/发送器 (UART) 记录器提供 PC 接口)
- 板载电流传感器和温度传感器

此参考设计使用 IWR6843ISK 和 MMWAVEICBOOST 来支持所有 IWR6843 功能。

2.3.4 LAUNCHXL-CC1352R1 : SimpleLink™ 多频带 CC1352R 无线 MCU LaunchPad™ 开发套件

CC1352R LaunchPad (LAUNCHXL-CC1352R1) 是一款采用 CC1352R 微控制器快速进行原型设计的微控制器开发套件。

- 具有低于 1GHz 无线的 LaunchPad, 适用于带有集成型 PCB 迹线天线的无线应用
- 宽带天线通过一个单板可支持欧洲 868MHz ISM 频带和美国 915MHz ISM 频带
- 借助板载仿真器, 立即着手在 CCS Cloud 中进行即时代码开发
- 可与 LaunchPad 套件和 SmartRF™ Studio 应用配合使用
- 通过 BoosterPack 插件模块连接器访问所有 I/O 信号
- 与 LCD BoosterPack 兼容

此参考设计使用两个 CC1352R LaunchPad 来实现传感器-收集器网络。

3 硬件、软件、测试要求和测试结果

3.1 所需的硬件和软件

以下各节介绍了开始“使用 Sub-1GHz 毫米波雷达传感器进行人员计数和跟踪”参考设计所需的硬件和软件。

3.1.1 硬件设置

TIDA-010022 设计需要以下硬件：

- 一个毫米波传感器承载卡平台 (MMWAVEICBOOST)
- 一个 IWR6843 智能毫米波传感器标准天线插件模块 (IWR6843ISK)
- 两个 CC1352 LaunchPad (LAUNCHXL-CC1352R1)
- 一个 5V、2.5A 或更大的直流电源

备注

在对 IWR6843 电路板进行任何硬件修改之前，请按照节 3.1.2 中的步骤对其进行刷写。

CC1352 LaunchPad 可在进行一些硬件修改后连接到 MMWAVEICBOOST 电路板。表 3-1 列出了 MMWAVEICBOOST 电路板的硬件修改。

表 3-1. MMWAVEICBOOST 硬件修改

修改	原因
移除 R91	断开 RADAR_HOSTINTR1 引脚与 LaunchPad 的连接
添加 R81	将 RADAR_MSS_LOGGER 引脚连接到 LaunchPad
添加 R122 并在 J13 引脚 2-3 上添加跳线	将 MMWAVEICBOOST 电路板上的 3.3V 电源轨连接到 CC1352 LaunchPad 上的 3.3V 电源轨
按如下方式配置多路复用器： S1.1 关闭：SPI1 (默认值) S1.1 关闭：SPI1 (默认值) S1.2 打开：40 引脚 S1.3 关闭：40 引脚/J16 S1.4 打开：FTDI/4 引脚/J16 (默认值) S1.5 关闭：40/60 引脚/FTDI S1.6 关闭：40/60 引脚 (默认值) S1.7 关闭：40/60 引脚 S1.8 打开：40 引脚 S1.9 关闭：60 引脚 S1.10 打开：FTDI S1.11 打开：FTDI S1.12 打开：XDS110 (默认值)	启用 40 引脚接口

需要从 MMWAVEICBOOST 电路板上移除的元素在图 3-1 中用红色方框标记。需要添加的元素用蓝色方框标记。无需对 IWR6843ISK 电路板进行修改。

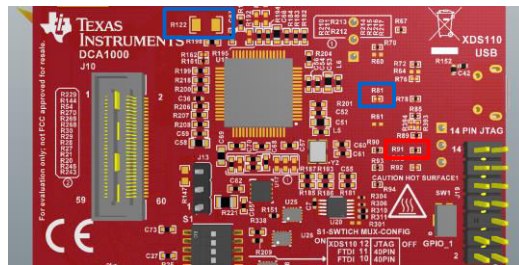


图 3-1. MMWAVEICBOOST PCB 布局前视图

需要对将用作传感器节点的 CC1352 LaunchPad 进行一些修改。移除以下跳线：“5V”、“3V3”、“RXD”和“TXD”，并将 XDS110 电源跳线切换到“外部”电源。移除 CC1352 LaunchPad 上用于外部天线（原理图上的 J7）的 SMA 连接器，使其与 MMWAVEICBOOST 电路板配合使用（请参阅图 3-2）。

无需对将用作收集器节点的 CC1352 LaunchPad 进行硬件修改。

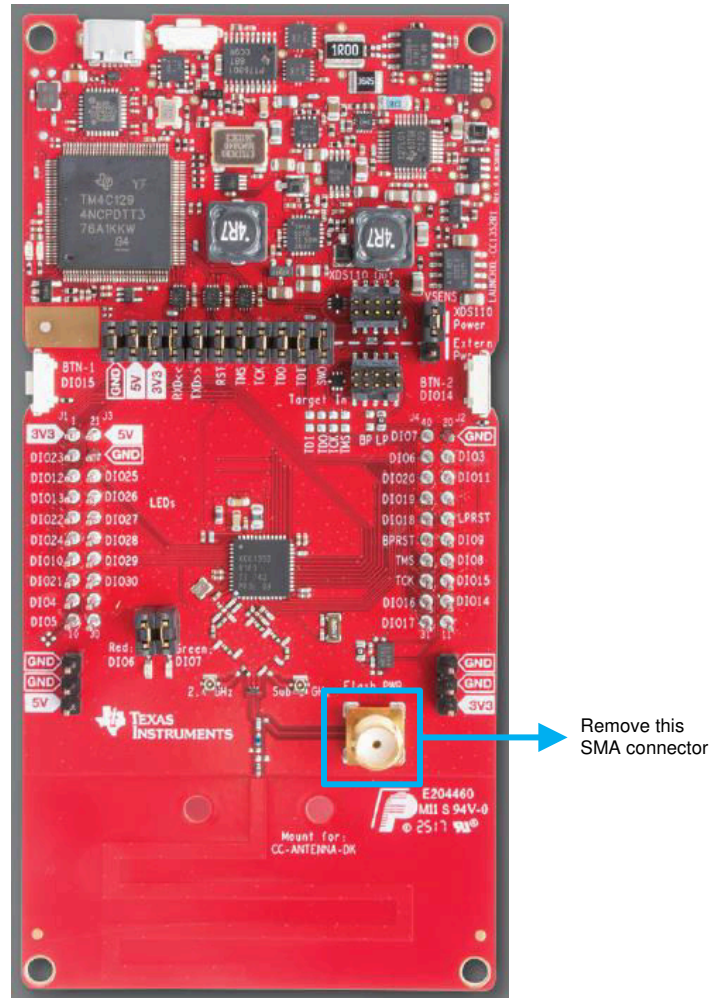


图 3-2. 要移除的 CC1352 中的 SMA 连接器（传感器板）

完成所有硬件修改后，可以将 IWR6843ISK 电路板、MMWAVEICBOOST 电路板和其中一个 CC1352 LaunchPad 组装在一起，形成传感器节点。

传感器节点（IWR6843 电路板 + CC1352）可通过将 5V 电源连接到 MMWAVEICEBOOST 电路板来供电，而收集器节点可通过连接 USB 电源来供电。

