

## Design Guide: TIDEP-01040

## 适用于工业应用的晶圆芯片级封装 60GHz 毫米波传感器参考设计

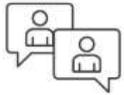


## 说明

该参考设计适用于要求外形小巧、功耗低的应用。该设计基于 TI 的 IWRL6432W 60GHz 毫米波雷达器件，采用由 Isola® 的 FR408HR 材料制成的四层 PCB 堆叠结构。该参考设计还有一款外形更小巧的版本，但没有调试和评估接口。

## 资源

<a href="#">TIDEP-01040</a>	设计文件夹
<a href="#">IWRL6432W</a>	产品文件夹
<a href="#">TPS6285020MDRLR</a>	产品文件夹



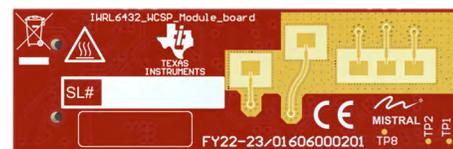
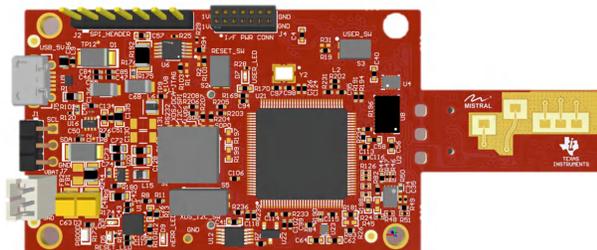
请咨询我司 TI E2E™ 支持专家

## 特性

- 单路 1.8V 电源轨
- 基于 FR408HR 的四层 PCB 堆叠结构
- 设计尺寸：
  - IWRL6432W 参考设计：89mm × 37mm
  - IWRL6432W 小巧型参考设计：12.6mm × 39mm
- 采用 IWRL6432W 的低功耗、低成本 60GHz 毫米波传感器
- 通信接口：UART、SPI、I2C 和 RS232
  - 参考设计具有 XDS110 调试探头和用于采集 LVDS 数据的 60 引脚接头
- 天线特性：
  - 单元件贴片天线阵列
  - 120° 视场
  - 方位角平面上具有 23° 角分辨率，仰角平面上具有 58° 角分辨率
  - 视轴上的人类检测距离最远可达 15 米
  - 4GHz 带宽

## 应用

- 个人电子产品
- PC 和笔记本电脑
- 电视
- 楼宇自动化
- 照明



## 1 系统说明

配备雷达的工业应用，如工业楼宇自动化、停车场自动化、个人电子产品、照明和其他终端设备，提高了日常生活的生活质量并带来了安全优势。

调频连续波 (FMCW) 雷达可以精确测量距离、角分辨率和相对速度。因为这种功用，雷达广泛用于存在检测、运动检测、跟踪等其他许多应用。相较于摄像头以及基于光探测和测距 (lidar) 的系统，雷达的一个重要优势是：雷达受尘土和烟雾等环境条件的影响相对较小。FMCW 雷达能够在完全黑暗和强光环境中正常工作，因为雷达不受眩光影响。

此参考设计采用小尺寸 60GHz 毫米波设计，其使用了晶圆芯片级封装 (WCSP) 单芯片，封装尺寸为 4.89mm × 4.5mm，物料清单 (BOM) 经过优化。该设计具有简化的原理图和小型的四层布局，因此易于集成。天线在 PCB 底层开发，而毫米波器件位于顶层。这样可以提供更小的外形尺寸。天线在方位角和仰角平面上提供  $\pm 60^\circ$  的视场。该参考设计采用 XDS110 (UART 和 JTAG) 调试探针和 60 引脚连接器，用于高速 LVDS 数据采集 (使用了板载差分 LVDS 驱动器)，用于评估目的。该参考设计还有一款外形小巧的版本，但该版本没有额外调试和评估接口。

