



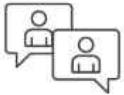
## 说明

TIDEP-01024 参考设计演示了如何在 3D 空间障碍物检测应用中使用 AWR1843AOP。AWR1843AOP 是一款具有集成式天线的 76-81GHz 单芯片调频连续波 (FMCW) 毫米波传感器。该传感器还具有集成的 DSP、MCU 和硬件加速器，可进行 FFT 处理。

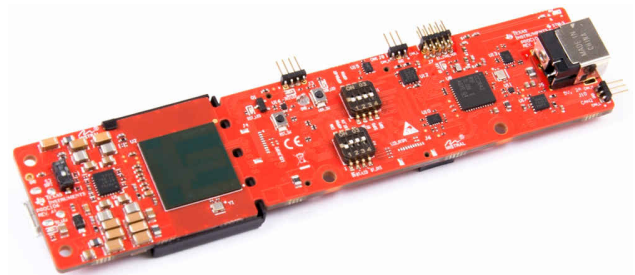
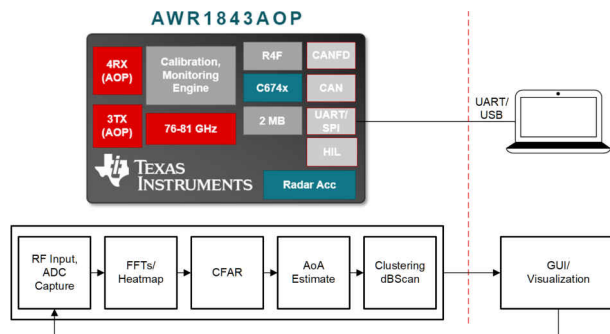
该设计提供了一个在 C674x DSP 上运行的参考软件处理链，可以在方位角和仰角平面上检测多个物体，其中方位角视场 (FOV) 为  $\pm 70$  度，仰角平面视场为  $\pm 70$  度。此外，还提供了 GUI，可以实现物体检测可视化。

## 资源

<a href="#">TIDEP-01024</a>	设计文件夹
<a href="#">AWR1843AOP</a>	产品文件夹
<a href="#">AWR1843AOPEVM</a>	工具文件夹
<a href="#">毫米波 SDK</a>	工具文件夹



咨询我们的 TI E2E™ 支持专家



## 特性

- 使用 AWR1843AOP 进行多功能障碍物检测的演示硬件和软件：智能开启车门、智能开启后备箱和泊车辅助。
- 检测位于车身和底盘附近的各种物体：交通锥标、网、金属和塑料杆、木材、电线等。
- 具有集成式封装天线，外形小巧，可安装于车门把手和保险杠等狭小位置。
- 封装天线的方位角 FOV 为  $\pm 70$  度，仰角 FOV 为  $\pm 70$  度。

## 应用

- [障碍检测传感器](#)
- [超短程雷达](#)

## 1 系统说明

当今的车辆需要有关车身周围物体的健全而可靠的信息。自动车门开启和泊车系统的实现依赖于这些信息。TIDEP-01024 为使用 TI 的 AWR1843AOP 传感器创建车门开启器障碍物检测应用提供了参考。TI 的 AWR1843AOP 传感器基于 77GHz 毫米波射频互补金属氧化物半导体 (RF-CMOS) 技术。这款毫米波传感器器件将封装天线 (AOP) 与 77GHz 毫米波雷达前端、ARM® 微控制器 (MCU) 和 TI DSP 内核集于一身，旨在实现单芯片系统。

虽然过去考虑过其他感应技术，但没有一种技术可以像毫米波传感器一样以宽 FOV 感应来 3D 空间中的物体。毫米波传感器能够在雨天、夜间、眩光等恶劣的环境条件下感应物体。此外，毫米波传感器外形小巧，适合放置在

镀层或塑料车门把手后面或侧视镜中，因此，一切看起来非常美观。TI 的毫米波传感器是多模式传感器，可以在汽车行驶时用作侧雷达，并在汽车静止时用作车门开启器传感器。从这个意义上讲，毫米波传感器是真正智能的传感器。