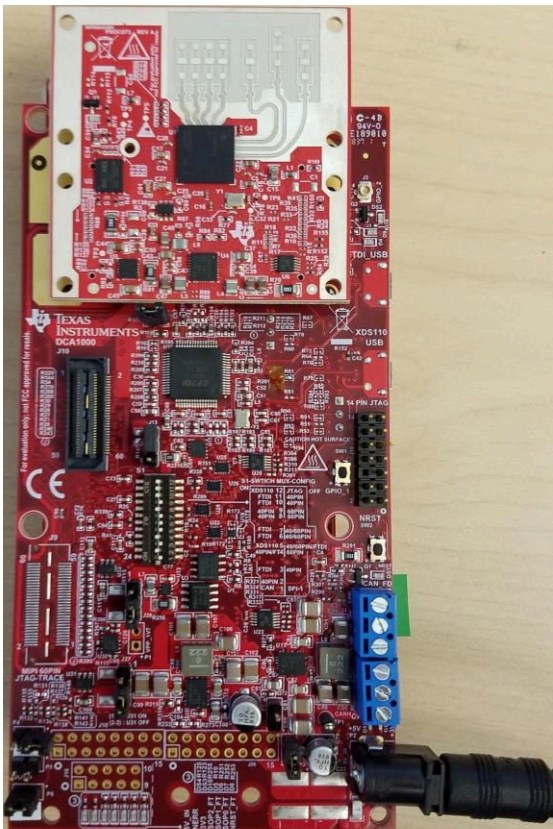


图 3-3. 传感器节点 (IWR6843 电路板 + CC1352) 电源

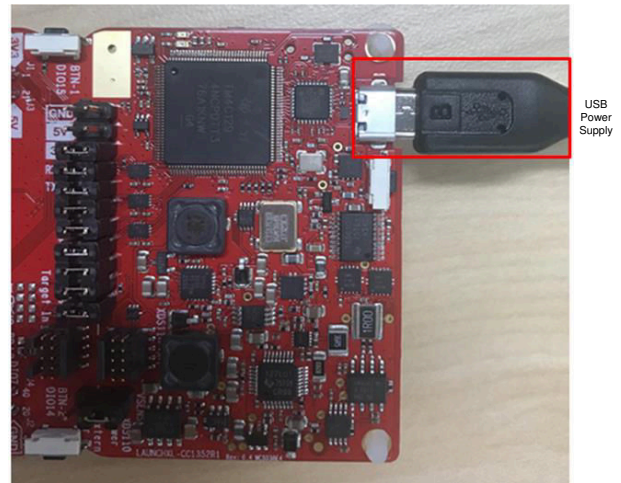


图 3-4. 收集器节点 (仅限 CC1352) 电源

3.1.2 软件设置

3.1.2.1 加载 CC1352 固件

按照以下步骤在 CC1352 LaunchPad 上加载固件：

1. 从 <http://www.ti.com.cn/tool/cn/UNIFLASH> 下载 UniFlash。
2. 打开 UniFlash 并将传感器节点和收集器节点连接到 PC。

备注

有关设置 IWR6843 电路板和 CC1352 LaunchPad 的详细信息，请参阅节 3.1.1。

3. 将 CC1352 插入 PC 后，UniFlash 将检测每个单独的器件。

备注

对传感器节点进行编程需要 5V 电源和 USB 电缆，但对收集器节点进行编程只需要 USB 电缆。

4. 突出显示要编程的器件，然后点击 **Start** 按钮。
5. 在 **Program** 部分的 **Flash Image(s)** 下，点击 **Browse** 按钮。
 - a. 如果加载收集器固件，请导航至 TIDA-010022 固件文件夹并选择 collector_cc1352r1lp.out 文件。
 - b. 如果加载传感器固件，请导航至 TIDA-010022 固件文件夹并选择 sensor_cc1352r1lp.out 文件。
6. 选择正确的图像文件后，点击 **Load Image** 按钮。
7. 如果成功加载图像，系统将显示消息 “[SUCCESS] Program Load completed successfully”。

