

## Design Guide: TIDEP-01036

## 毫米波雷达传感器脚踢开启参考设计



## 说明

此设计为基于 AWRL1432 ( TI 的单芯片 77GHz 汽车雷达传感器 ) 的脚踢开启 (KTO) 终端应用提供了一个低成本、小外形参考方案。AWRL1432 器件运行基于机器学习的动作感应算法, 该算法检测到脚踢动作后, 可开启汽车电动后备箱门、电动行李厢或电动滑动门。

## 资源

<a href="#">TIDEP-01036</a>	设计文件夹
<a href="#">LMR43620-Q1</a>	产品文件夹
<a href="#">TPS628502-Q1</a>	产品文件夹
<a href="#">TLIN1021A-Q1</a>	产品文件夹



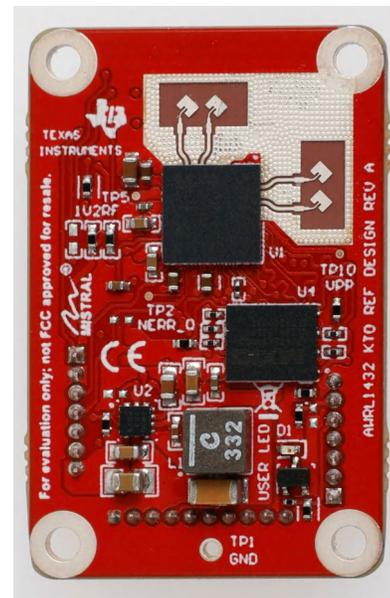
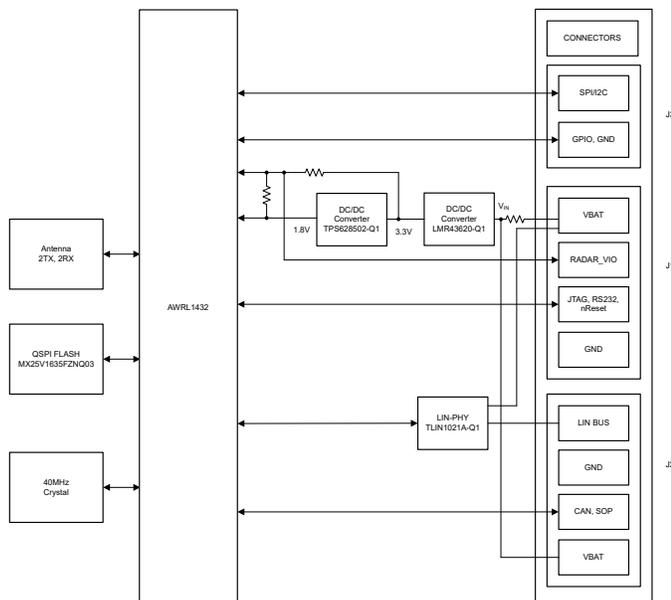
请咨询 TI E2E™ 支持专家

## 特性

- 支持 12V 汽车电池连接
- 设计的外形尺寸非常小 (36mm × 24mm)
- 天线具有 120° ( 方位角 ) × 90° ( 仰角 ) 宽视场 (FoV) 和 4dBi 峰值增益
- PCB 采用低成本 Isola® FR408HR 材料
- 通过板载 LIN PHY 和 CAN 信号连接来直接连接汽车网络
- 支持 3.3V I/O

## 应用

- 脚踢开启模块
- 障碍物检测传感器
- 自动泊车
- 侧向来车辅助系统 ( 前 )



## 1 系统说明

此参考设计采用 TI 的 77GHz 毫米波雷达传感器 AWRL1432 和完全符合汽车标准的物料清单 (BOM)。此设计具有小巧的外形，可轻松实现评估功能并集成到终端应用系统中。

AWRL1432 器件的运行基于调频连续波 (FMCW) 技术。此 FMCW 雷达系统使用两根 TX 天线发送射频信号，两根 RX 天线接收射频信号，可以捕获与反射雷达信号的距离、角度和速度相关的各种数据点，进而可以转换为检测到的特定动作或存在状态。

电池电源 ( 直流电源，通常为 12V ) 连接到 J2 连接器的 VBAT 引脚。宽输入电压降压转换器 LM43620-Q1 用于将此输入电源转换为 3.3V 输出。然后，TPS628502-Q1 获取 3.3V 输入并产生 1.8V 电压轨。通过这两个电压轨 ( 3.3V 和 1.8V ) 供电且采用 BOM 优化型电源拓扑 ( 3.3V I/O 拓扑 ) 的 AWRL1432 器件可使该设计具有超小的外形尺寸。

此参考设计附带板载本地互连网络 (LIN) 物理层 (PHY)，有助于与外部汽车网络进行通信。此设计还支持基于 SPI 的原始数据采集。

### 1.1 主要系统规格

表 1-1. 主要系统规格

参数		注释	最小值	典型值	最大值	单位
$V_{IN}$	电源电压	电池输入	3 <sup>(1)</sup>	12	36 <sup>(1)</sup>	V
$P_{presence}$	存在模式下的功耗	$V_{IN} = 12V$		3.16		mW
$P_{gesture}$	动作模式下的功耗	$V_{IN} = 12V$		272		mW

(1) 尽管 LMR43620-Q1 支持 3.0V 至 36V 的宽输入电压范围以及高达 42V 的瞬态电压，但建议在 3.6V 至 20V 电压范围内运行此参考设计以确保其正常运行。