该参考设计演示了 AWR1843AOP 在车门开启器障碍物检测应用中的适用性。该设计实现了宽方位角和仰角视场 ( $\pm 70^\circ$ ) 以及近距离 (5m) 传感器配置，并在 TI EVM 模块上实现了使用 AWR1843AOP 器件生成方位角-距离和仰角-距离热图、检测和决策的算法。此外，还提供了所需的硬件、原理图和基础软件列表，便于快速开始开发车门开启器障碍物检测产品。该设计还描述了示例用例以及在开发该应用时的设计原则、实现细节和所做的工程权衡，提供了用于复制设计的高层面说明。

## 1.1 主要系统规格

表 1-1. 主要系统规格

参数	配置
器件	AWR1843AOP
视场	水平 140 度，垂直 140 度
最大距离	5 m
距离分辨率	4 cm

## 2 系统概述

TI 的 ODS 参考设计基于 AWR1843AOP 评估板和软件演示代码构建。该系统针对 ODS 应用构建并进行了优化，可检测 5m 距离以内的物体。

### 2.1 方框图

#### 2.1.1 障碍物检测应用软件方框图

如图 2-1 所示，信号处理链中障碍物检测应用示例的实现涉及以下模块，这些模块通过在 AWR1843AOP 的 C674x 内核上执行的 DSP 代码来实现。

- 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。
- 距离-角度热图生成
  - 使用协方差波束形成或 Capon 波束形成成为每个距离库生成角谱。
  - 输出距离-仰角热图和距离-方位角热图。
- 物体检测
  - 在每个距离-角度热图上，为每个距离库搜索单个峰值交叉角，然后在相邻距离库上对峰值角应用一维 CFAR 检查。
  - 取从两个距离-角度热图中检测到的两个峰值集的并集 (或交集)。
- 多普勒估算
  - 对于每个检测到的距离库，估算多普勒输出并在所有天线之间应用非相干组合。找到峰值指数并将其用作检测到的目标的多普勒指数。
  - 输出该多普勒峰值指数的距离-多普勒输出，稍后将其用于角度估算。
- 到达角估算
  - 使用 2D FFT 计算二维角谱。
  - 在该二维角谱上进行单个峰值搜索并计算与峰值位置相关的方位角和仰角。
- 聚类
  - 每隔固定数量的帧执行一次基于 DBSCAN 的聚类算法并报告结果。
  - 输出聚类数以及聚类中心和大小等属性。

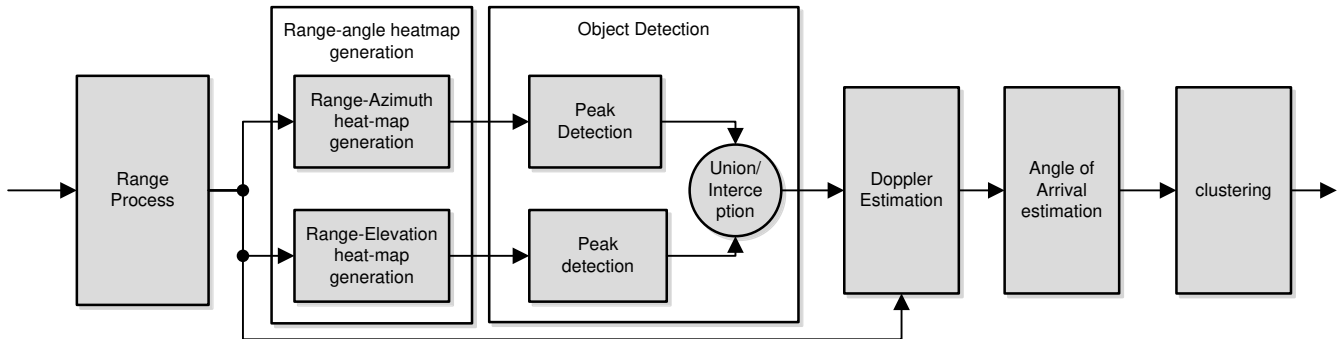


图 2-1. 方框图

## 2.2 主要产品

### 2.2.1 AWR1843AOP 单芯片雷达解决方案

AWR1843AOP 是一款能够在 76 至 81GHz 频带中运行的集成式单芯片 FMCW 传感器 (请参阅图 2-2)。该传感器采用 TI 的低功耗 45nm RFCMOS 工艺构建，并且在超小封装中实现了出色的集成度。它集成了宽 FOV 封装天线。AWR1843AOP 是适用于汽车和工业领域中所用低功耗、自监控、超精确雷达系统的理想解决方案。