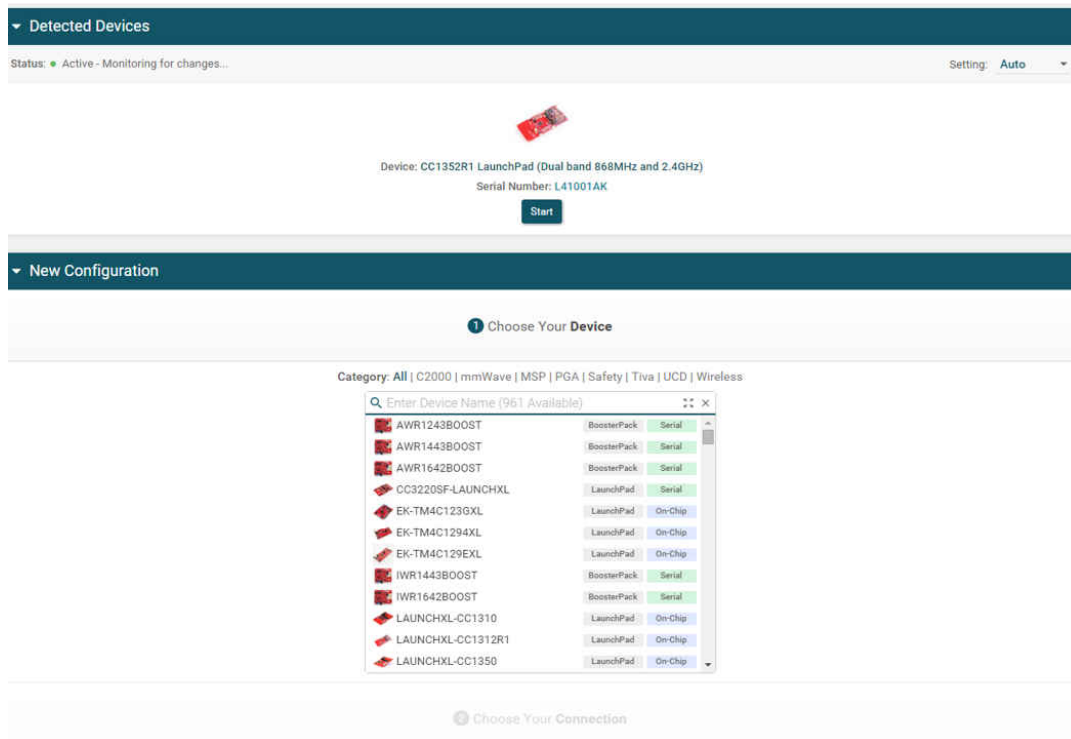


图 3-5. 检测的器件

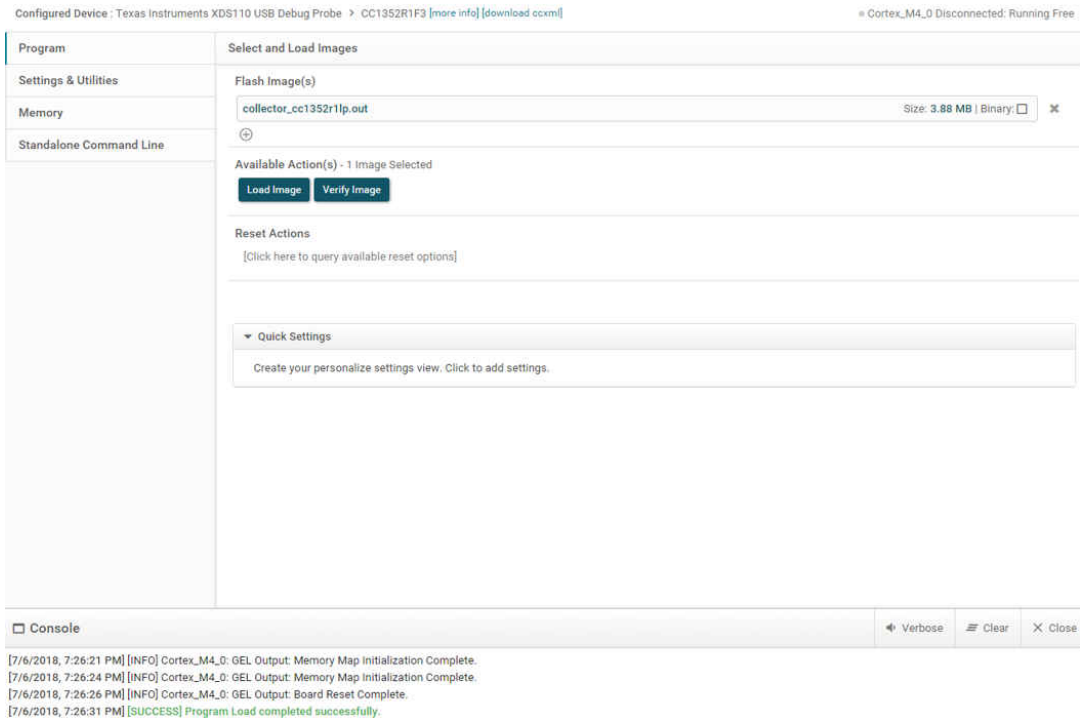


图 3-6. 成功加载图像

3.1.2.2 加载 IWR6843 固件

此参考设计使用毫米波传感器工业工具箱版本 3.2.0 中所含“68xx 人员计数”演示的二进制映像进行了测试，并包含该二进制映像。

按如下步骤加载 IWR6843 固件：

备注

确保 CC1352 LaunchPad 未连接到 MMWAVEICBOOST 电路板。

1. 如图 3-7 所示将 IWR6843ISK 电路板和 MMWAVEICBOOST 电路板连接在一起。
2. 将 micro-USB 电缆和 5V 电源插入毫米波板，如图 3-7 所示。

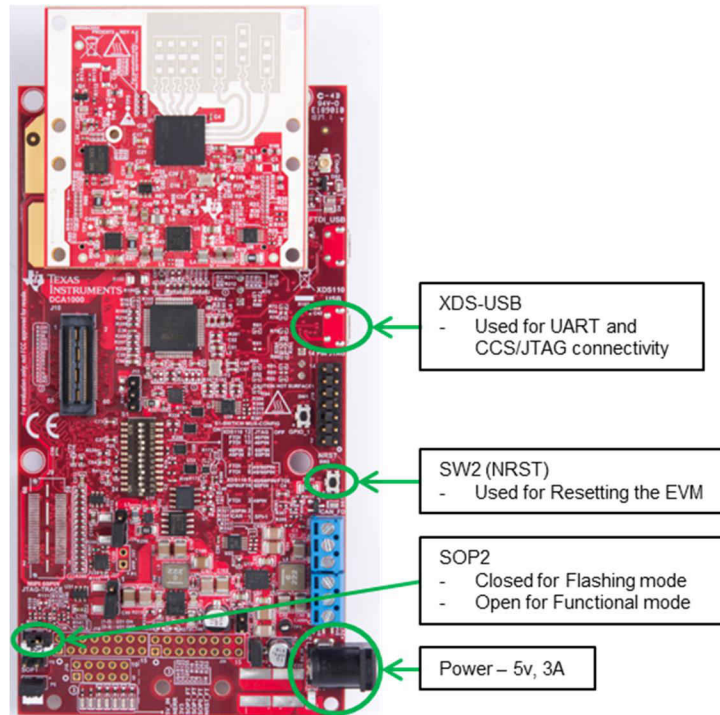


图 3-7. IWR6843ISK 电路板和 MMWAVEICBOOST 电路板

3. 将 mini-USB 电缆连接到 PC，并在 Windows 设备管理器中检查 COM 端口。图 3-8 显示了毫米波设置如何导出两个虚拟 COM 端口：
 - a. XDS110 Class Application/User UART (COM_{UART})：用于将配置数据和固件传递到毫米波板。
 - b. XDS110 Class Auxiliary Data Port (COM_{AUX})：用于发送经处理的雷达数据输出。

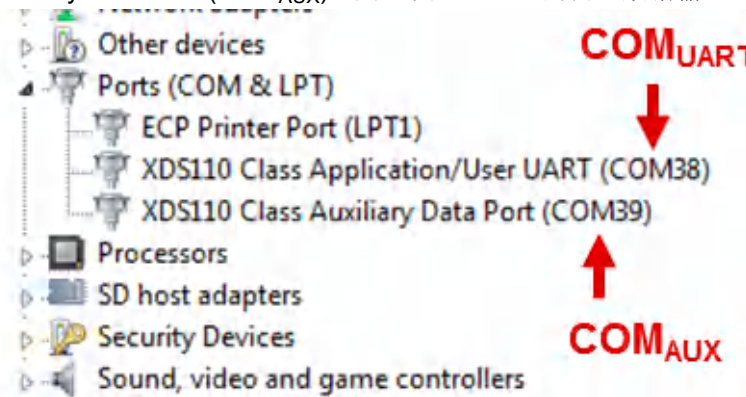


图 3-8. COM 端口标识

4. 通过在 SOP0 和 SOP2 上连接跳线，将 MMWAVEICBOOST 置于刷写模式，如图 3-9 所示。然后使用 SW2 复位 MMWAVEICBOOST。