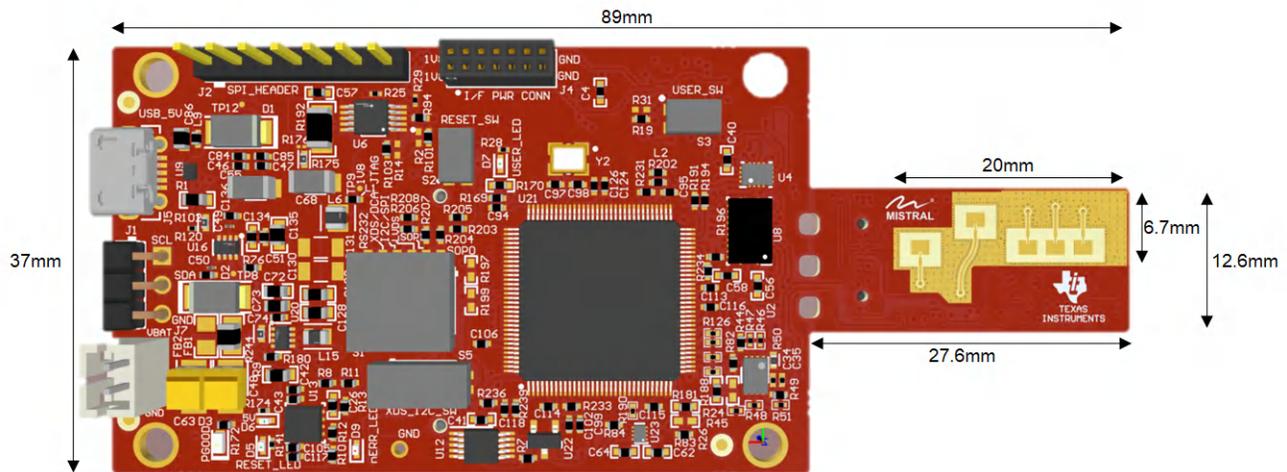


图 1-1. IWRL6432W 参考设计尺寸

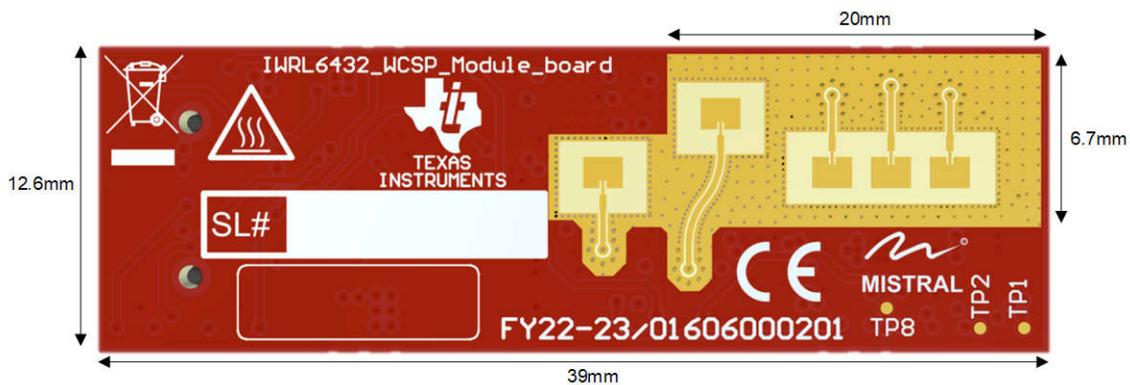


图 1-2. 小巧型参考设计尺寸

## 2 系统概述

### 2.1 方框图

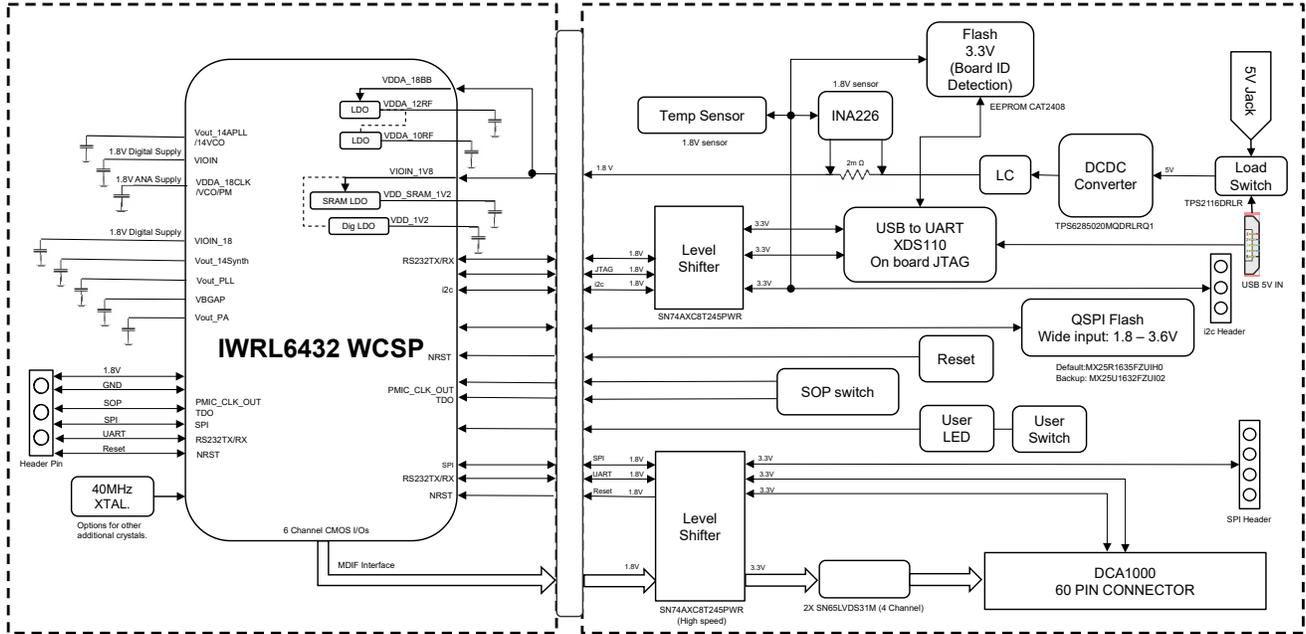


图 2-1. IWRL6432W 参考设计功能方框图

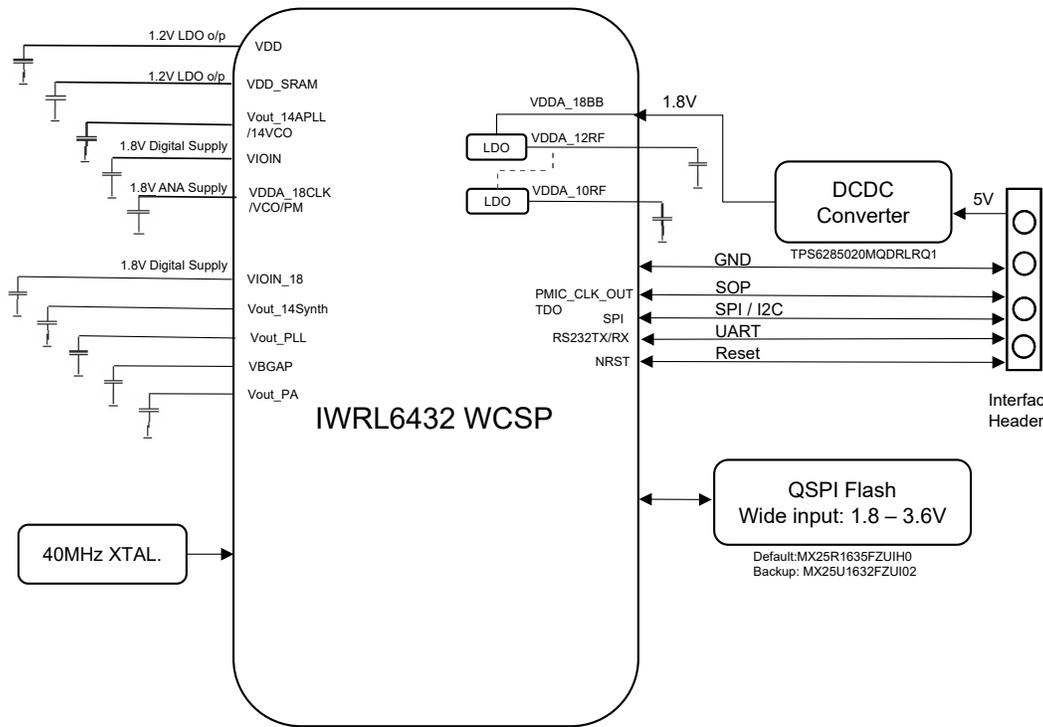


图 2-2. IWRL6432W 小巧型参考设计

## 2.2 设计注意事项

此参考设计适用于需要更低功耗、更低 BOM 成本以及更小传感器尺寸的应用。以下是主要的设计注意事项：

- **低功耗**  
该设计在运动和存在检测、手势识别应用中能够降低功耗。
- **低成本**  
该设计具有更低的 BOM 成本。
- **总体尺寸小**  
该参考设计具有小巧的外形，适用于空间受限的环境，例如电视、监视器和数码相框。在这些及类似终端设备中，通常需要将雷达放置在边框区域。因此，必须优化天线区域，使其适合目前宽度经常小于 2cm 的区域。
- **天线视场 (FoV) 和角度分辨率**  
该天线设计具有较宽的 FoV 和良好的角分辨率，有助于覆盖更大的区域。

### 2.2.1 参考设计特性

参考设计采用 IWRL6432W 的单电源轨、BOM 优化型拓扑。该设计中包括一个用于存储应用程序的四线串行外设接口 (QSPI) 闪存、一个作为时钟源的 40MHz XTAL，以及一个由两个发送器和三个接收器组成的天线阵列来与雷达器件配合使用。该参考设计还通过 USB 电源提供板载配电，并配备 XDS110 调试探针和 LVDS 接口。此参考设计具有板载电平转换器，可将 IO 电压从器件 IO 电压 1.8V 转换为 3.3V，以进行主机通信。

IWRL6432W 参考设计的对应小巧型器件仅具有：在单轨 BOM 优化型拓扑中运行的雷达器件、作为时钟源的 40MHz 晶体、QSPI 闪存以及由两个发送器和三个接收器组成的天线阵列。该小巧型参考设计具有适用于外部电源和通信接口的 14 引脚连接器。SPI、I2C 和 RS232 通信接口可用于小巧型参考设计。

#### 备注

该小巧型参考设计采用 5V 外部电源。该器件使用板载直流/直流稳压器中 5V 外部电源产生的 1.8V 单轨电源运行。器件的 IO 电平设置为 1.8V。因此，对于外部通信或主机通信，需要匹配 IO 电压电平。

表 2-1 简要说明了参考设计电路板特性及其基本元件。

表 2-1. 参考设计电路板特征

特性	说明
IWRL6432W	具有集成本地振荡器、3 个 RX 和 2 个 TX 的低功耗、低成本单芯片雷达收发器
2 个 TX 和 3 个 RX 天线	具有 120° FoV 的单元贴片天线
方位角阵列	该天线设计形成了一个的 5 元件虚拟阵列，能够提供 23° 角分辨率
仰角阵列	2 元件虚拟阵列 - 能够提供 58 度角分辨率
时钟源	40MHz 晶体振荡器
QSPI 闪存	超低功耗、80MHz、16Mbit 闪存存储器
串行外设	SPI、I2C、UART
评估选项 (仅适用于参考设计)	XDS110、LVDS