封装天线技术具有以下优势：

- 小巧的外形：PCB 上的天线会占用几乎约 30% 的布板空间。天线集成在封装中，可使传感器比传统传感器尺寸减小约 30%。这有助于轻松实现车辆集成。

- 更短的设计周期：开发人员无需花时间对天线参数进行仿真和表征。
- 更低的 PCB 成本：可选择基于 FR4 的低成本 PCB ( 而非基于 Rogers 材料的昂贵 PCB ) 进行设计。

AWR1843AOP 具有以下特性：

- AWR1843 雷达器件
- 封装天线，具有三个 TX 天线和四个 RX 天线
- 电源管理电路，通过单个 5V 输入提供所需的所有电源轨
- 内置校准和自检（监控）：
  - 基于 ARM Cortex-R4F 的无线电控制系统
  - 内置固件 (ROM)
  - 针对频率和温度进行自校准的系统
- 片上存储器：2 MB RAM

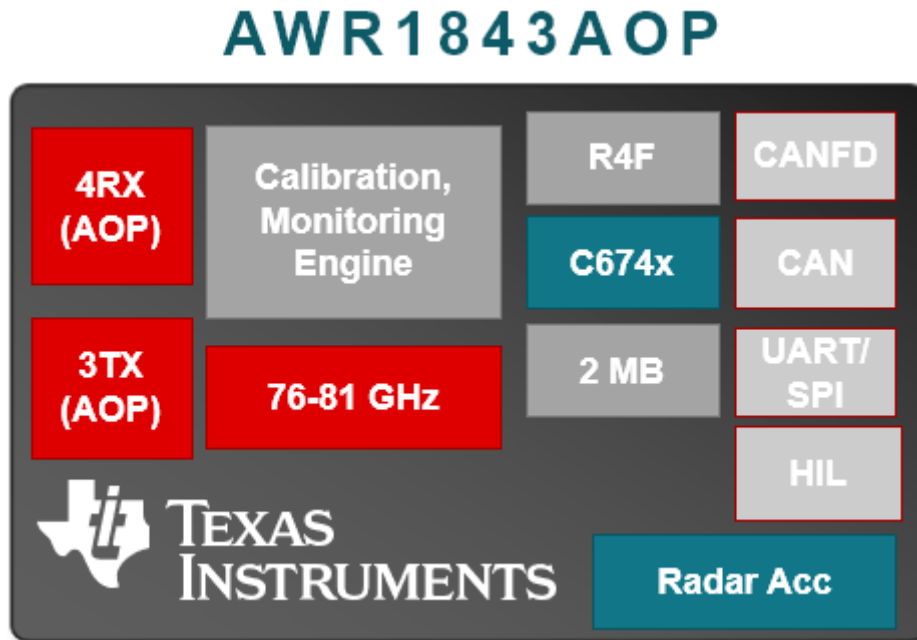


图 2-2. AWR1843AOP 方框图

更多详细信息，请参阅 [AWR1843AOP](#) 产品文件夹。

## 2.3 设计注意事项

### 2.3.1 系统设计原理

#### 2.3.1.1 用例几何形状和传感器注意事项

AWR1843AOP 将 AWR1843AOP 器件与宽 FOV 封装天线结合在一起。AWR1843 器件是基于雷达的传感器，该器件将快速 FMCW 雷达前端与集成式 ARM R4F MCU 和用于高级信号处理的 TI C674x DSP 集成在一起。AWR1843AOP 雷达前端的配置取决于发射信号的配置、射频收发器的配置和性能以及可用的存储器和处理能力。该配置影响系统的关键性能参数。