## 2 系统概述

### 2.1 方框图

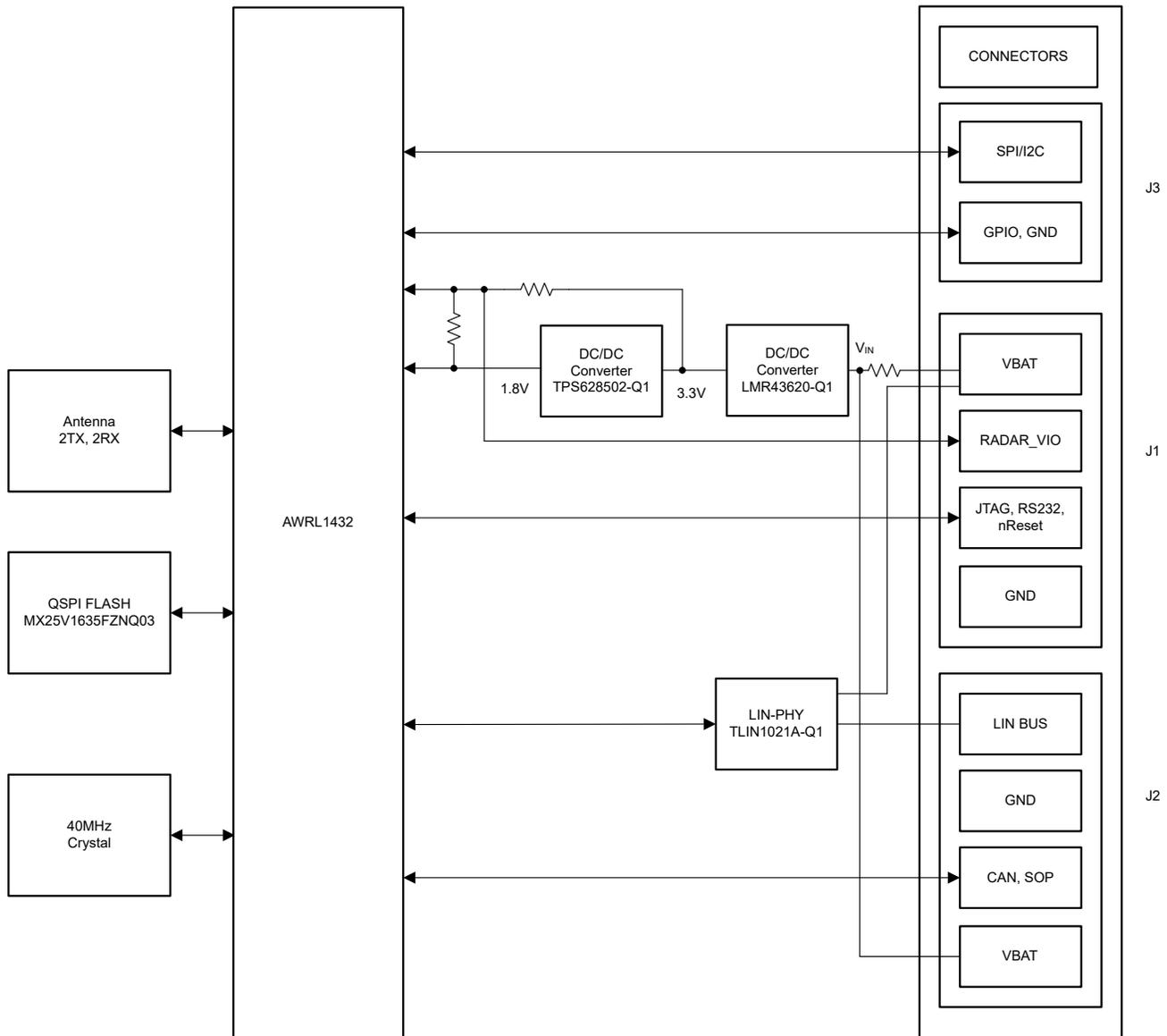


图 2-1. TIDEP-01036 方框图

### 2.2 设计注意事项

此设计旨在通过成本高度优化的物料清单为客户提供一个现成的小尺寸毫米波脚踢开启雷达传感器。在此设计中，由这两个电压轨（3.3V 和 1.8V）供电的 AWRL1432 器件无需额外的直流/直流转换器即可生成 1.2V 外部电压，使设计具有超小的外形尺寸。

为此电路板设计的天线能够使用低成本 Isola® FR408HR 材料提供 120°（方位角）x 90°（仰角）视场和 4dBi 峰值增益。此参考设计还采用 TI 的低成本、小尺寸、高性能直流/直流转换器和 LIN PHY。

板载连接器（J1、J2 和 J3）可引出各种通信外设（UART、RS232、SPI、CAN、LIN、JTAG、I2C、GPIO）、SOP、PWR 和 GND，包括一个专用的 10 引脚连接器（J1）用于直接连接 LP-XDS110，从而简化电路板运行。此设计中使用的板载连接器具有 1.27mm 间距，这也有助于减小电路板的总体外形尺寸。

## 2.2.1 电源拓扑

此参考设计采用 BOM 优化模式电源拓扑并支持 3.3V IO。在此模式下，器件由两个电压轨（3.3V 和 1.8V）供电。内部会产生 1.2V 电压，因此省去了使用额外直流/直流转换器的成本。

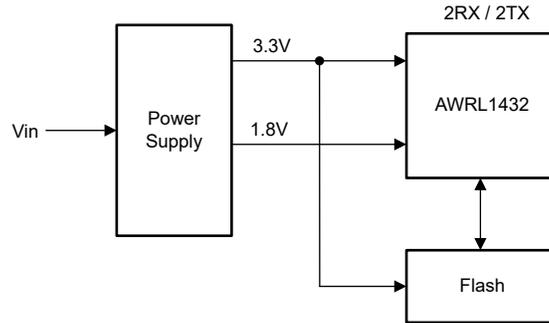
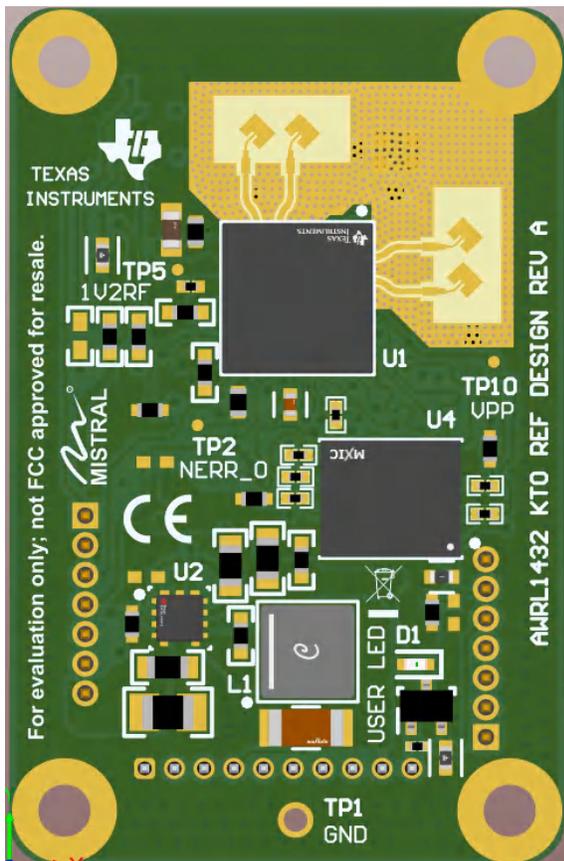


图 2-2. 电源拓扑

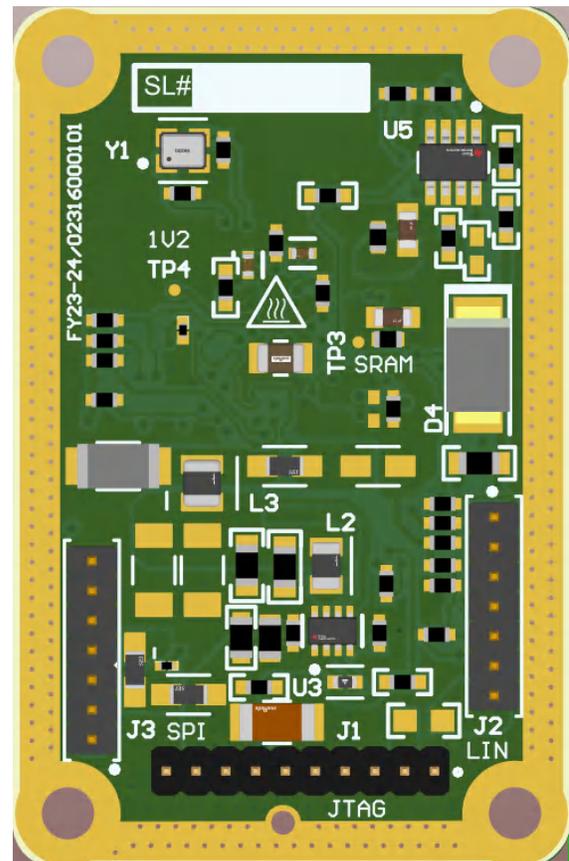
## 2.2.2 PCB 和外形因数

此参考设计旨在打造一个简单易用、可立即用于 KTO 应用且紧凑的小型雷达模块。加上安装孔的情况下，电路板尺寸约为 24mm × 36mm (0.9in × 1.4in)。图 2-3 和图 2-4 分别显示了 PCB 的顶视图和底视图。