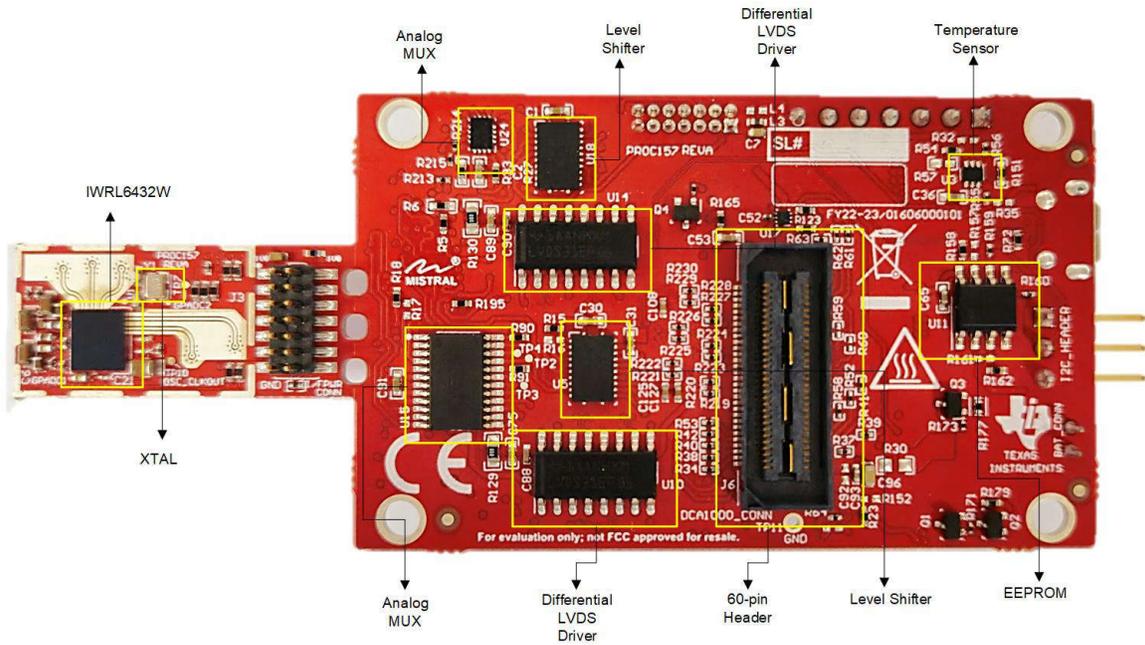


图 2-3. IWRL6432W 参考设计标记：顶层

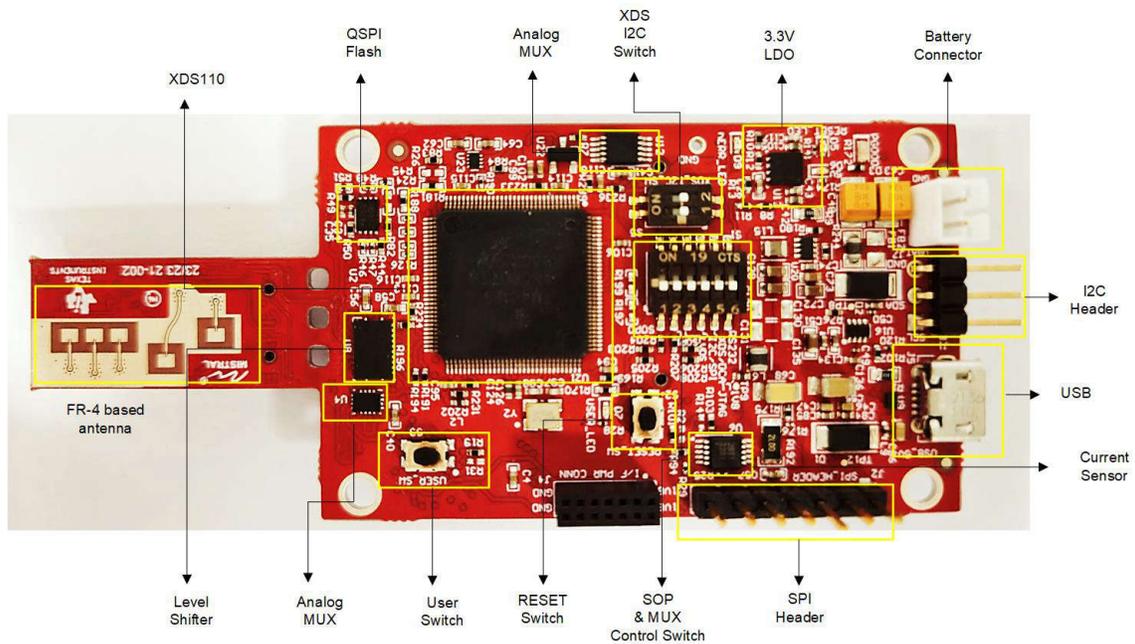


图 2-4. IWRL6432W 参考设计标记：底层

### 2.2.2 开关设置

开关-1 (S1) 控制不同通信接口的器件电源检测 (SOP) 和多路复用器。下表说明了开关位置和相应的控件。

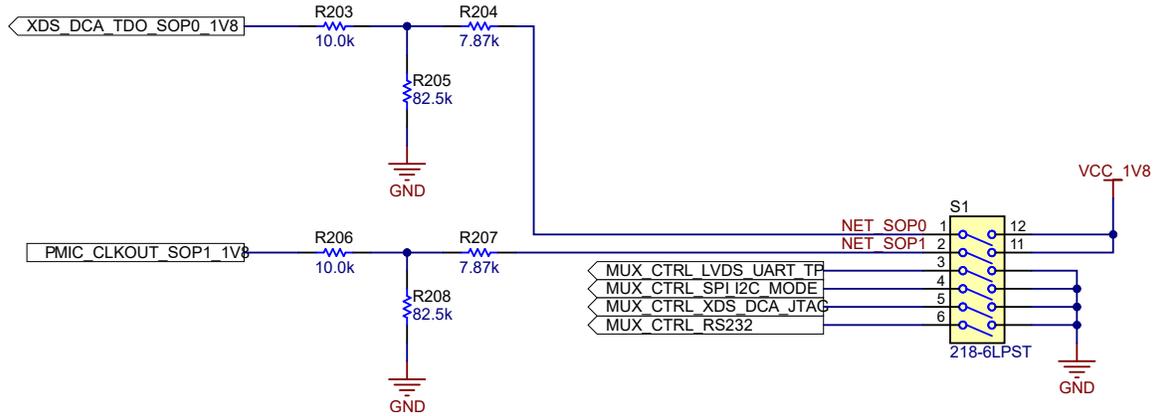


图 2-5. 开关-1 (S1)

表 2-2. SOP 配置

SOP 模式	器件功能	SOP1 (S1.2)	SOP0 (S1.1)
SOP_MODE1	器件管理模式, QSPI 刷写模式	0	0
SOP_MODE2	应用模式, 功能模式	0	1
SOP_MODE4	调试模式、mmWave studio 连接模式	1	1

表 2-3. MUX 表

SWITCH	开关位置关闭	开关位置打开
S1.3	LVDS	XDS_UARTA、NERROR_LED、WATCH_DOG_TP、RTC_CLK_IN_TP、HOST_CLK_TP
S1.4	I2C、REG_MODE、USER_LED_SW	SPI、HOST_INTR
S1.5	XDS_JTAG	DCA_JTAG
S1.6	XDS_RS232	DCA_RS232

## 2.3 重点产品

### 2.3.1 IWRL6432W

[IWRL6432W](#) 是 TI 的低功耗低成本雷达，具有行业领先的射频性能。IWRL6432W 是一款集成式单芯片低功耗调频连续波 (FMCW) 雷达传感器，工作频段为 57GHz 至 63.9GHz。该器件采用 TI 的低功耗 45nm 射频互补金属氧化物半导体 (CMOS) 工艺进行构建，并且在超小封装中实现了出色的集成度。该器件配备三个接收器和两个发送器，采用二进制相位调制，适用于 MIMO 雷达和 TX 波束形成应用，同时支持可编程发射器功率回退功能。