下面列出了相关的关键性能参数并附有简要说明。

- 距离
  - 通过去调频信号中的拍频来估算距离，该拍频与到目标的往返延迟成正比。对于给定的线性调频脉冲斜坡斜率，最大理论距离由可在射频收发器中检测到的最大拍频决定。最大实际距离由接收到的信号的 SNR 和检测器的 SNR 阈值决定。
- 距离分辨率

- 该参数表示检测器能够区分两个单独点目标的最小距离差，由线性调频脉冲频率扫描的带宽决定。线性调频脉冲带宽越高，距离分辨率就越高。
- 距离精度
  - 该参数通常被定义为作为 **SNR** 函数的单点目标距离估算值方差的经验公式。
- 最大速度
  - 在低级处理链中将径向速度作为一帧内去线性调频脉冲信号的相移直接进行测量。可观察到的最大不模糊速度由一帧内的线性调频脉冲重复时间决定。通常，将该速度调整为所需速度范围的二分之一到四分之一，从而相对于其他参数实现更好的折衷。然后使用其他处理技术来消除速度测量中的模糊性，这会出现混叠。
- 速度分辨率
  - 该参数表示检测器能够区分恰好在相同距离处的两个单独点目标的最小速度差。这是由一个帧内的总线性调频脉冲时间决定的。线性调频脉冲时间越长，速度分辨率就越高。
- 速度精度
  - 该参数通常被定义为作为 **SNR** 函数的单点目标速度估算值方差的经验公式。
- 视场
  - 该参数表示雷达收发器能够有效检测目标的扫描角度。该参数是发射和接收天线阵列的组合天线增益（为角度的函数）的函数，也会受发射或接收处理类型的影响，发射或接收处理类型可能影响作为角度函数的有效天线增益。通常分别为方位角和仰角指定视场。**AWR1843AOP** 天线在方位角和仰角方向上均具有  $\pm 70^\circ$  的视场。
- 角分辨率
  - 该参数表示检测器能够区分恰好具有相同距离和速度的两个单独点目标的最小角度差，由发射和接收天线阵列中天线的数量和几何形状决定。通常分别为方位角和仰角指定该参数。
- 角度精度
  - 该参数通常被定义为用于计算单点目标角度估算值偏差的经验公式，用作 **SNR** 函数。

### 2.3.1.2 天线配置

TIDEP-01024 使用四个接收器和三个发射天线，如图 2-3 所示。当系统在时分多路复用 (TDM) MIMO 模式下运行时，可实现一个包含十二个天线的非均匀合成阵列，如图 2-3 所示。可通过以交替方式使用 TX1、TX2 和 TX3 发送线性调频脉冲来实现 TDM 运行模式。该天线方式专为方位角和仰角方向上的到达方向 (DOA) 检测而设计。

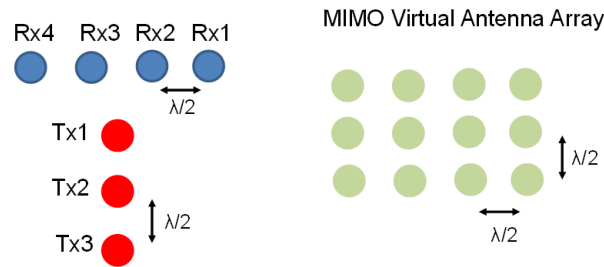


图 2-3. AWR1843AOP 天线方向图

### 2.3.1.3 处理链

在 AWR1843AOP EVM 上实现了障碍物检测的一个示例处理链。该处理链中涉及的主要处理元件如下：

- 前端 - 表示通过各种基于硬件的信号调节操作实现 FMCW 发送器和接收器的天线和模拟射频收发器。
- ADC - ADC 是连接到 DSP 链的主要元件。ADC 输出样本在 ADC 输出缓冲器中进行缓冲，以供处理链的数字部分访问。
- EDMA 控制器 - 用户编程的 DMA 引擎，用于在不使用其他处理器的情况下将数据从一个存储器位置移动到另一个存储器位置。可将 EDMA 编程为自动触发，并且能够将其配置为在移动操作期间对某些数据进行重新排序。
- C674 DSP - 这是用于实现前端配置并对数据执行主要信号处理操作的数字信号处理内核。该内核可访问多种存储器资源，设计说明中对此进行了进一步的说明。
- ARM R4F - 该 ARM MCU 可执行应用代码，包括进一步的信号处理操作和其他更高级别的功能。在该应用中，ARM Cortex R4F 主要通过 UART 接口中继目标列表数据。DSP 和 R4F 都可以看到一个共享存储器。