所示图像并不代表电路板的实际尺寸。

图 2-3. PCB 顶视图



所示图像并不代表电路板的实际尺寸。

图 2-4. PCB 底视图

### 2.2.3 天线

此参考设计包含用于两个接收器和两个发送器的板载蚀刻贴片天线。此天线设计可提供宽视场 (FoV) 方位角，并具有良好的增益和带宽覆盖范围。图 2-5 展示了此天线设计。

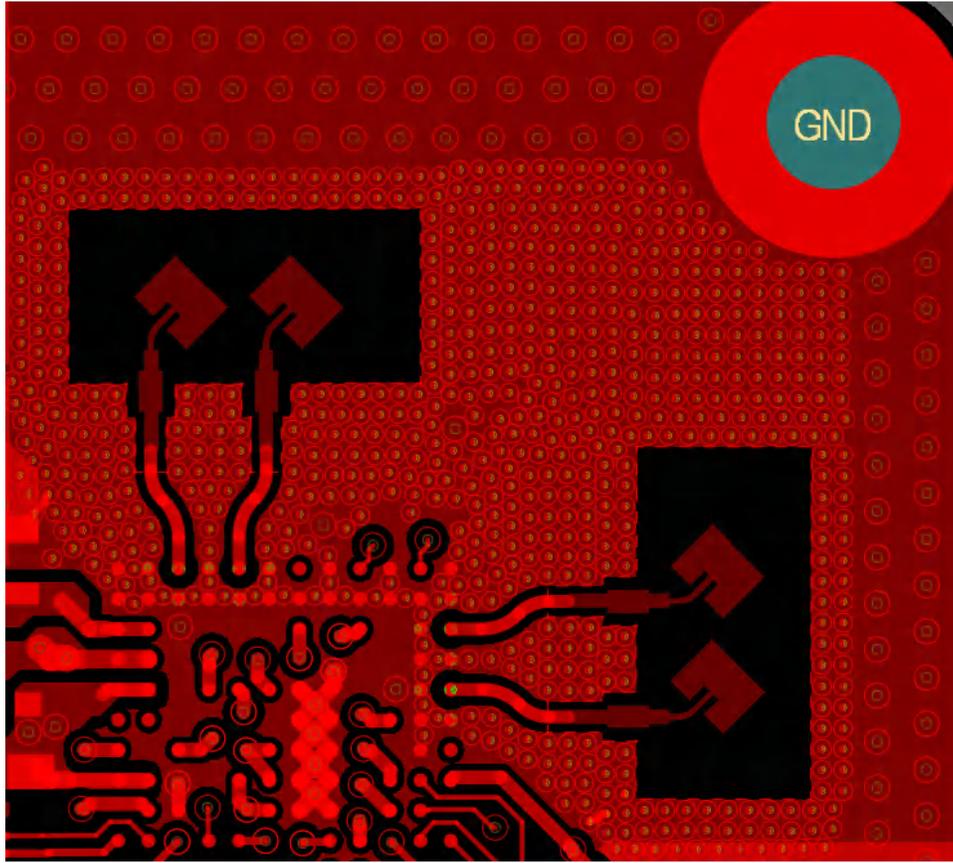


图 2-5. Altium 天线设计

76GHz 至 81GHz 工作频段的天线峰值增益大于 4dBi。性能表中列出了性能参数。

表 2-1. 性能表

参数	值
增益	> 4dBi
FOV	120° (方位角) × 90° (仰角)
带宽	4.5GHz

图 2-6 展示了一个天线元件在 79GHz 频率下的辐射方向图，其中包括水平面 (红色,  $\Phi = 0^\circ$ ) 和垂直面 (绿色,  $\Phi = 90^\circ$ )。

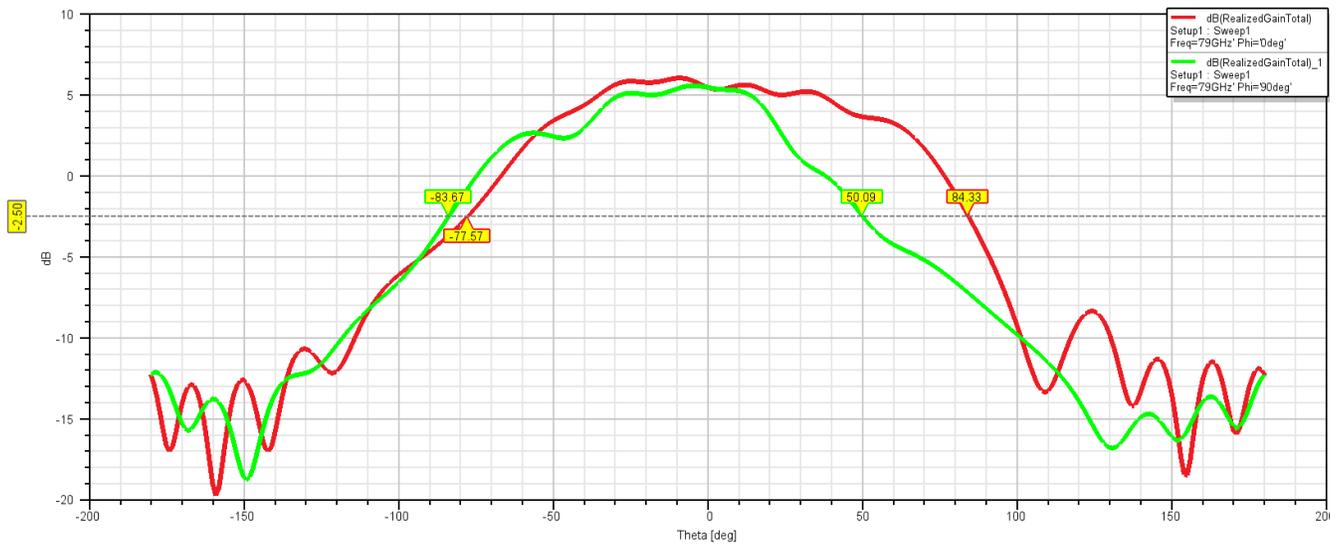


图 2-6. 天线方向图

## 2.3 主要产品

### 2.3.1 AWRL1432BGAMFQ1

这款集成式单芯片调频连续波 (FMCW) 雷达传感器的工作频段为 76GHz 至 81GHz。该器件采用 TI 的低功耗 45nm RFCMOS 工艺制程，并且在超小封装 (SFF) 中实现了出色的集成度。AWRL1432 是适用于汽车领域中的低功耗、自监测、超精确雷达系统的理想选择。

### 2.3.2 TPS628502-Q1

TPS628502-Q1 是一款 2A (持续) 易用型高效同步直流/直流降压转换器。开关频率可外部调节，可调范围为 1.8MHz 至 4MHz。此器件还可以与相同频率范围内的外部时钟同步。对于毫米波雷达传感器应用，建议以更高的开关频率在强制 PWM 模式下运行直流/直流转换器。为了减少辐射发射和传导发射，可以启用展频时钟 (SSC)。

### 2.3.3 LMR43620-Q1

LMR43620-Q1 是业界超小型 36V、2A 和 1A 同步直流/直流降压转换器，采用 2mm × 2mm HotRod 封装。这款易于使用的转换器支持 3V 至 36V 的宽输入电压范围 (建议此参考设计在 3.6V 至 20V 电压范围内运行)。LMR43620-Q1 是专为满足常开型汽车类应用的低待机功耗要求而设计的。