该单芯片雷达收发器集成了 160MHz 的 Arm® Cortex® M4F、80MHz 的 ARM Cortex M3F 以及 80MHz 的雷达硬件加速器 (HWA)，用于雷达信号处理。该器件支持高达 5MHz 的中频 (IF) 带宽。

IWRL6432W 专为工业 ( 和个人电子产品 ) 领域的低功耗、自监控、超精确雷达系统而设计，适用于楼宇或工厂自动化、商业或住宅安全、个人电子产品、存在或运动检测以及用于人机界面 (HMI) 的手势检测或识别等应用。

### 2.3.2 晶体

Diodes Incorporated® FW4000044Q 石英晶体陶瓷表面贴装器件用作 40MHz 时钟源。该晶体具有 ±10ppm 的频率容差、8pF 的负载电容和 50Ω 的 ESR。

### 2.3.3 TPS6285020M - 1.8V 直流/直流稳压器

TPS6285020M 是 TI 的 2A ( 连续 ) 高效同步降压固定 1.8V 输出直流/直流转换器，此参考设计中使用了该转换器来为 1.8V 电源轨供电。

需要满足器件 1.8V 电源轨的峰值电流要求。另请参阅 [IWRL6432 WCSP 单芯片 57GHz 至 64GHz 工业雷达传感器](#) 数据表中的 [每个电压轨的峰值电流要求](#) 部分，以了解更多详细信息。除了电流要求外，直流/直流稳压器还需要具有 [强制 PWM 模式 \( 或自动开关模式 \)](#) 和 [展频时钟 \(SSC\)](#) 功能。

---

#### 备注

如果需要在器件的深度睡眠条件下优化总体系统功耗，而此时通常处于轻负载条件下，则可以启用自动开关模式。在此模式下，根据轻负载条件，会启用 PFM 开关模式以降低直流稳压器的功耗。自动模式和强制 PWM 开关模式可以使用直流稳压器的 MODE 引脚进行切换。直流/直流稳压器的 MODE 引脚可由器件通过 GPIO 进行控制，根据器件是否进入或退出深度睡眠，直流/直流稳压器会在自动模式和强制 PWM 模式之间切换。另请参阅 [为直流/直流转换器启用 PFM 模式](#)。

---

### 2.3.4 QSPI 闪存存储器

该参考设计采用 Macronix® MX25R1635FZUIH0 器件，这是一款低成本、低功耗的 16Mbit 闪存存储器。该闪存支持 1.65V 至 3.6V 的宽输入电压范围，以支持器件的 3.3V 和 1.8V IO 电压。

由于该器件在此参考设计中以 1.8V 单轨电源拓扑工作，因此还可以使用在 1.65V 至 2.0V 电压下工作的 Macronix® MX25U1632FZUI02。

---

#### 备注

有关闪存型号兼容性，请参阅 [毫米波传感器支持的闪存型号](#) 应用报告。

---

### 3 系统设计原理

#### 3.1 天线

该参考设计使用单元贴片天线作为三根接收天线和两根发射天线。该参考设计在仰角平面中将一个 TX 天线放置在另一个 TX 天线下方的  $\lambda/2$  处，在方位角平面上则将其放置在相距  $2 \times \lambda/2$  的位置处。所有 RX 天线都保持在同一平面上，其中 RX1 和 RX2 以及 RX2 和 RX3 之间的距离为  $\lambda/2$ 。

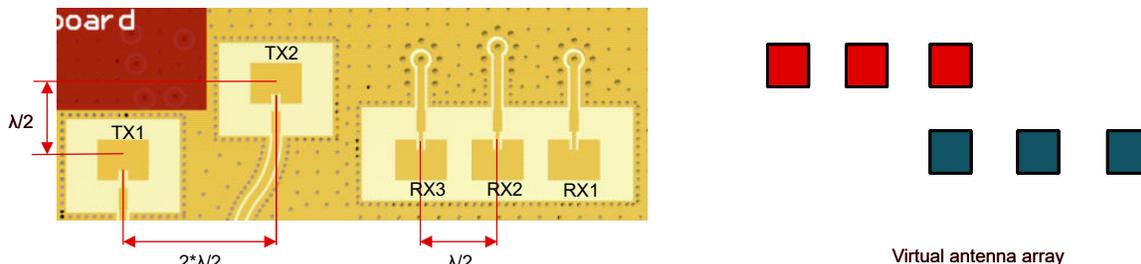


图 3-1. 虚拟天线阵列

为了节省总体空间，基于 FR4 的天线位于 PCB 上与 IWRL6432W 芯片相对的一侧（背面）RX 天线与 TX 天线相比是颠倒的。因此，在推导出虚拟天线在给定位置的定位后，虚拟天线阵列也会倒置。相应的天线几何 CLI 命令为：

```
antGeometryCfg 1 2 1 1 1 0 0 4 0 3 0 2 2.5 2.5
```

**备注**

1. 在将配置文件发送到器件之前，必须在其中添加此命令行，否则处理链计算出的到达角可能是错误的。
2. 有关此 CLI 命令的更多详细信息，请参阅 MMWAVE-L-SDK 文档（调谐指南）。

图 3-2 展示了方位角和仰角范围内不同频率的天线增益图。

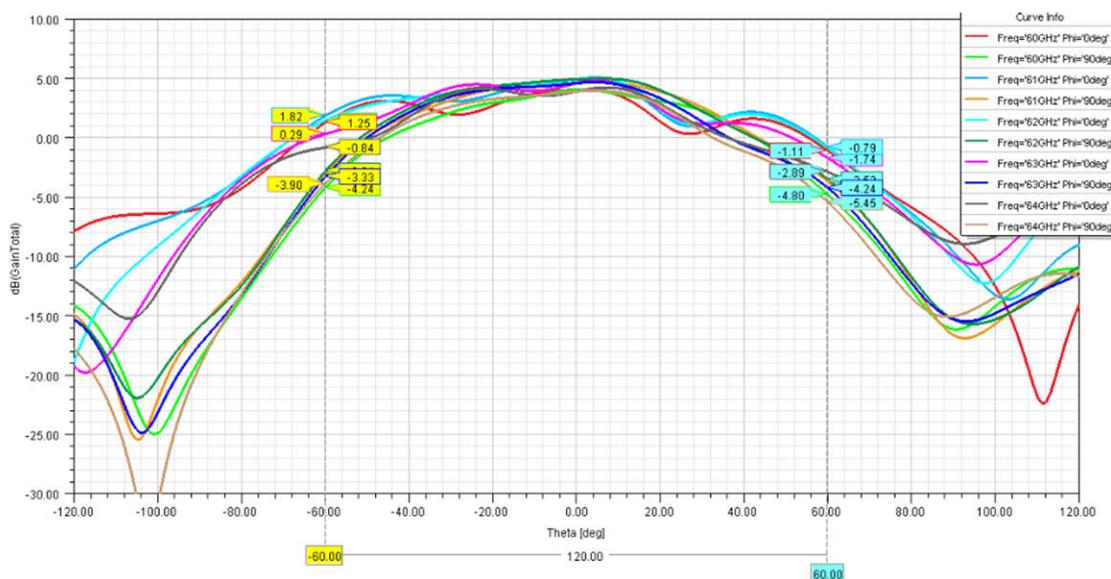


图 3-2. 天线增益图

### 3.1.1 距离和相位补偿

需要使用命令 `compRangeBiasAndRxChanPhase` 来补偿不同天线设计中的距离偏差和相位误差。MMWAVE-L-SDK (版本 5.5.3.0 及以上) 中的演示配置包含一些默认值。