处理链在 DSP 和 Cortex R4F 上一同实现。处理链中使用了多种物理存储器资源，如表 2-1 中所述。

表 2-1. 物理存储器资源

部分名称	配置的大小 (KB)	使用的存储器 (KB)	说明
L1D SRAM	16	16	第一层数据静态 RAM 是 DSP 的最快数据访问存储器，用于大多数适合本节内容的时间关键型 DSP 处理数据。
L1D 高速缓存	16	16	第一层数据高速缓存对访问配置为可缓存的任何其他部分的数据进行缓存。LL2、L3 和 HSRAM 配置为可缓存。
L1P SRAM	28	24	第一层程序静态 RAM 是 DSP 的最快程序访问 RAM，用于大多数适合本节所述内容的时间关键型 DSP 程序。
L1P 高速缓存	4	4	第一层高速缓存对访问配置为可缓存的任何其他部分的程序进行缓存。LL2、L3 和 HSRAM 配置为可缓存。
L2	256	176	本地第二层存储器的访问延迟低于第三层，并且仅由 DSP 可见。该存储器用于信号处理链的大部分程序和数据。
L3	1024	600	用于 DSP 访问的更高延迟存储器主要存储雷达立方体和距离-多普勒功率图。这是一个对时间敏感度较低的程序。数据也可以保存到这里。
HSRAM	32		在该设计中，DSP 和 R4F 之间的共享存储器缓冲区将可视化数据中继到 R4F，以便通过 UART 输出。