### 2.3.4 TLIN1021A-Q1

TLIN1021A-Q1 是一款本地互连网络 (LIN) 物理层 (PHY) 收发器。LIN 是支持汽车车载网络的低速通用异步接收器发送器 (UART) 通信协议。此收发器支持高达 20kbps 的数据速率。此器件旨在为 12V 应用提供支持，具有宽输入工作电压范围。

## 3 硬件、软件、测试要求和测试结果

### 3.1 硬件要求

#### 3.1.1 开始使用硬件

此参考设计可通过两种方式上电。此设计的主要上电方式是将 VBAT 引脚 (J2.7) 连接到电池电源 (直流电源, 通常为 12V)。第二种方式是使用 LP-XDS110 开发套件为器件上电。在这两种方式中, 都会使用 LP-XDS110 将器件与 PC 连接起来。LP-XDS110 可访问板载 XDS110 (TM4C1294NCPDT) 仿真器, 该仿真器提供以下连接 PC 的接口:

- JTAG, 用于 CCS 连接
- 应用程序或用户 UART (与 PC 进行配置通信和数据通信)

##### 3.1.1.1 主上电选项

使用电池电源 (直流电源) 为器件上电时, 请确保 R31 电阻器保持未组装状态。

##### 3.1.1.1.1 在主上电选项中建立连接

图 3-1 展示了主上电选项的连接。

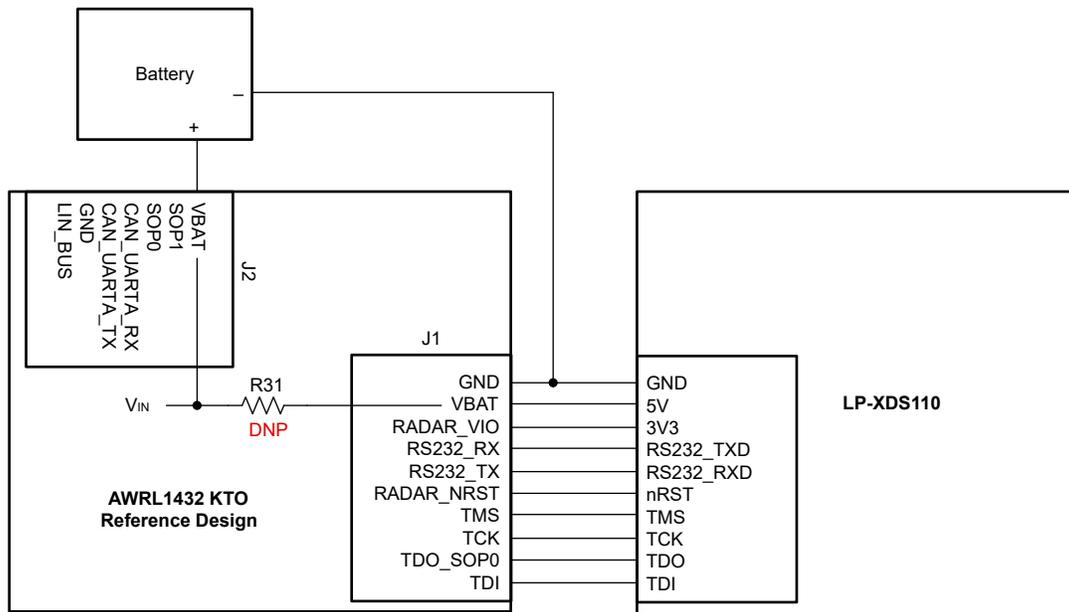


图 3-1. 主上电选项中的连接

按照以下步骤通过主上电选项为参考设计上电:

1. 将 J2.7 (VBAT) 引脚连接到 12V 直流电源
2. 将直流电源的 GND 引脚连接到参考设计的 GND 引脚或 LP-XDS110 的 GND 引脚, 以便在整个设置中提供公共 GND
3. 将跳线放置在 LP-XDS110 P9 连接器的 2-3 引脚上, 以确保参考设计向 LP-XDS110 提供 3.3V IO 电源
4. 使用母对母连接器将 J1 连接器与 LP-XDS110 底部的 10 个引脚连接在一起。请参阅图 3-1。
5. 使用 USB Type-C® 电缆为 LP-XDS110 上电
6. 确保在为器件上电时 SOP 线路的配置正确。有关正确的 SOP 配置, 请参阅节 3.1.1.3。
7. 由于 J2.6 引脚连接到 LP-XDS110 nRST 引脚, 因此可通过 LP-XDS110 复位开关来发出 nRESET

##### 3.1.1.2 辅助上电选项

为了使用 LP-XDS110 通过 J1.2 引脚 (VBAT) 为器件上电, 应组装 R31 电阻器。通过 J1.2 引脚 (VBAT) 为器件供电时, 请勿将另一个 VBAT 引脚 (J2.7) 连接到任何外部电源。

### 3.1.1.2.1 在辅助上电选项中建立连接

图 3-2 展示了辅助上电选项的连接。

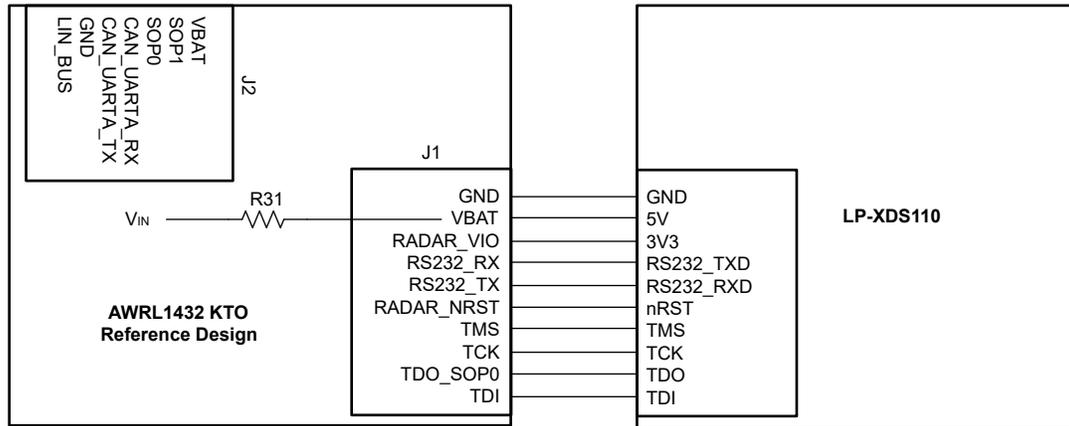


图 3-2. 辅助上电选项中的连接

按照以下步骤通过辅助上电选项为参考设计上电：

1. 将跳线放置在 LP-XDS110 P9 连接器的 2-3 引脚上，以确保参考设计向 LP-XDS110 提供 3.3V IO 电源
2. 使用母对母连接器将 J1 连接器与 LP-XDS110 底部的 10 个引脚连接在一起。请参阅图 3-2。
3. 使用 USB Type-C® 电缆为 LP-XDS110 上电
4. 确保在为器件上电时 SOP 线路的配置正确。有关正确的 SOP 配置，请参阅节 3.1.1.3。
5. 由于 J2.6 引脚连接到 LP-XDS110 nRST 引脚，因此可通过 LP-XDS110 复位开关来发出 nRESET

### 3.1.1.3 通电检测 (SOP)

AWRL1432 器件具有 3 种不同的启动模式 (SOP 模式) 配置：应用模式 (功能模式)、器件管理模式 (QSPI 刷写模式) 和调试模式 (开发模式)。必须先执行表 3-1 所示的 SOP 模式配置。在设置正确的 SOP 模式之后，必须发出 nRESET 以注册 SOP 设置。