如果天线发生翻转,则需要使用距离偏差和相位补偿 API 来校正相位。MMWAVE-L-SDK 中说明了此过程。

#### 备注

制造后必须进行距离偏置和相位补偿;否则、处理链计算的距离和到达角可能是错误的。

### 3.1.2 线性调频脉冲配置

根据应用要求,可以使用配置文件中的不同命令来更改线性调频脉冲属性。特定线性调频脉冲曲线的一些决定因素包括:最大检测距离要求、功耗和性能。有关线性调频脉冲配置的更多信息,请参阅 [对 TI 雷达器件中的线性调频脉冲参数进行编程](#) 和 [MIMO 雷达应用报告](#)

## 3.2 PCB

该参考设计采用了四层堆叠的 PCB 设计。天线位于 PCB 的底层 (第 4 层)。顶层与底层采用了 FR408HR 电介质材料。由于这两层都在接地共面波导 (GCPW) 传输线路中产生影响,因此堆叠 (尤其是这两层的电介质) 对于实现良好的天线性能至关重要。以下是这两层电介质的一些关键属性:

1. 该电介质具有 2 x 1067 (双层) 扩散玻璃结构。
2. 电介质的厚度为 5mil (127  $\mu\text{m}$ ), 该厚度值根据阻抗匹配进行了调整
3. 电介质的 Dk 值在 60GHz 时为 3.3
4. 这是核心材料

#### 备注

- 电介质厚度必须保持不变,否则可能导致阻抗不匹配并增加辐射功率的反射。
- 天线层不得使用预浸材料。

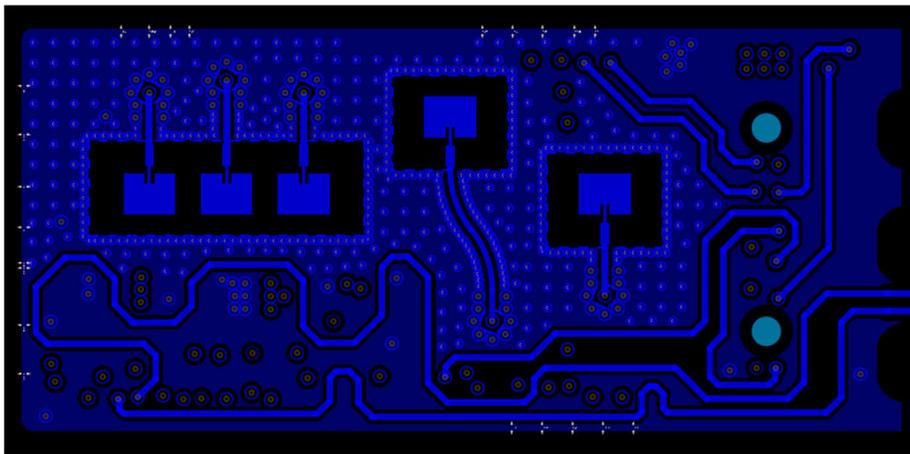


图 3-3. 天线位于底层

本设计采用接地共面波导 (GCPW) 传输线路来将射频信号传输到天线。以下是天线层和接地层 (后接天线层) 的一些关键设计注意事项:

1. 天线层上的覆铜厚度为 40  $\mu\text{m}$
2. 接地层 (天线平面下方, 第 2 层) 厚度为 1oz (如果没有 1oz, 也可以使用 0.5oz)。
3. 铜具有非常薄的厚度 (VLP) 或更薄的厚度, 以减少表面粗糙度
4. PCB 的表面处理采用 OSP 或沉银工艺

## 备注

不建议使用镍浸金 (ENIG) 表面处理，因为这可能会导致毫米波频率范围的插入损耗增加。

该参考设计的 PCB 总厚度为 1.17mm。

图 3-4 显示了堆叠详细信息。

**STACKUP REPORT**

---

Part Number: IWRL6432W EVM & MODULE	Target Thickness: 47.000 (± 10%)	Over mask on plated copper
Program: N/A	Total Thickness: 45.898	

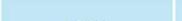
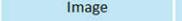
Lyr	Lyr Type	Image	Foil Wt	Thk (mil)	Cu Thk (mil)	Er	Generic Name	Construction	Material Family
tsmp				0.400		3.9			
1	Sig		0.5	5.000	1.600	3.18	Core 0.130 mm H/1	2x1067	FR408HR
2	Sig		1	5.997	1.150	3.24	1080		FR408HR
				5.997		3.24	1080		FR408HR
3	Sig		1	1.150	1.150	3.49	Core 0.130 mm 1/1	2116	FR408HR
4	Sig		1	5.000	1.150	3.03	106		FR408HR
				3.826		3.03	106		FR408HR
5	Sig		1	1.150	1.150	3.49	Core 0.130 mm 1/1	2116	FR408HR
6	Sig		1	5.000	1.150	3.24	1080		FR408HR
				5.574		3.24	1080		FR408HR
7	Pln		1	1.150	1.150	3.18	Core 0.130 mm H/1	2x1067	FR408HR
8	Sig		0.5	5.000	1.600	3.18	Core 0.130 mm H/1	2x1067	FR408HR
bsmp				0.400		3.9			

图 3-4. 设计堆叠

## 备注

1. 使用制造时的 TI 堆栈。如果需要不同的堆叠，则建议使用 3D 电磁求解器，并需要进行天线优化。
2. 堆叠中提到的 Er 值适用于较低频率，未针对 60GHz 进行优化。此外，根据不同类型的结构，该值可能会略有变化。

## 4 硬件、软件、测试要求和测试结果

### 4.1 硬件要求

#### 4.1.1 参考设计

可以对参考设计进行加电并通过 USB 与主机进行通信。提供用于高速 LVDS 的板载 XDS110 调试探针和 60 引脚连接器，用于评估。

#### 备注

此参考设计还可以通过 J7 连接器由 5V 电池供电。在这种情况下，需要拉低电源负载开关 U16 的 PR1 引脚，以将 VBAT\_IN 旁路至 VCC\_IN。

#### 4.1.2 小巧型参考设计

该小巧型参考设计具有 14 引脚连接器。

表 4-1. 小巧型参考设计引脚说明

引脚编号	引脚名称	功能
1 (J3A)	VCC_5V	5V 电源
2 (J3B)	VCC_5V	5V 电源
3 (J3A)	RS232_TX_1V8	UART B (RS232) TX
4 (J3B)	SPI_MISO_REG_MODE_1V8	SPI MISO 信号
5 (J3A)	SPI_CS_I2C_SDA_1V8	I2C 的 SPI 芯片选择、SDA
6 (J3B)	GPIO2_1V8	GPIO
7 (J3A)	SPI_CLK_I2C_SCL_1V8	I2C 的 SPI 时钟、SCL
8 (J3B)	TDO_SOP0_1V8	SOP0 控制
9 (J3A)	RS232_RX_1V8	UART B (RS232) RX
10 (J3B)	SPI_MOSI_1V8	SPI MOSI 信号
11 (J3A)	HOST_INTR_GPIO_1V8	GPIO
12 (J3B)	RADAR_NRST_1V8	NRESET 控制引脚
13 (J3A)	GND	接地
14 (J3B)	GND	接地