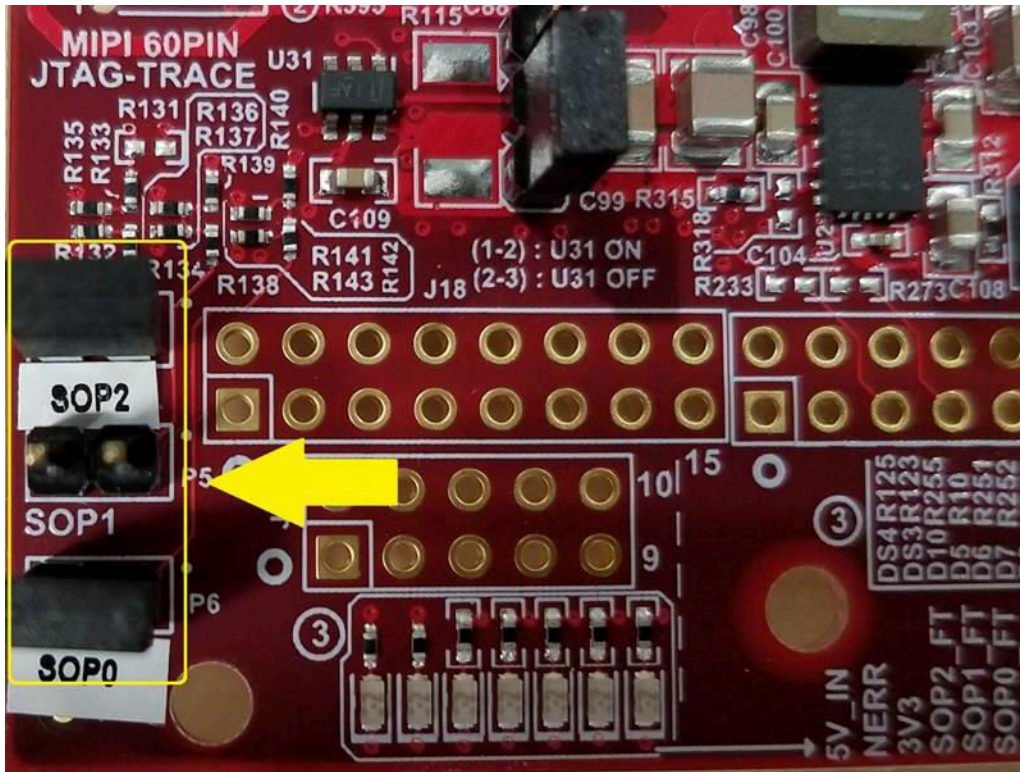


图 3-9. SOP0 和 SOP2 位置

5. 下载并打开 <http://www.ti.com.cn/tool/cn/UNIFLASH>。
6. 在 *New Configuration* 部分中，找到并选择 *IWR6843 ES1.0*。
7. 点击 *Start* 继续。
8. 点击 *Settings & Utilities* 选项卡。在“Setup”下的“COM Port”文本框中，填入之前记下的 Application/ User UART COM 端口号 (COM UART)。
9. 在 *Program* 选项卡中，浏览并找到 TIDA-010022 固件文件夹中的 *PC_lab_xwr68xx.bin* 文件。

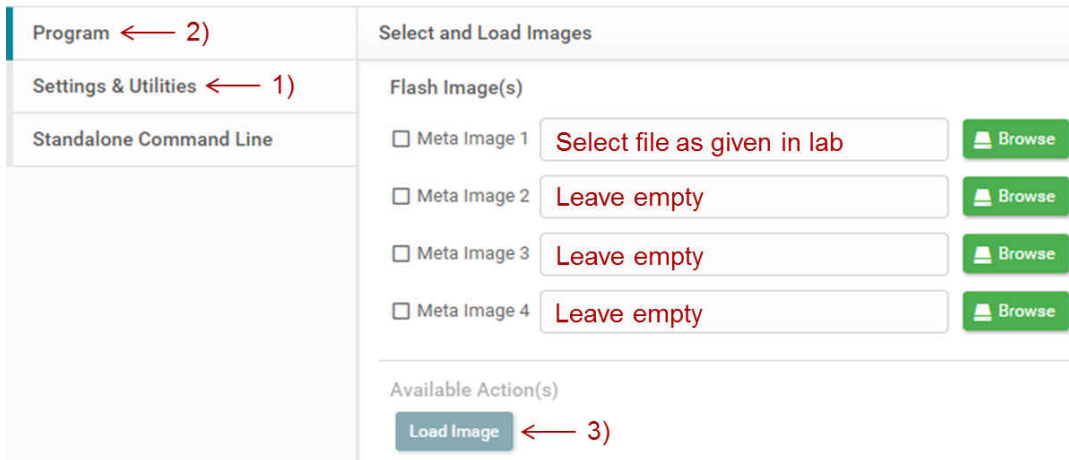


图 3-10. 加载图像

10. 使用 SW2 复位电路板，然后点击 *Load Image*。
 - a. 成功的刷写程序：UniFlash 控制台应指示：[SUCCESS] 成功完成程序加载
11. 关闭电路板电源，并仅拆下 SOP2 跳线。
12. 确保已拆下 SOP2 并对 IWR6843 电路板进行下电上电。这会使电路板返回功能模式。

3.1.2.3 启动固件

按照以下步骤在传感器和收集器节点上启动固件。有关设置传感器节点硬件的说明，请参阅节 3.1.1。

1. 先使用 USB 电源为收集器节点 (仅 CC1352) 供电，然后等待红色 LED 指示灯 “Red: DIO6” 点亮。
2. 使用 5.0V 电源为传感器节点 (IWR6843 电路板 + CC1352) 供电
3. 通过按下 MMWAVEICBOOST 电路板上的 “SW2 (NRST)” 按钮复位传感器节点 (请参阅图 3-11) 。
4. 按下 “BTN-2 DIO14” (在收集器节点上) 可允许节点加入网络，收集器节点上的 “Red: DIO6” LED 指示灯应闪烁以指示网络已打开。
5. 传感器加入网络后，其红色 LED 指示灯将点亮。
6. 按下 “BTN-2 DIO14” (在收集器节点上) 可停止允许新节点加入网络。
7. 传感器节点加入网络并等待 20 秒使 IWR6843 器件上电后，CC1352 器件将配置并启动毫米波。
8. 在传感器和收集器节点上，节点之间每成功传输一次，“Green: DIO7” LED 指示灯就会点亮一次。

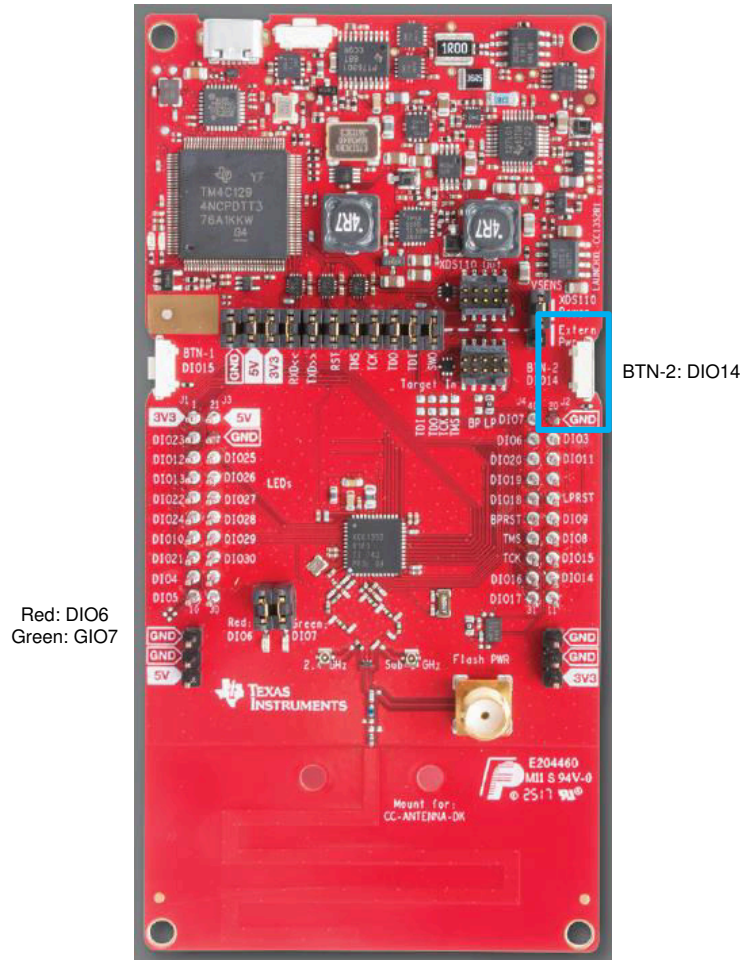


图 3-11. LED 指示灯和按钮的位置

3.1.2.4 生成固件

该 TI 设计的固件基于随附 TI 15.4 Stack 提供的收集器和传感器示例代码。该 TI 设计中包含补丁，用于对示例代码进行必要的更改。按照以下步骤应用补丁并构建示例代码。