连接器引脚 J2.5 和 J2.6 分别专用于 SOP0 和 SOP1。默认情况下，SOP0 和 SOP1 在设计中被拉至高电平。因此，未从外部连接 J2.5 和 J2.6 时，器件将以调试模式启动。将 J2.5 或 J2.6 (或两者) 连接到 GND (可以使用 LP-XDS110 的 GND 引脚) 可以在不同 SOP 模式之间切换。

表 3-1. 不同的 SOP 模式

SOP 模式	PMIC_CLK_OUT、TDO	组合 (SOP1、SOP0)	SOP1 所需的连接	SOP0 所需的连接
SOP_MODE1	器件管理模式 (QSPI 刷写模式)	00	GND	GND
SOP_MODE2	应用模式 (功能模式)	01	GND	NC
SOP_MODE4	调试模式 (开发模式)	11	NC	NC

### 3.1.1.4 AWRL1432 初始化：电路板编程

使用 12V 连接为电路板供电后，必须将一个程序加载到外部闪存中。Radar Toolbox 中提供了用于运行脚踏开启演示的应用程序二进制文件、线性调频脉冲配置和 GUI (有关更多详细信息，请参阅节 3.2)。TI 还提供了毫米波低功耗软件开发套件 (L-SDK)。这是一个适用于 AWRLx 系列毫米波传感器的统一软件平台，支持评估和开发。[毫米波雷达可视化工具用户指南](#) 中介绍了如何使用此设计环境。按照以下步骤加载应用程序映像文件：

1. 安装 UniFlash 软件，可从以下网址下载该软件：<http://www.ti.com.cn/tool/cn/uniflash>。安装后继续执行下一步。
2. 使用节 3.1.1.1 或节 3.1.1.2 中提到的上电选项之一将电路板与 PC 连接。
3. 打开 UniFlash 软件。从 **Category** 标题中选择 **mmWave**，从可用器件字段中选择 **AWRL1432**，然后点击 **Start** 按钮 (请参阅图 3-3)。

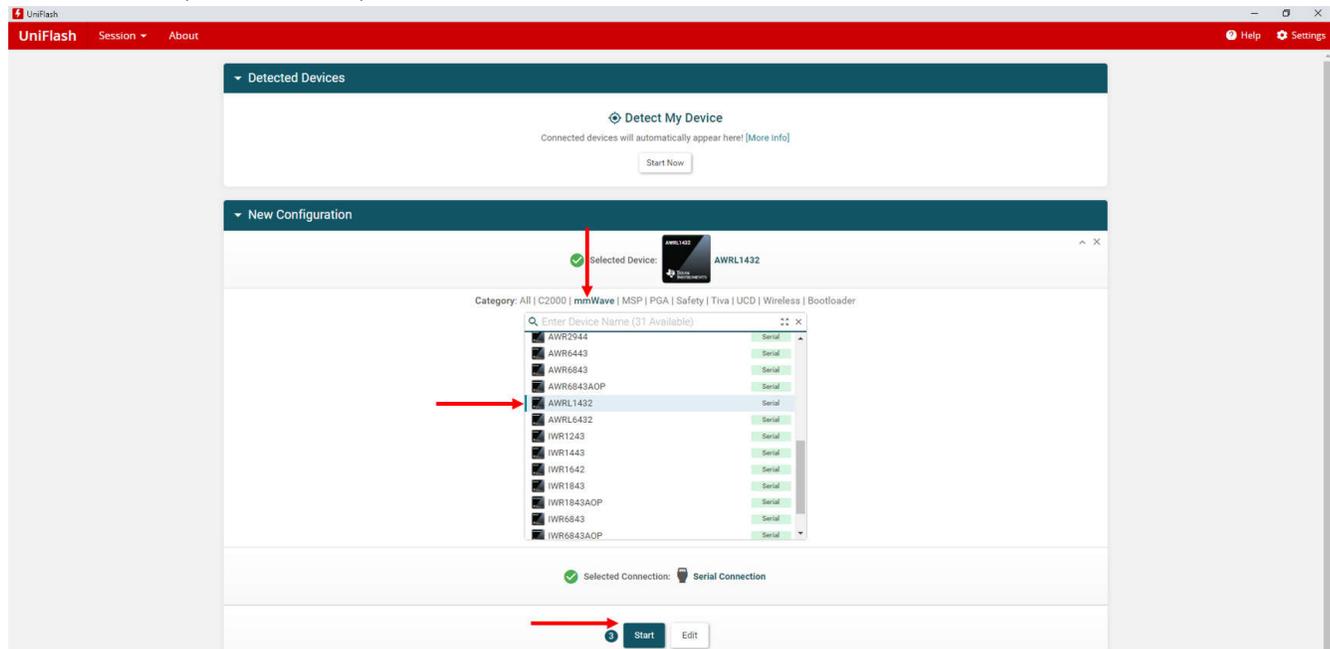


图 3-3. UniFlash 配置

4. 点击 **Browse** 按钮并导航到要加载的应用程序映像文件。文件路径和名称为 `<RADAR_TOOLBOX_INSTALL_DIR>\radar_toolbox latest version\source\ti\examples\kick_to_open\prebuilt_binaries\gesture_recognition_demo.Release.appimage`。在字段中填入文件名后，点击程序左侧的 **Settings & Utilities** 菜单（请参阅图 3-4）。

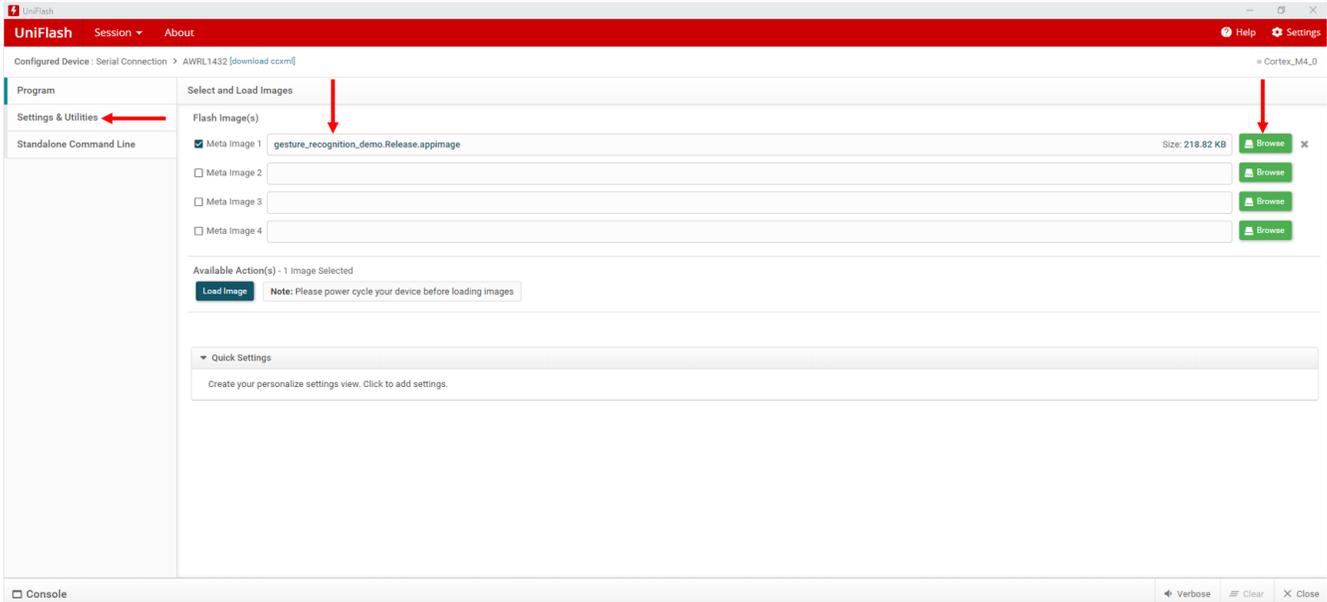


图 3-4. UniFlash 设置

5. 将 LP-XDS110 连接到 USB 端口后，打开 Microsoft® Windows® *Device Manager*。找到 *XDS110 Class Application/User UART* 端口并记下 COM 端口号。图 3-5 中的示例显示该 COM 端口号为 COM20。