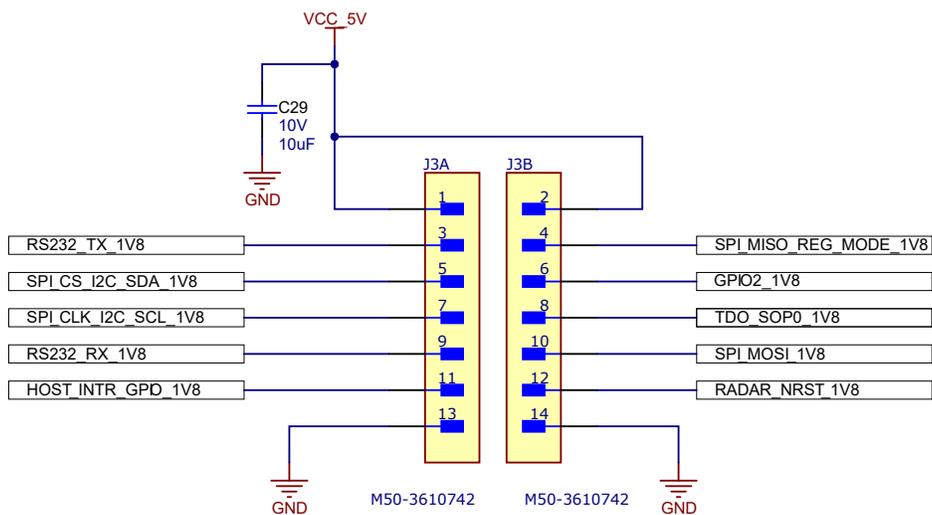


图 4-1. 引脚说明

该小巧型参考设计的电源电压为 5V。然而，由于此器件由一个 1.8V 单电源供电，所以 IO 电压电平为 1.8V。匹配主机侧的 IO 电压。

此小巧型参考设计可通过 LaunchPad™ 开发套件连接到主机 PC。

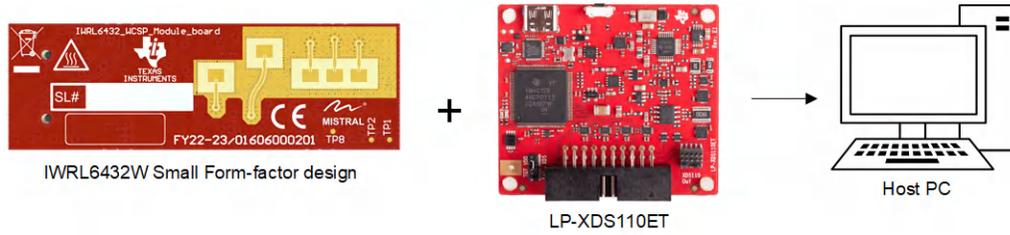


图 4-2. 主机 PC 连接选项

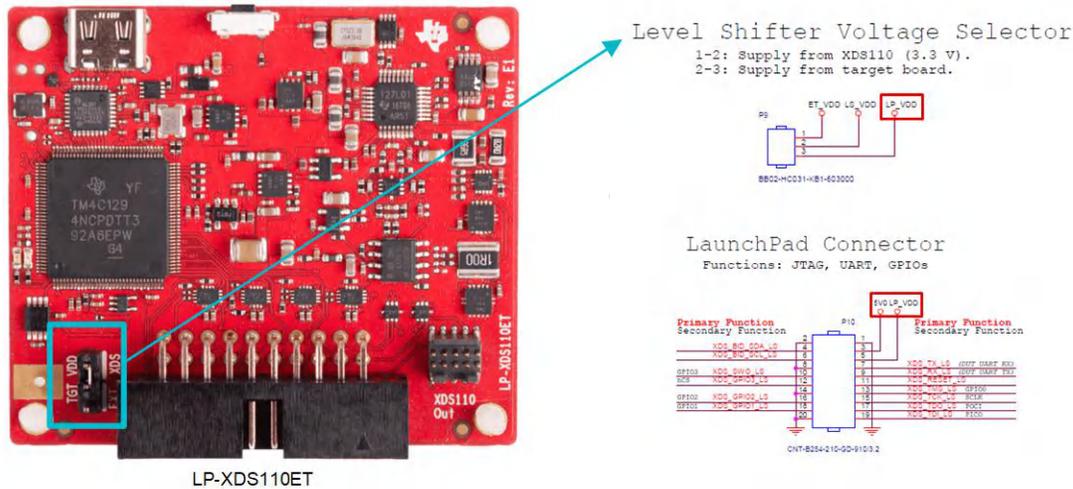


图 4-3. LaunchPad™ 开发套件连接

LP-XDS110ET LaunchPad 开发套件可用于将小巧型参考设计连接到主机 PC。对于此连接，请考虑以下几点：

1. 此参考设计可通过使用 LaunchPad 开发套件中的 5V 电源直接供电。
2. 此参考设计具有 1.8V IO。但是，LaunchPad 开发套件的默认 IO 为 3.3V ( P9 跳线位置 1-2 )。要修改 LaunchPad 开发套件的 IO，请将 P9 跳线置于 2-3 位置 ( 请参阅图 4-3 )，以获得目标电路板的 IO 电压。
3. 将 1.8V ( 参考设计 IO 电压 ) 连接到 LaunchPad 开发套件中 P10 的引脚 5 ( LP\_VDD )，以将 LaunchPad 开发套件的 IO 电压修改为 1.8V。

小巧型参考设计采用了 1.27mm 间距引脚来减小外形尺寸。然而，连接大多数 USB 转 UART 适配器时，需要使用 2.54mm 间距的跳线。因此，使用间距转换器 DR127D254P20F 与 USB 桥接器连接。

图 4-4 示出了此连接：

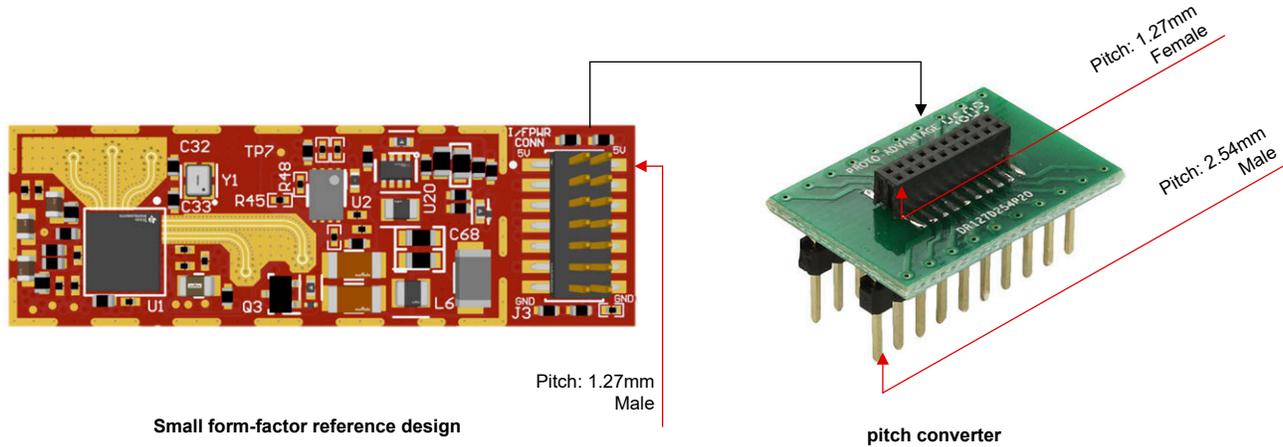


图 4-4. 使用间距转换器

在此过程中，参考设计与间距转换器相匹配。间距转换器另一侧的 2.54mm 间距公接头用于进行连接。以下列表包含在建立连接时需要考虑的一些注意事项。

在此连接中，跳线：

1. 需要支持电源引脚 (5V) 的最大峰值电流要求，例如 200mA 至 300mA
2. 需要较小且长度相等，避免因引入较大的 DCR 而影响数据传输速度或导致信息丢失
3. 需要具有较小 IR 压降和电感，以防止电源和 GND 上出现振铃

## 4.2 软件要求

可使用 [UniFlash 闪存编程工具](#) 对该参考设计进行编程。MMWAVE-L-SDK5.5.3.0 及更高版本支持 IWRL6432W。行人检测测试则是使用 MMWAVE-L-SDK5.5.3.0 执行的。