1. 从 <http://www.ti.com.cn/tool/cn/SIMPLELINK-CC13X2-SDK> 下载 Simplelink-cc13x2-sdk (版本 2.10.00.48)。
2. “Project” > “Import CCS project”。
3. 在 C:\ti\simplelink_cc13x2_sdk_2_10_00_48\examples\rtos\CC1352R1_LAUNCHXL\ti154stack 目录中搜索。
4. 导入两个工程：collector_cc1352r1lp 和 sensor_cc1352r1lp。
5. 为收集器节点应用补丁：
 - a. 右键点击 collector_cc1352r1lp 并转到 “Team” > “Apply patch...”
 - b. 应用收集器补丁 (补丁位于 *Software Files* 中)
 - c. 右键点击 collector_cc1352r1lp 并转到 *Properties*
 - d. 在 *Include Options* 中，添加文件夹 \${PROJECT_ROOT}/Application/collector_new
 - e. 在 *Predefined Symbols* 中，添加 MMWAVE_SENSOR
6. 为传感器节点应用补丁：
 - a. 右键点击 sensor_cc1352r1lp 并转到 “Team” > “Apply patch...”
 - b. 应用传感器补丁 (补丁位于 *Software Files* 中)
 - c. 右键点击 sensor_cc1352r1lp 并转到 *Properties*
 - d. 在 *Include Options* 中，添加文件夹 \${PROJECT_ROOT}/Application/sensor_new
 - e. 在 *Predefined Symbols* 中，添加 MMWAVE_SENSOR
7. 使用 Code Composer Studio 构建收集器节点代码：
 - a. 选择并右键点击 “collector_cc1352r1lp”，找到并点击 *Build Project* 来构建工程
 - b. 成功构建工程后，Code Composer Studio 控制台下应显示 “**** Build Finished ****”。
8. 使用 Code Composer Studio 构建传感器节点代码：
 - a. 选择并右键点击 “sensor_cc1352r1lp”，找到并点击 “Build Project” 来构建工程
 - b. 成功构建工程后，Code Composer Studio 控制台下应显示 “**** Build Finished ****”。