如图 2-4 所示，信号处理链中障碍物检测示例的实现涉及以下模块，这些模块通过在 AWR1843AOP 的 C674x 内核上执行的 DSP 代码实现：



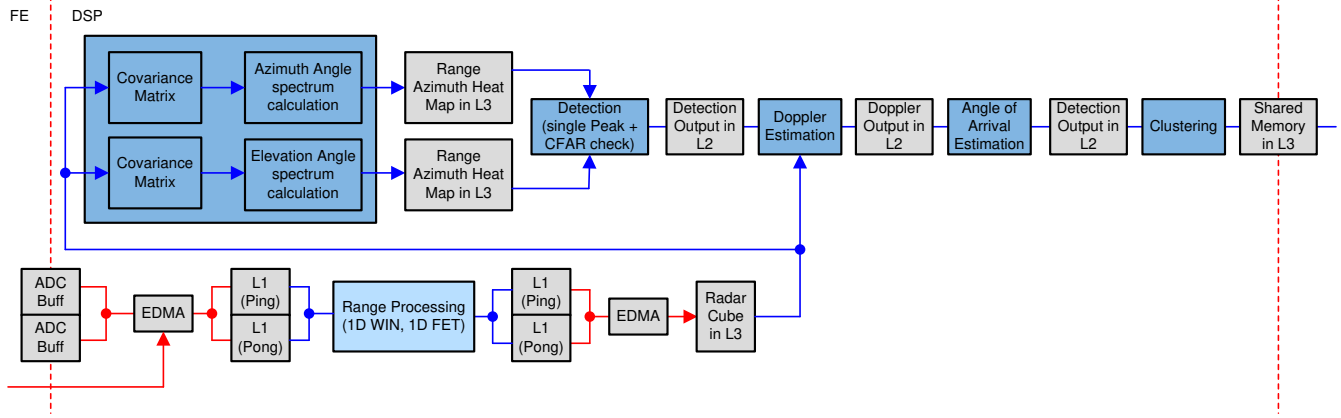


图 2-4. 系统处理链

- 距离处理 - 对于每根天线，采用 EDMA 将样本从 ADC 输出缓冲器移动到 DSP 的本地存储器，并执行 16 位定点 1D 窗口化和 16 位定点 1D FFT。EDMA 用于将输出从 DSP 本地存储器移动到第三层 (L3) 存储器中的雷达立方体存储空间。距离处理与帧的有效线性调频脉冲时间交错。所有其他处理在每个帧中发生，除非另有说明，否则在有效线性调频脉冲时间和帧结束之间的空闲时间期间执行。
- 距离-角度热图计算 - 计算两个热图：距离-仰角和距离-方位角热图。在方位平面形成一个线性天线阵列来计算每个距离库的方位角谱，在仰角平面形成另一个线性天线阵列来计算仰角谱。例如，在 ODS EVM 板 TDD MIMO 配置中，可视化天线阵列如图 2-5 所示。可以使用图 2-5 中圈出的 3 RX 虚拟水平天线来计算距离-仰角热图。可以使用图 2-6 中圈出的 4 RX 虚拟水平天线来计算距离-方位角热图。可以在仰角平面上通过线性天线阵列来形成 3 RX 信号，从而计算距离-仰角谱。

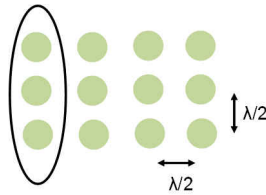


图 2-5. 用于距离-仰角热图计算的虚拟天线阵列

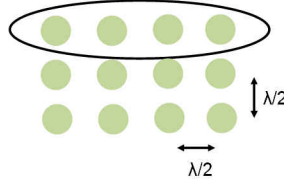


图 2-6. 用于距离-方位角热图计算的虚拟天线阵列

可以使用协方差 BF 法来计算角谱，如方程式 1 所示。

$$\text{Spectrum}(\theta) = \text{abs}[A(\theta) * R_n * A(\theta)^H] \quad (1)$$

- 物体检测 - 在距离-角度域中执行检测。我们的天线方向图中的角度分辨率有限，因此物体检测仅限于针对每个距离库检测单个目标。在每个距离库中，会找到一个表示该距离库中最佳角度的峰值。然后，形成一个 CFAR 窗口来检查该 [距离，角度] 对与其相邻距离相比是否突出。从距离-方位角热图和距离-仰角热图中可以找到两个峰值集。然后，配置可以取两个峰值集的并集或交集，从而形成最终的检测集。输出存储在 L2 存储器中。
- 多普勒估算 - 对于距离-角度空间中的每个检测点，使用多普勒 FFT 来估算多普勒。输出存储在 L2 存储器中。
- 到达角估算 - 对于每个检测点，所有天线的多普勒输出用于计算二维角谱。然后根据 2D 角谱中的单个峰值来计算方位角和仰角。输出存储在 L2 存储器中。

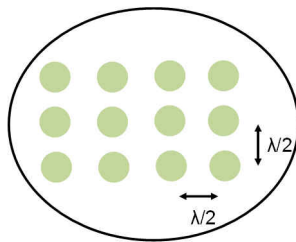


图 2-7. 角谱

### 2.3.2 配置文件

根据毫米波 SDK 发行版中代表此设计的示例，用户可以使用一个“配置文件配置”文件（请参阅图 2-8）通过 UART 将雷达配置推送到器件中。

毫米波 SDK 用户指南（包含在毫米波 SDK 发行版中）详细介绍了以下命令的语义。以下命令序列表示前面几节中介绍的配置选择，用于表示 ODS 功能。软件版本随附的用户指南中更加详细地介绍了 cfarCfg 和 dbscanCfg 命令。

```

1  sensorStop
2  flushCfg
3  dfeDataOutputMode 1
4  channelCfg 15 7 0
5  adcCfg 2 1
6  adcbufCfg -1 0 0 1 1
7  profileCfg 0 77 7 7 58.0 0 0 67.978 1 256 5020 0 0 36
8  chirpCfg 0 0 0 0 0 0 0 1
9  chirpCfg 1 1 0 0 0 0 0 2
10 chirpCfg 2 2 0 0 0 0 0 4
11 frameCfg 0 2 16 0 100 1 0
12 lowPower 0 1
13 guiMonitor 1 1 0 0
14 cfarCfg 1 4 12 4 2 8 2 350 30 2 0 5 50 0.5
15 dbscanCfg 4 4 13 20 3 256
16 sensorStart