## 4.3 测试设置

该传感器放置在开放空间用于测试。本测试在视轴上 15m 处检测到人类存在。通过使用 MATLAB®，TI 利用从消声室收集的数据分析了整个 FoV 范围内的天线辐射方向图和角度误差。此处演示了以下测试：

1. 15m 处的人类存在检测 (视轴)
2. 天线辐射方向图
3. 整个 FoV 中的角度误差

## 4.4 测试结果

### 4.4.1 在视轴方向上 15 米范围内进行人体检测

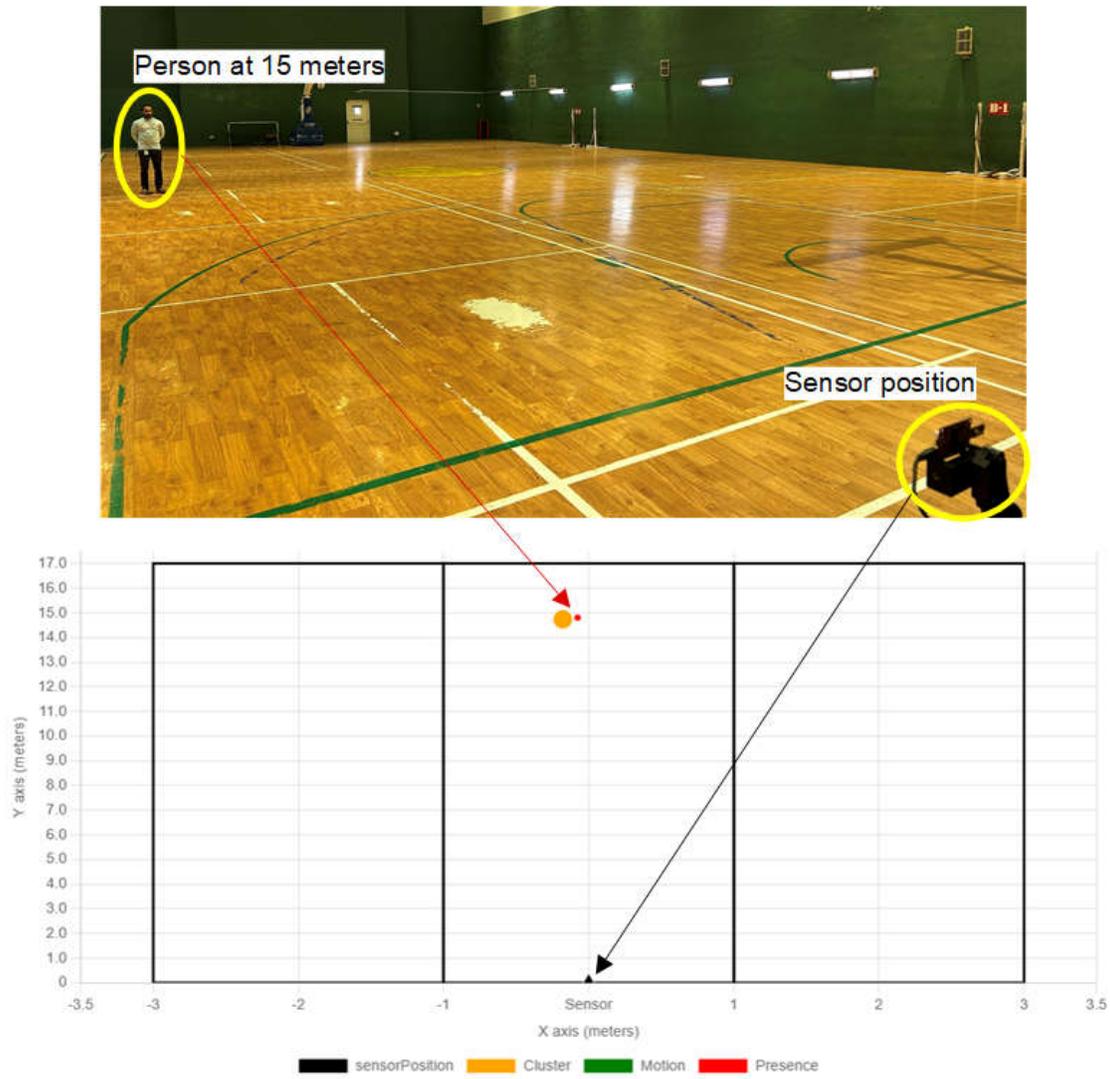


图 4-5. 测试结果：15 米处人员检测

### 4.4.2 天线辐射图

天线辐射图和 FoV 内的角度误差是在 MATLAB 中处理的，而处理所用的原始数据是从消声室收集的。

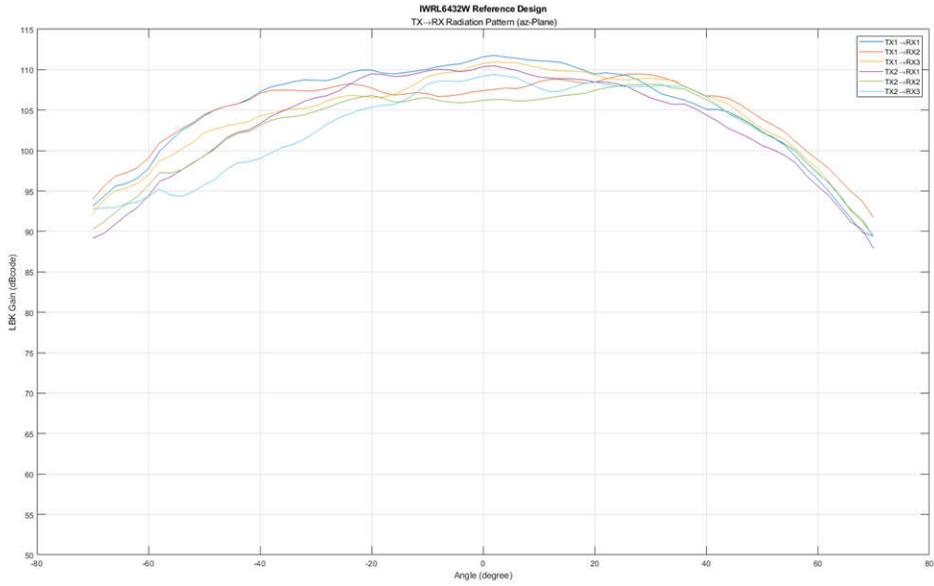


图 4-6. 测量得到的辐射图 (方位角)

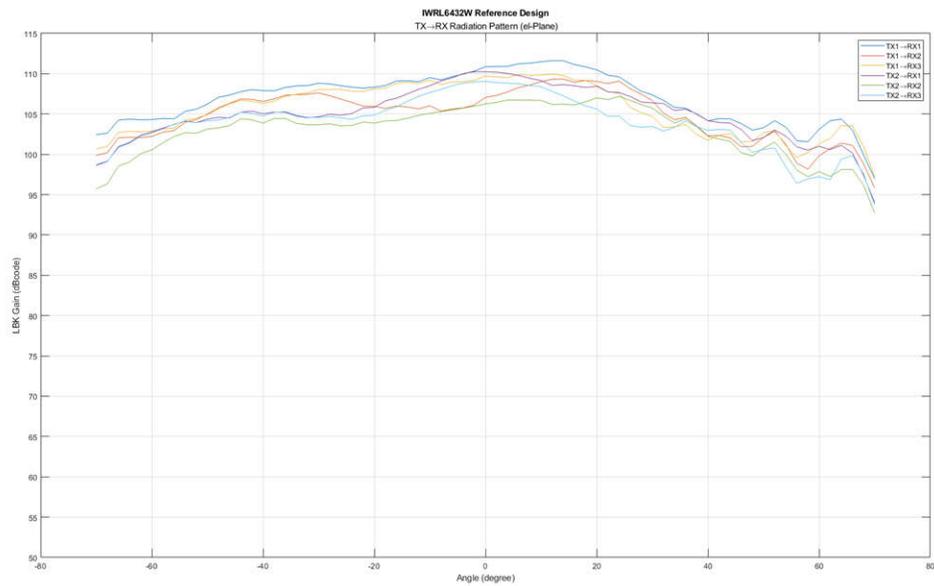


图 4-7. 测量得到的辐射图 (仰角)