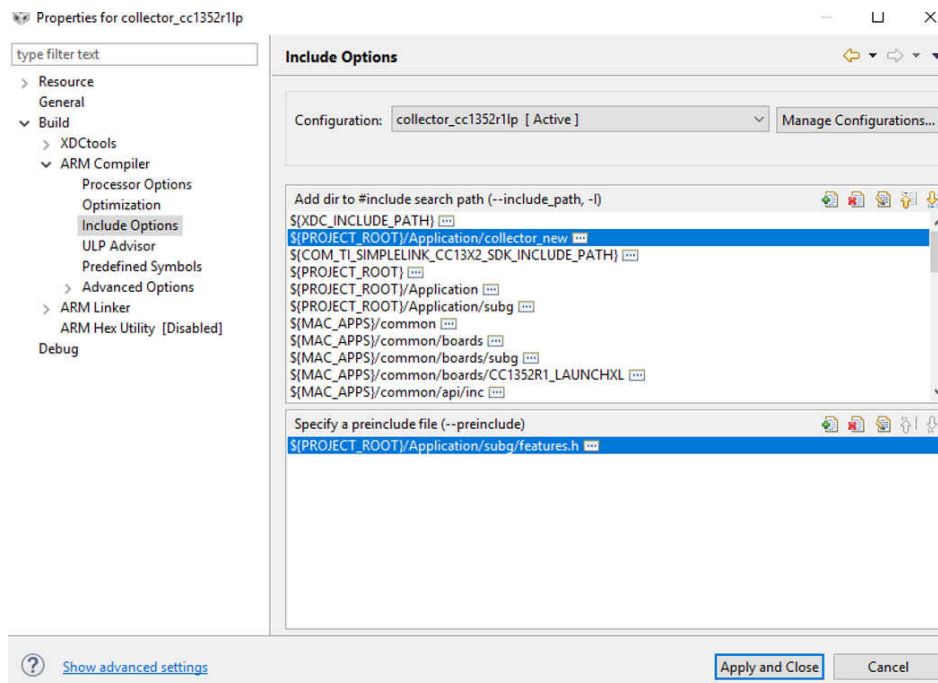


图 3-12. 为收集器节点添加包含选项

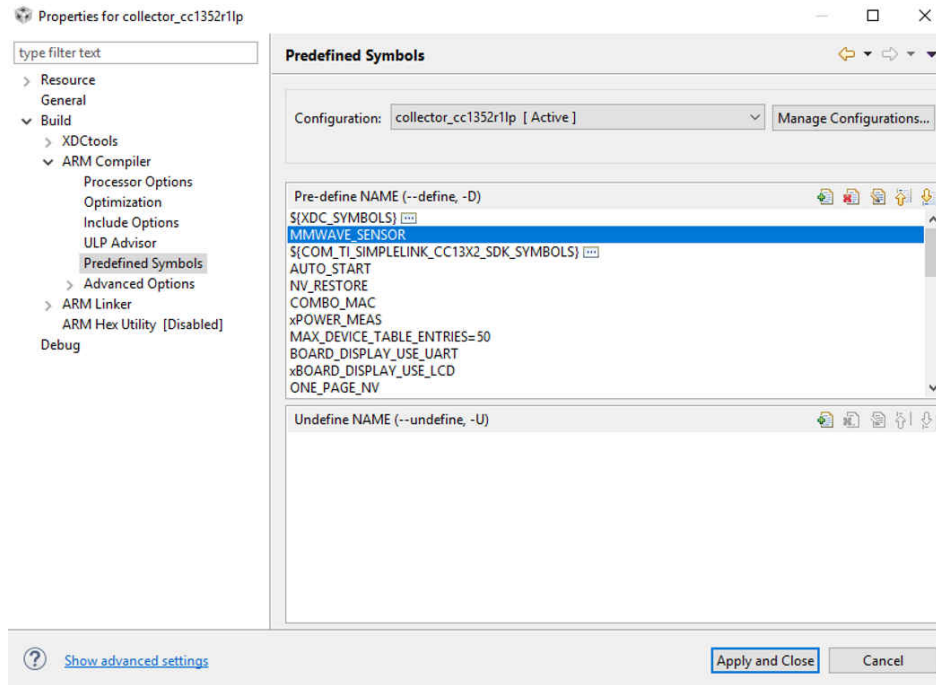


图 3-13. 为收集器节点添加预定义符号

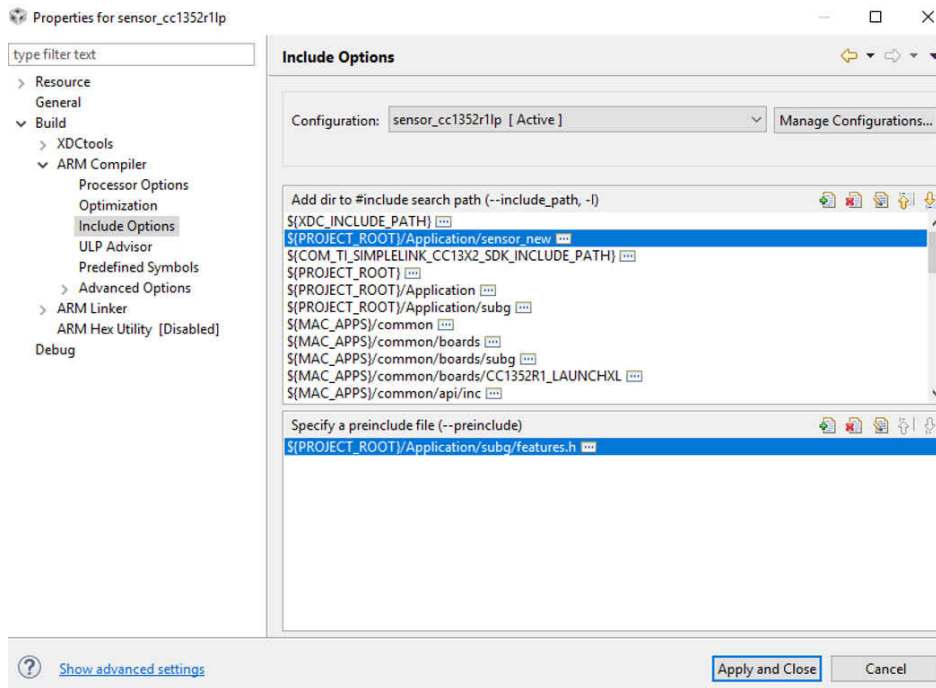


图 3-14. 为传感器节点添加包含选项

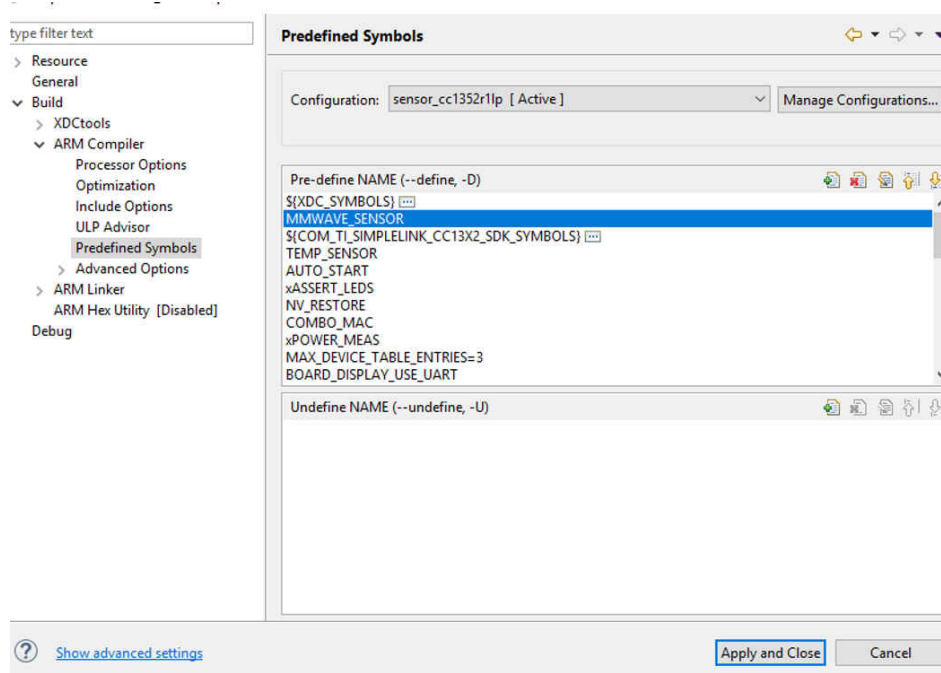


图 3-15. 为传感器节点添加预定义符号

3.1.2.5 查看收集器数据输出

当收集器节点 USB 连接到 PC 时，设备管理器应识别以下 COM 端口：

- XDS110 Class Application/User UART
- XDS110 Class Auxiliary Data Port

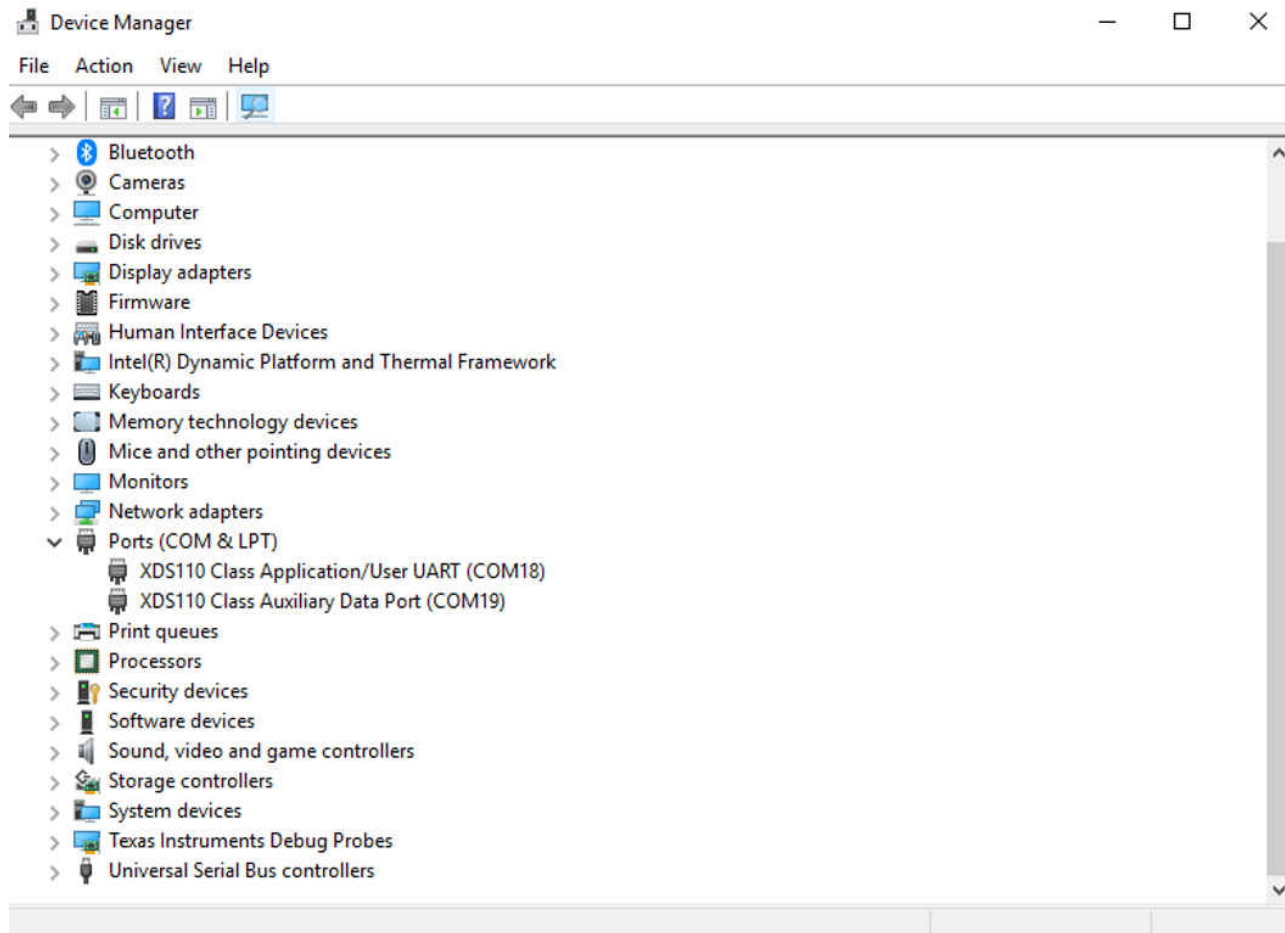


图 3-16. COM 端口

启动 TeraTerm，选择“Serial”并从下拉菜单中选择 XDS110 Class Application/User UART COM 端口，然后点击 OK 按钮。验证该 COM 端口具有图 3-17 所示的设置。