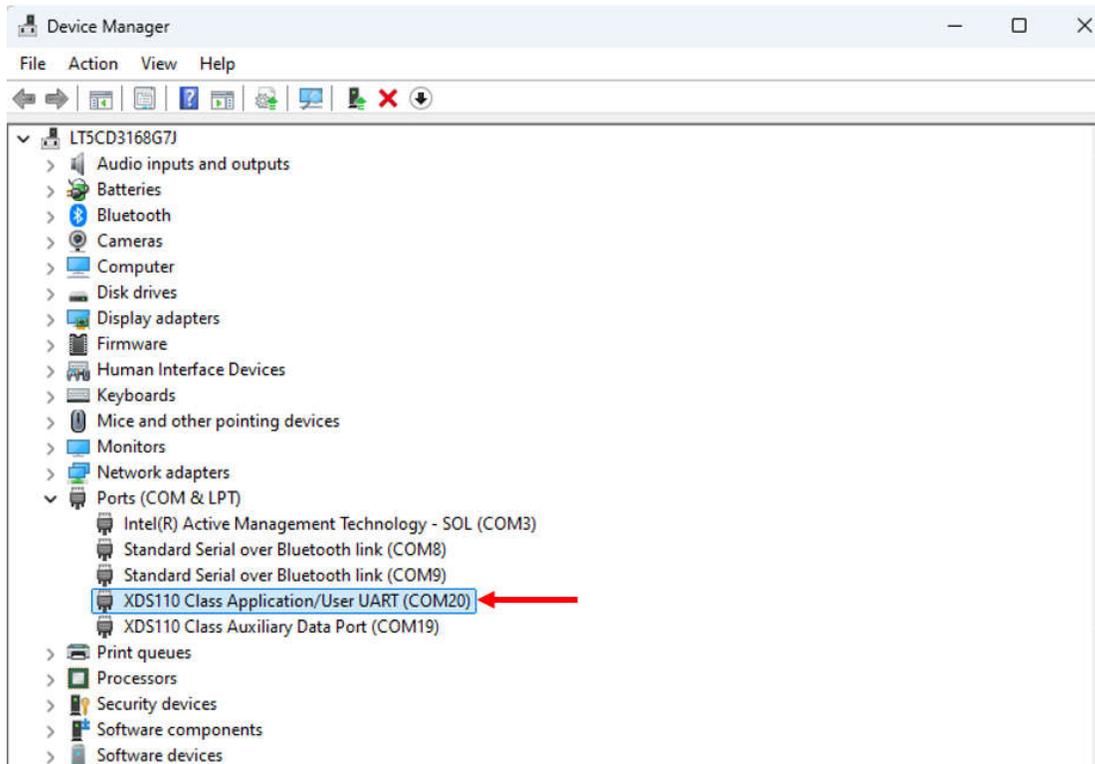


图 3-5. 确定 COM 端口

6. 返回到 UniFlash 软件并输入从设备管理器中记下的 COM 端口号。然后，点击窗口左侧的 **Program** 菜单以返回到上一个菜单（请参阅图 3-6）。

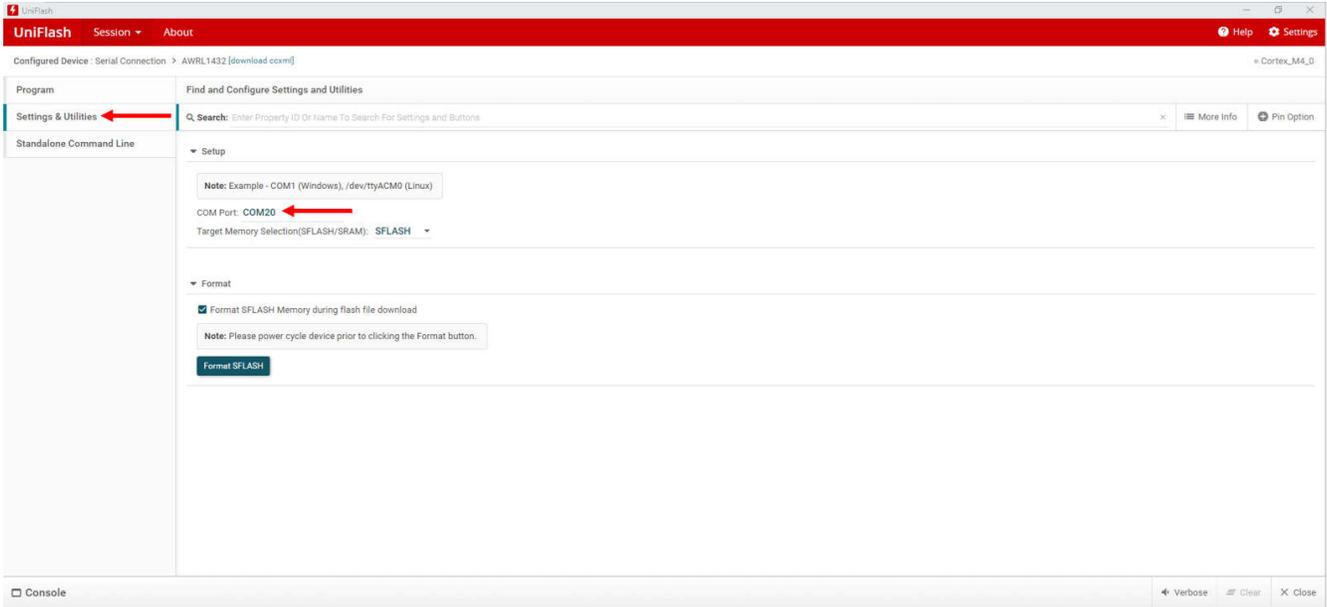


图 3-6. 输入 COM 端口

7. 按下 LP-XDS110 上的复位按钮以复位 AWRL1432 器件。然后，选择 **Load Image**。此操作会将程序加载到闪存中。要执行该程序，请将 SOP 设置更改为功能模式。程序随即运行。