### 4.4.3 角度估算精度

要估算角度，首先进行视轴相位校准。这有助于将角度估算误差减小。在完整的 FoV 扫描中，发现的角度估算误差在  $\pm 10$  度以内。

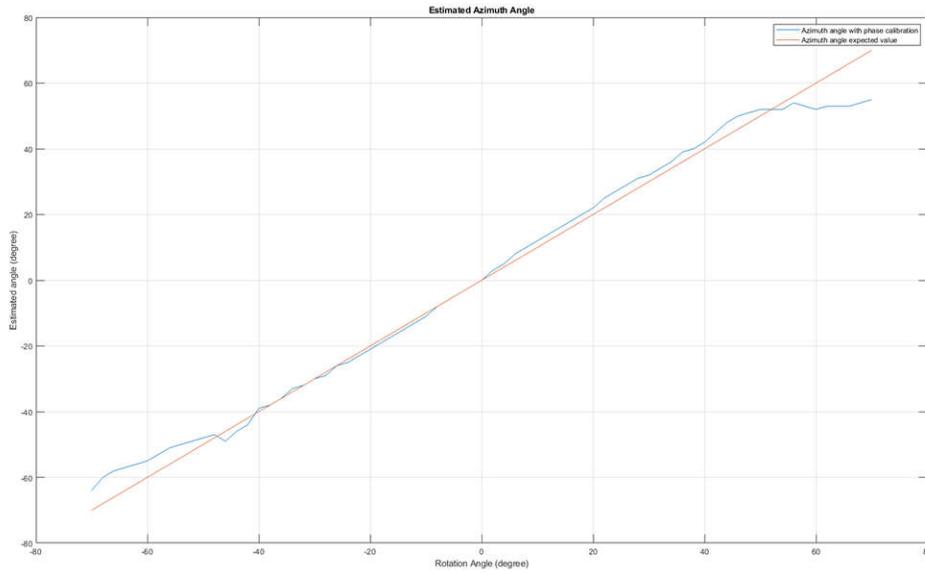


图 4-8. 方位角估算

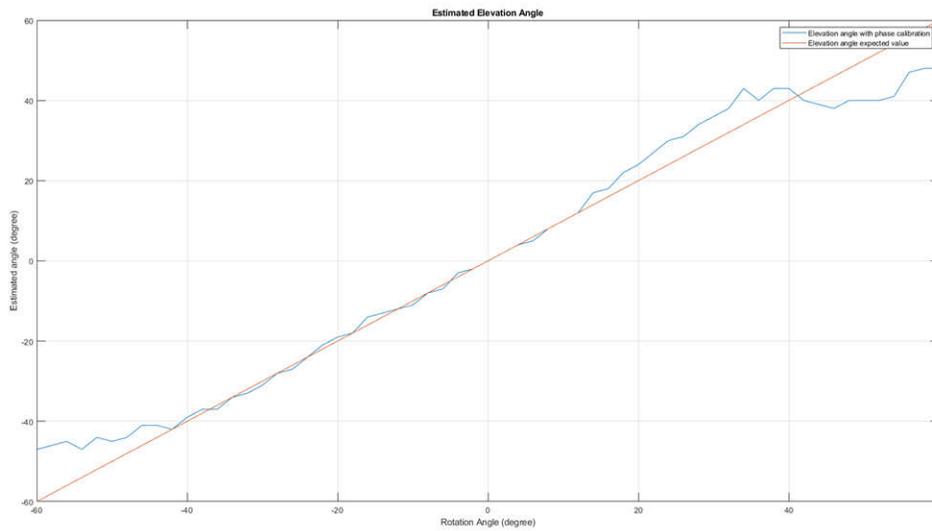


图 4-9. 仰角估算

## 5 设计和文档支持

### 5.1 设计文件

#### 5.1.1 原理图

要下载原理图，请参阅 [TIDEP-01040](#) 中的设计文件。

#### 5.1.2 BOM

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDEP-01040](#) 中的设计文件。

### 5.2 工具与软件

#### 工具

##### CCS Studio

Code Composer Studio 是适用于 TI 微控制器和处理器的集成开发环境 (IDE)。该工具包含一整套用于开发和调试嵌入式应用的工具。Code Composer Studio 可下载到 Microsoft® Windows®、Linux® 和 macOS® 系统上。此外，可以通过访问 [TI 开发人员专区](#) 来在云中使用该工具。

#### 软件

**UniFlash** UniFlash 是一款软件工具，用于对 TI 微控制器和无线连接器件上的片上闪存以及 TI 处理器的内部 FLASH 进行编程。UniFlash 提供图形界面和命令行界面。

### 5.3 文档支持

- 德州仪器 (TI)，[IWRL6432 WCSP 单芯片 57GHz 至 64GHz 工业雷达传感器数据表](#)

### 5.4 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](#)。

### 5.5 商标

TI E2E™ and LaunchPad™ are trademarks of Texas Instruments.  
Isola® is a registered trademark of ISOLA USA Corporation.  
Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited.  
Diodes Incorporated® is a registered trademark of Diodes Incorporated.  
Macronix® is a registered trademark of Macronix International Co., Ltd.  
MATLAB® is a registered trademark of The MathWorks, Inc.  
Microsoft® and Windows® are registered trademarks of Microsoft Corporation.  
Linux® is a registered trademark of Linus Torvalds.  
macOS® is a registered trademark of Apple, Inc.  
所有商标均为其各自所有者的财产。

## 6 关于作者

**CHETHAN KUMAR Y. B.** 目前已在德州仪器 (TI) 效力二十五年。**Chethan** 拥有印度理学院的电子设计与技术硕士学位。他于 2000 年作为设计工程师加入 TI，后来在 TI 的模拟、无线和嵌入式处理部门内的多个团队内担任过多个职位。在过去 25 年里，**Chethan** 参与了多种混合信号产品的开发工作，涉及硅片、系统和应用领域。他在自己所在的领域发表了多项专利和论文，并在多个会议中分享。目前，**Chethan** 领导雷达小组中的硬件系统与应用团队，专注于毫米波无线系统。

**SAMI MARDINI** 是德州仪器 (TI) 的雷达 ADAS 硬件应用经理。他的团队专注于开发适用于 TI 毫米波传感器产品的参考设计 EVM。他拥有德州大学阿灵顿分校的电气工程理学学士学位。**Sami** 已在德州仪器 (TI) 工作达 22 年以上，他在效力期间担任过多个职务。

**BLAKE KISSHAUER** 是工业雷达团队的硬件应用工程师。**Blake** 毕业于佛罗里达大学，拥有电气工程学士和硕士学位。他的职业生涯始于德州仪器 (TI)，担任毫米波雷达验证团队的特性鉴定工程师，负责毫米波雷达模拟前端的相关工作。**Blake** 运用其在微波测试和测量方面的知识和实践经验，帮助客户解决设计难题，并成功地将毫米波雷达集成到终端设备项目中。

**SWARNENDU CHATTOPADHYAY** 是工业雷达团队的硬件应用工程师。**Swarnendu** 拥有印度工程科学与技术学院的 VLSI 设计硕士学位。**Swarnendu** 于 2023 年加入德州仪器 (TI)。他负责开发毫米波传感器硬件，并与客户密切合作，帮助客户将毫米波雷达传感器集成到设计中并顺利克服设计挑战。

## 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、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。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  
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司