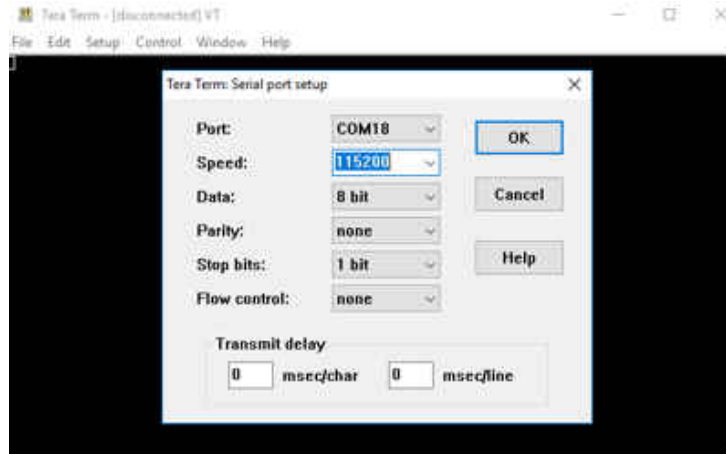


图 3-17. TeraTerm 设置

包含一个 TeraTerm 宏来解析收集器节点的输出。要启动宏，请选择“Control”菜单，然后选择“Macro”选项。导航到 TIDA-010022 固件文件夹并选择“mmWave_collector_macro.ttl”。



图 3-18. 宏

3.1.2.6 修改毫米波配置

可以按照以下步骤修改毫米波配置：

1. 从节 3.1.2.4 的构建固件中应用补丁后，转到 “sensor_cc1352r1p” -> “Application” -> “sensor_new” -> “mmwave_sensor.c”
2. 在 “mmwave_sensor.c” 中，找到 “const char *CommandList[]”。
3. 根据需要添加、删除或修改命令，然后重新编译传感器工程。

```
const char *CommandList[] = {"dfeDataOutputMode 1\r",
    "channelCfg 15 5 0\r",
    "adccfg 2 1\r",
    "adcbufCfg 0 1 1 1\r",
    "profileCfg 0 60.6 30 10 62 0 0 53 1 128 2500 0 0 30\r",
    "chirpCfg 0 0 0 0 0 0 1\r",
    "chirpCfg 1 1 0 0 0 0 4\r",
    "frameCfg 0 1 128 0 50 1 0\r",
    "lowPower 0 1\r",
    "guiMonitor 1 1 0 0\r",
    "cfarCfg 6 4 4 4 4 16 16 4 4 50 62 0\r",
    "doaCfg 600 1875 30 1 1 0\r",
    "sceneryParam -6 6 0.5 6\r",
    "gatingParam 4 3 2 0\r",
    "stateParam 10 5 100 100 5\r",
    "allocationParam 250 250 0.25 10 1 2\r",
    "accelerationParam 1 1 1\r",
    "pointCloudEn 0\r",
    "trackingCfg 1 2 250 20 52 82 50 90\r",
    "sensorStart\r"
};
```

3.2 测试和结果

3.2.1 测试设置

3.2.1.1 人员计数设置

为获得理想效果，传感器节点应放置在足够高的位置，以高于被跟踪物体的顶部，并略微下倾。目的是定位传感器节点，使天线波束可以包含目标区域。如果下倾太严重，则地面杂波的噪声会增加，而有效检测面积会减小。如果没有下倾，则当一个人与另一个人排成一行并被这个人遮挡时，计数性能会更差。考虑到传感器节点的天线辐射方向图，应注意不要将传感器节点安装得太近，也不要将波束朝向天花板，因为这会增加本底噪声，导致性能不太理想。

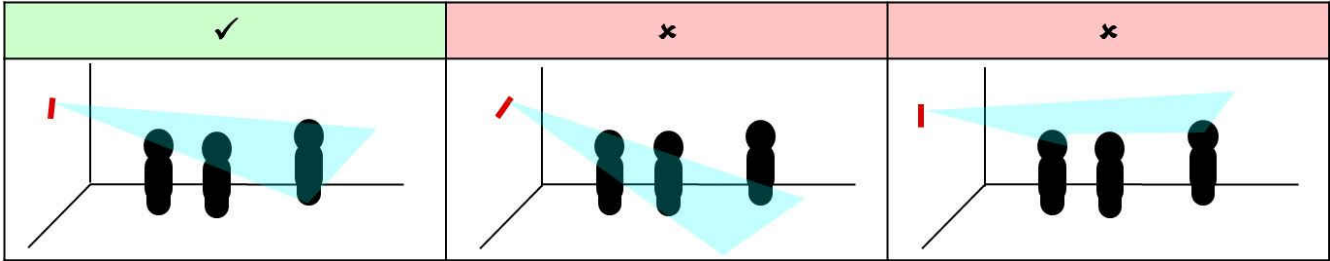


图 3-19. 传感器节点 (IWR6843 + CC1352) 设置

设置要求：

- 将传感器节点升高 1.5 - 2.5m
- 下倾：约 10 度

使用建议的三脚架和智能手机固定支架进行安装：

1. 将固定支架拧到三脚架上
2. 将传感器节点横跨其宽度夹在电源桶插孔下方，以连接传感器节点。
3. 调整三脚架云台，使其下倾约 10 度（提示：气泡水平仪智能手机应用可用于测量下倾角）
4. 将 5V 电源插入传感器节点
5. 伸出三脚架，将传感器节点抬升至离地面 1.5m 至 2.5m 的高度
6. 将传感器节点和三脚架组件放置在室内所需位置。传感器节点的位置应确保雷达天线的 120 度 FOV 包含目标区域并指向人们预计进入该空间的区域。

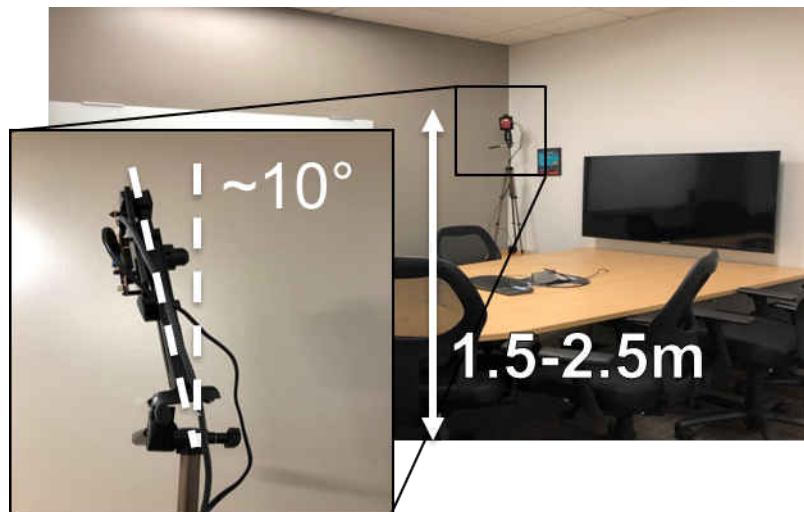


图 3-20. 使用固定支架进行安装

3.2.1.2 功耗

可通过将台式电源连接到传感器 (IWR6843 + CC1352) 来测量该传感器的功耗。

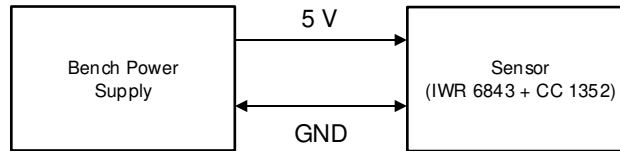


图 3-21. 使用台式电源的功耗测量示意图

3.2.1.3 无线射频范围

Sub-1GHz 无线射频的范围是使用两个 CC1352 LaunchPad 测得。一个 CC1352 LaunchPad 设置为收集器，另一个设置为传感器。对于此测试，当收集器 LaunchPad 移开时，传感器 LaunchPad 保持在静止位置。在收集器 LaunchPad 移动期间，收集器不断从传感器接收数据，以确保不断传输无线电数据包。然后测量不再接收数据包时的距离。