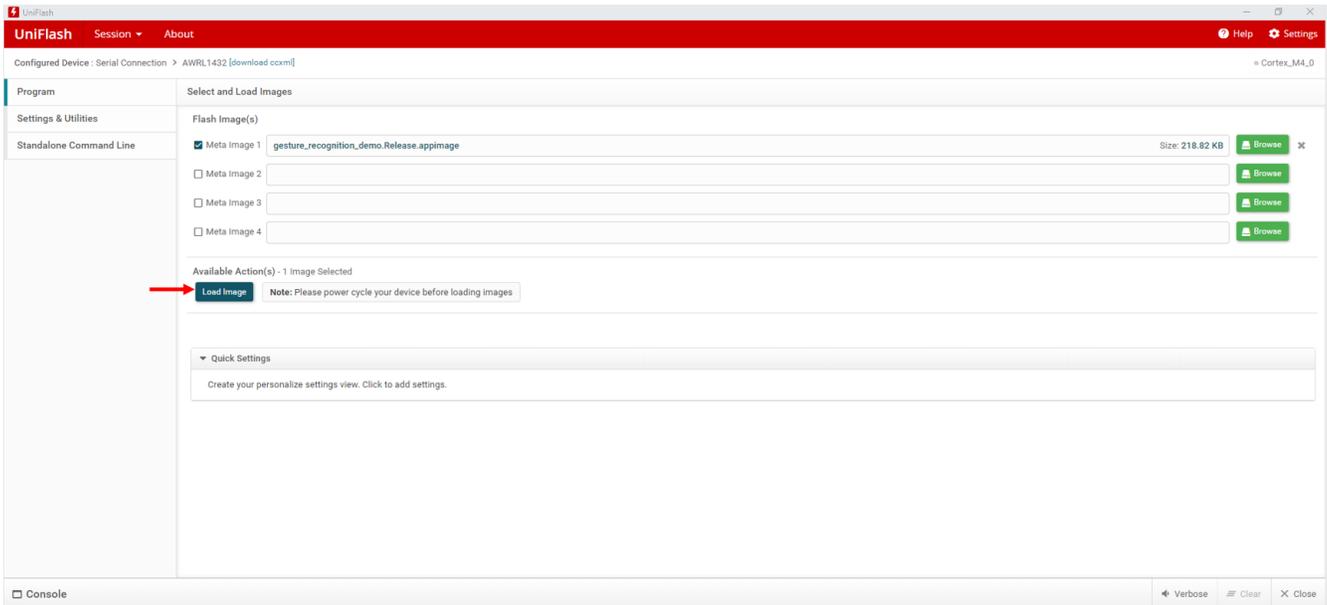


图 3-7. 加载映像

### 3.2 测试设置

按照 [开始使用硬件](#) 部分中的说明为器件上电并在不同的 SOP 模式下配置器件。  
安装 [TI Resource Explorer](#) 中的 mmWave radar sensors\Embedded Software 下的最新 *Radar Toolbox*。

请参阅位于 <RADAR\_TOOLBOX\_INSTALL\_DIR>\radar\_toolbox\_latest version\source\ti\examples\kick\_to\_Open\docs 中的 *AWRL1432 KTO 用户指南*，来运行 KTO 演示。

此参考设计的脚踢开启功能利用了 AWRL1432 上的低功耗模式（低功耗深度睡眠）以及在用户应用代码空间中实现的混合算法，因此可以实时进行存在检测模式与动作检测模式之间的切换。这种极低功耗的特性作为踢开尾门终端应用的一项要求至关重要。

### 3.3 测试结果

本节演示两种模式：低功耗存在检测模式和动作识别模式。在 *存在检测* 模式下，该器件以最小功率运行，搜索大约 2m 范围内是否有人。在 KTO 演示中，器件默认处于 *存在检测* 模式。

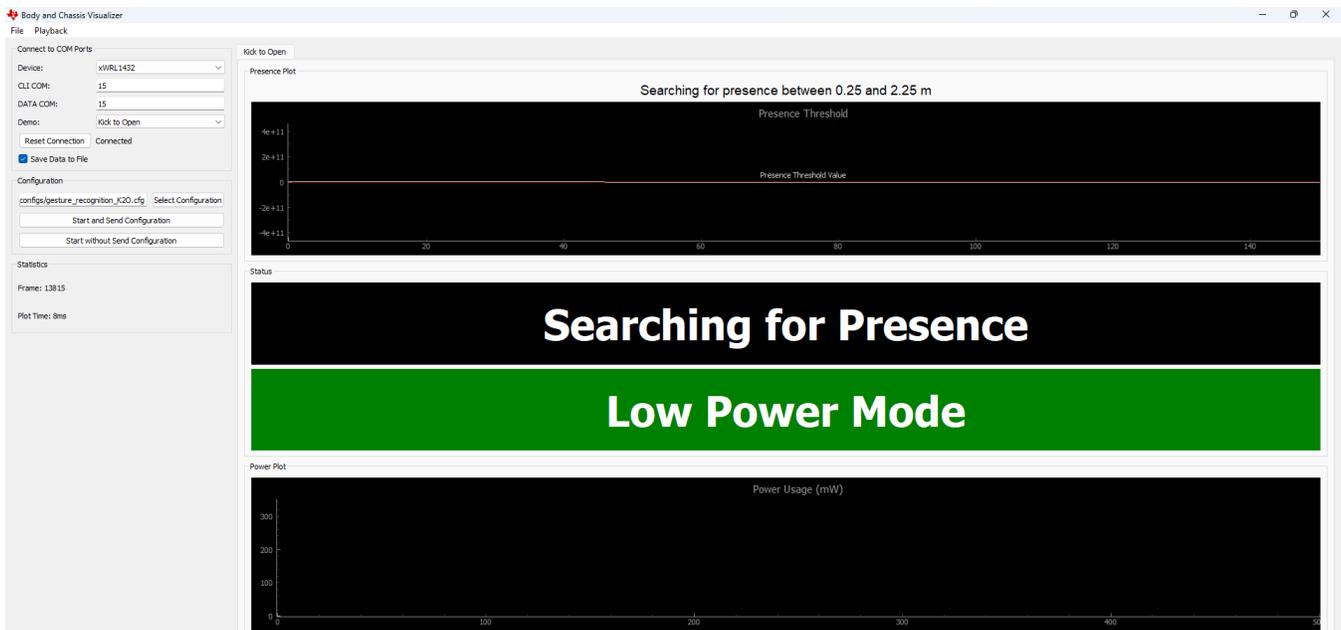


图 3-8. 器件处于存在检测模式

一旦有人进入存在检测范围（大约 2m），该器件就会从低功耗存在检测模式切换到帧速率要高得多的动作识别模式。此外，该器件还支持对单个动作（范围为 0m 至 1m 且位于传感器左侧或右侧 0.5m）（即脚踢）进行检测或分类。