3.2.2 测试结果

3.2.2.1 人员计数测试结果

有关人员计数测试结果的更多详细信息，请参阅 [使用毫米波雷达传感器的人员跟踪和计数参考设计](#)。

3.2.2.2 电源表征

表 3-2 提供了电源测量的结果。电流是在 MMWAVEICBOOST 电路板的输入端测得。电流消耗包括 IWR6843 和 CC1352 电路板上的所有器件。

表 3-2. 电源表征

传感器状态	说明	测量
复位	所有电路板处于复位模式	$5V \times 287mA = 1.44W$
空闲	毫米波雷达处于非运行状态，没有无线数据包	$5V \times 500mA = 2.50W$
运行	毫米波雷达主动跟踪和无线通信	$5V \times 670mA = 3.35W$

3.2.2.3 无线射频范围结果

在具有直接视线的典型办公环境中，测得的无线射频范围约为 70m。

可以通过一些方法进一步增加这个距离。使用带增益的鞭形天线代替无源 PCB 天线可扩大无线射频范围。另一种选择是增加 CC1352 器件的发射功率，但这会增加无线电传输时间间隔内的电源电流。

4 设计文件

4.1 原理图

要下载电路板的原理图，请参阅位于 [TIDA-010022](#) 的设计文件。

4.2 物料清单

要下载电路板的物料清单，请参阅位于 [TIDA-010022](#) 的设计文件。

4.3 PCB 布局建议

要下载电路板的 PCB 布局建议，请参阅位于 [TIDA-010022](#) 的设计文件。

4.4 Altium 项目

要下载电路板的 Altium Designer® 工程，请参阅位于 [TIDA-010022](#) 的设计文件。

4.5 Gerber 文件

要下载电路板的 Gerber 文件，请参阅位于 [TIDA-010022](#) 的设计文件。

4.6 装配图

要下载电路板的装配图，请参阅位于 [TIDA-010022](#) 的设计文件。

5 软件文件

要下载软件文件，请参阅位于 [TIDA-010022](#) 的设计文件。

6 相关文档

1. 德州仪器 (TI)，[“IWR6843 单芯片 60GHz 至 64GHz 毫米波传感器”数据表](#)
2. 德州仪器 (TI)，[“CC1352R SimpleLink™ 高性能双频带无线 MCU”数据表](#)
3. 德州仪器 (TI)，[“LP87702-Q1 具有诊断功能的双路降压转换器和 5V 升压转换器”数据表](#)
4. 德州仪器 (TI)，[“LM53625/35-Q1 2.5A 或 3.5A、36V 同步 2.1MHz 降压直流/直流转换器”数据表](#)
5. 德州仪器 (TI)，[“使用毫米波雷达传感器的人员跟踪和计数参考设计”设计指南](#)

7 商标

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

BoosterPack™ are trademarks of TI.

MATLAB® is a registered trademark of The MathWorks, Inc..

Altium Designer® is a registered trademark of Altium LLC.

所有商标均为其各自所有者的财产。

8 关于作者

LING LIN 是德州仪器 (TI) 楼宇自动化系统工程营销 (SEM) 业务部的实习生，负责为毫米波雷达传感器与双频带无线通信器件之间的连接开发参考设计解决方案。Ling 刚刚完成在佛罗里达大学的本科学习，将继续在德克萨斯大学奥斯汀分校攻读研究生。

GUSTAVO MARTINEZ 是德州仪器 (TI) 的高级系统架构师，负责开发面向工业应用的参考设计。Gustavo 在开发适用于智能电网和家庭自动化领域的系统参考设计（其中包括高性能应用处理器、浮点数字信号处理器和射频技术）方面拥有丰富的经验。Gustavo 在休斯顿大学获得了电气工程硕士学位，并在德克萨斯大学埃尔帕索分校获得了电气工程理学学士学位。

CHRISTINA L. LEE 是德州仪器 (TI) 的系统架构师，负责为工业领域的参考设计解决方案开发固件。Christina 拥有丰富的应用处理器、微控制器和数字信号处理器嵌入式固件开发经验。Christina 拥有德克萨斯大学奥斯汀分校的电气及计算机工程硕士学位 (BS)。

9 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision A (March 2019) to Revision B (April 2023) Page

- 更新了整个文档的表、图和交叉参考的编号格式..... 1

Changes from Revision * (August 2018) to Revision A (March 2019) Page

- 通篇将 IWR1642 更改为 IWR6843..... 1
- 从“资源”中删除了 IWR1642、LP87524B-Q1、TPS7A8101 和 TPS7A88-Q1..... 1
- 向“资源”添加了 IWR6843、MMWAVEICBOOST、IWR6843ISK、LP87702-Q1、LM53635-Q1..... 1
- 更改了 TIDA-010022 方框图图像..... 3
- 更改了 IWR6843 UART 通信图像..... 4
- 更改了 IWR6843 芯片的电压轨要求..... 6
- 删除了“传感器数据包”图像..... 8
- 添加了代码..... 8
- 删除了“毫米波近距离配置命令列表”图像..... 9
- 添加了代码..... 9
- 删除了“LP87524B-Q1 和 LP87524J-Q1 具有集成开关的 4A + 2.5A + 两个 1.5A 降压转换器”、“TPS7A8101 低噪声、高带宽、高 PSRR、低压降 1A 线性稳压器”和“TPS7A88-Q1 汽车类、双路、1A、低噪声 (4 μ V_{RMS}) LDO 稳压器”部分..... 9
- 添加了“IWR6843ISK 和 MMWAVEICBOOST：毫米波 EVM”部分..... 11
- 添加了“IWR6843ISK 和 MMWAVEICBOOST：毫米波 EVM”部分..... 11
- 添加了 LAUNCHXL-CC1352R1：“SimpleLink™ 多频带 CC1352R 无线 MCU LaunchPad™ 开发套件”部分..... 12
- 添加了硬件要求..... 13
- 将“IWR1642 BoosterPack 硬件修改”表的标题更改为“MMWAVEICBOOST 硬件修改”..... 13
- 更改了“MMWAVEICBOOST 硬件修改”表中的信息..... 13
- 更改了 MMWAVEICBOOST PCB 布局前视图图像..... 13
- 删除了“默认跳线设置”、“移除四根跳线后”、“默认 XDS110 电源跳线设置”以及“将 XDS110 电源跳线切换为“外部”电源后”等图像..... 13
- 更改了“传感器节点 (IWR6843 电路板 + CC1352) 电源”图像..... 13
- 向“加载 IWR6843 固件”部分添加了信息..... 17
- 更改了 SOP0 和 SOP2 位置图像..... 17
- 添加了启动固件的步骤..... 20
- 添加了代码..... 26
- 删除了“毫米波近距离配置命令列表”图像..... 26
- 更改了“使用台式电源的功耗测量示意图”图像..... 27
- 更改了“电源表征”部分中的信息..... 28

重要声明和免责声明

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、某特定用途方面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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/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。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司