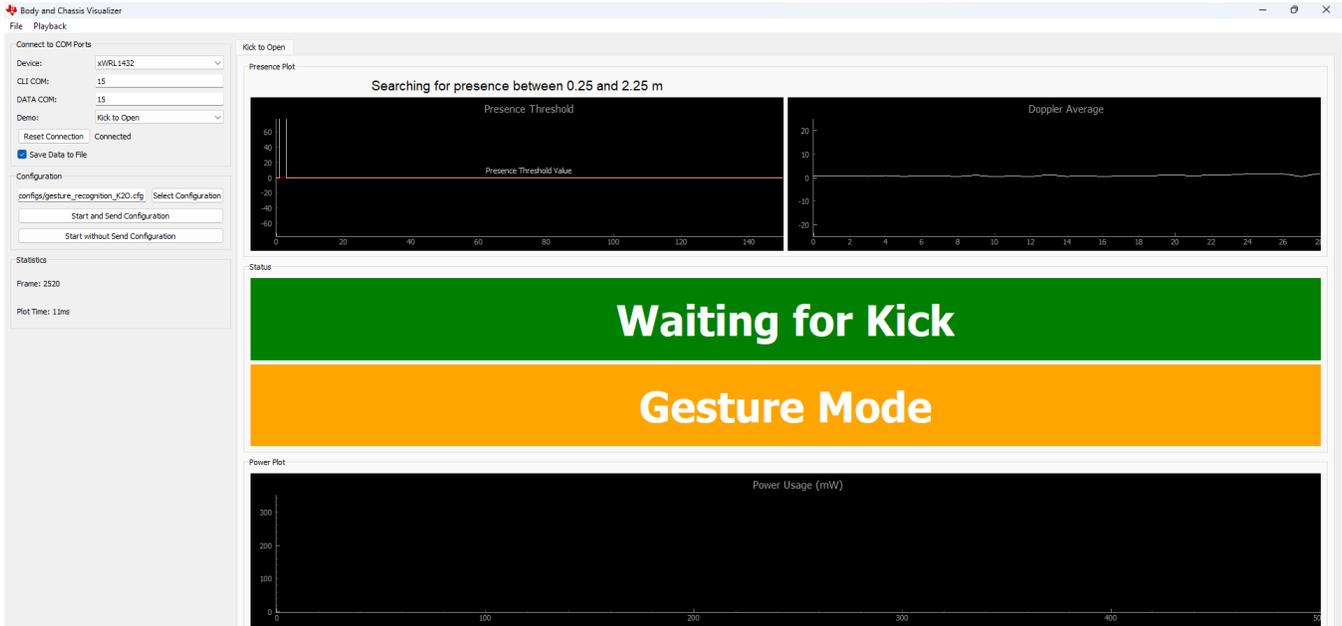


图 3-9. 器件处于动作识别模式

执行脚踢动作后，系统会检测到动作并在 GUI 中显示 Kick 确认，如图 3-10 所示。

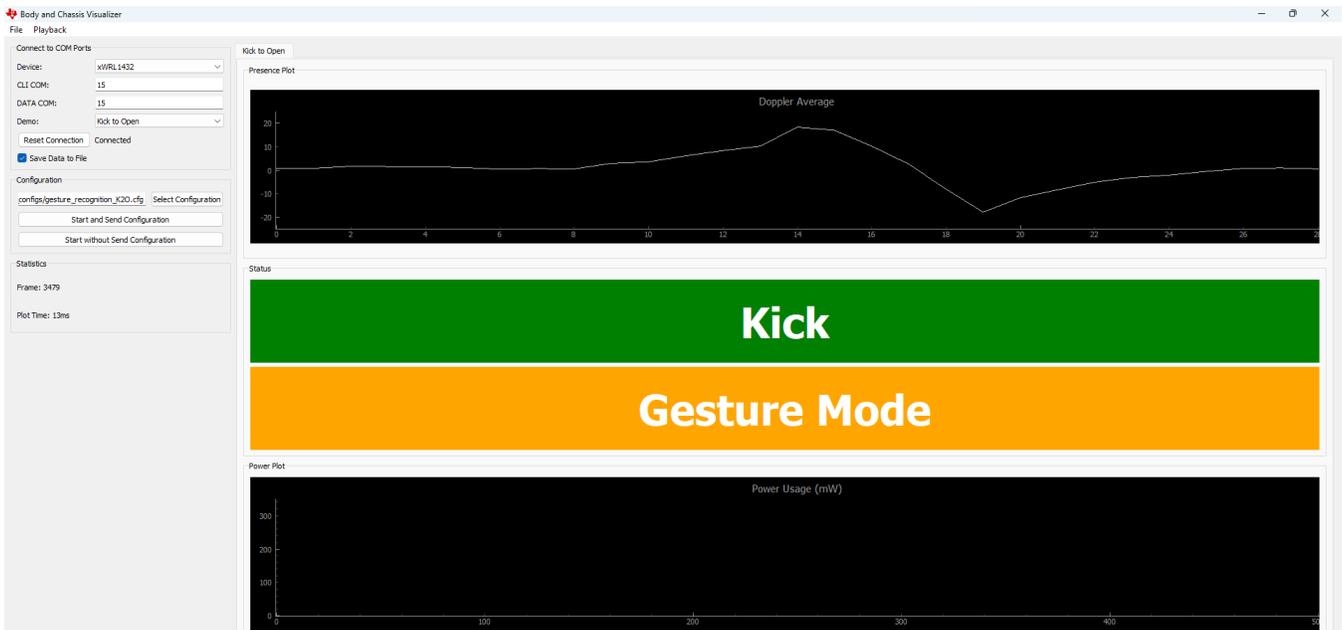


图 3-10. 检测到脚踢动作

## 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 [TIDEP-01036](#) 中的设计文件。

#### 4.1.2 BOM

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDEP-01036](#) 中的设计文件。

#### 4.1.3 布局图

要下载板层图，请参阅 [TIDEP-01036](#) 中的设计文件。

#### 4.1.4 Altium 工程

要下载 Altium 工程文件，请参阅 [TIDEP-01036](#) 中的设计文件。

#### 4.1.5 Gerber 文件

要下载 Gerber 文件，请参阅 [TIDEP-01036](#) 的设计文件。

### 4.2 工具与软件

#### 工具

[适用于毫米波传感器的 Radar Toolbox](#) 提供一系列帮助评估 TI 雷达器件的演示、软件工具和文档。

#### 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。

#### MMWAVE-L-SDK

适用于 xWRL1432 和 xWRL6432 的毫米波软件开发套件 (SDK)：毫米波低功耗软件开发套件 (SDK) 是一个软件包集合，支持在我们的低功耗毫米波传感器上进行应用评估和开发。此工具包括 MMWAVE-L-SDK 和支持客户设计需求的配套包。

### 4.3 文档支持

- 德州仪器 (TI)，[LMR436x0-Q1 在 150°C T<sub>JMAX</sub> 下 I<sub>Q</sub> < 2.5 μA 且采用 4mm2 HotRod™ QFN 封装的 36V、1A/2A 汽车级降压转换器](#) 数据表
- 德州仪器 (TI)，[TPS62850x-Q1 采用 SOT583 封装的 2.7V 至 6V、1A/2A/3A 汽车级降压转换器](#) 数据表
- 德州仪器 (TI)，[TLIN1021A-Q1 具有抑制和唤醒功能的故障保护 LIN 收发器](#) 数据表
- 德州仪器 (TI)，[AWRL1432 单芯片 76GHz 至 81GHz 汽车雷达传感器](#) 数据表

### 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

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

Isola® is a registered trademark of Isola Corp.

USB Type-C® is a registered trademark of USB Implementer's Forum.

Microsoft® and Windows® are registered trademarks of Microsoft Corporation.

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 5 关于作者

**ABHED MISRA** 是德州仪器 (TI) 毫米波雷达业务部门车身和底盘产品线的硬件应用经理。过去 20 年来，他一直从事 EVM 设计和参考设计。**Abhed Misra** 获得了印度国立理工学院 ( 斋浦尔 ) 通信技术专业的技术硕士学位。

**SIVAPRASAD K L** 是毫米波雷达车身和底盘产品线的硬件应用工程师。他拥有印度卡利卡特国立理工学院电子与通信工程学士学位。他于 2023 年加入 TI，目前仍然担任同一职位。

**SREEDEEP K S** 是毫米波雷达车身和底盘产品线的硬件应用工程师。他拥有印度特里凡得琅工程学院应用电子和仪表工程学士学位。他于 2023 年加入 TI，目前仍然担任同一职位。

## 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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司