```

图 2-8. ODS 配置文件配置



## 3 硬件、软件、测试要求和测试结果

### 3.1 需要的硬件和软件

TI 的 AWR1843AOP EVM 是一款用于 AWR1843AOP 毫米波感应器件的易用型评估板。ODS 雷达应用在 AWR1843AOP EVM 上运行并连接到一个可视化工具，该工具在通过 USB 连接到 EVM 的 PC 上运行。

有关该评估板用法的详细信息，请参阅 [AWR1843AOP 评估板](#)。有关可视化工具的详细信息，请参阅软件版本用户指南。

#### 3.1.1 硬件

AWR1843AOP 核心设计包括以下硬件：

- AWR1843AOP 器件：一款具有集成 DSP 的单芯片 77GHz 封装天线雷达器件。
- 电源管理网络使用电源管理集成电路 (PMIC) 直流/直流电源 LP87524J。
- 可以通过 USB 端口或 2.1mm 桶形插孔获取电源。
- EVM 还托管一个器件，用于帮助通过与 PC 相连的 USB 链路进行板载仿真和 UART 仿真。

#### 3.1.2 软件和 GUI

- ODS AOP 演示应用基于毫米波 SDK。您可在 TI Resource Explorer (<http://dev.ti.com/tirex/#/>) 中获取与 ODS AOP 演示相关的软件。该软件所在路径为 Software\mmWave Sensors\Automotive Toolbox\Labs\Obstacle Detection AOP。汽车工具箱的版本必须为 3.3.0 或更高。还可以在 Code Composer Studio™ (CCS) 的 Resource Explorer 菜单下获取 ODS 演示应用。
- ODS 参考设计的 GUI 位于前述的同一位置。有关如何运行演示和 GUI 的详细信息，请参阅用户指南，该用户指南位于 Resource Explorer 的 ODS 演示目录下。

## 3.2 测试和结果

### 3.2.1 测试设置

这些测试是在实验室环境中进行的。传感器放置在 100cm 的高度。进行了两种类型的测试。

第一类测试包括在 0m 至 2m 的距离范围内对不同物体进行的测试。在这些特定的测试中，以不同的角度将不同类型的物体放置在 0m 至 2m 的距离范围内。图片中显示的检测是在特定距离和角度下的最大检测值。

第二类测试包括最远距离为 5m 时对行人、自行车和自行车骑手等目标进行的测试。

#### NOTE

AWR1843AOP EVM 必须垂直放置，以便将天线设置在方位角位置。请参阅图 3-1 中的设置。

### 3.2.2 测试结果

表 3-1 汇总了测试结果。

表 3-1. 测试结果

物体说明	-70°	-50°	-30°	0°	30°	50°	70°
金属杆	√	√	√	√	√	√	√
塑料杆	√	√	√	√	√	√	√
木柱	√	√	√	√	√	√	√
小型自行车	√	√	√	√	√	√	√
混凝土块 (8" x 8" x 16")	√	√	√	√	√	√	√
交通锥	√	√	√	√	√	√	√

请注意，该表中提供的结果基于可以采用不同的距离进行测试这一假设。例如，距离为 2m 时，对于其中的某些物体，可能无法在所有角度都检测到。在图 3-1 中，能够以大约最大 65 度的角度在 2m 的距离检测到木柱。

以下是测试设置快照以及相关的 GUI 测量值。

对反射点进行了聚类处理。一个聚类呈现为一个立方体。根据聚类大小来计算立方体的大小。红色用于呈现 1m 以内的物体。绿色用于呈现距离大于 1m 的物体。在 GUI 中，鲜红色方框显示传感器的位置。

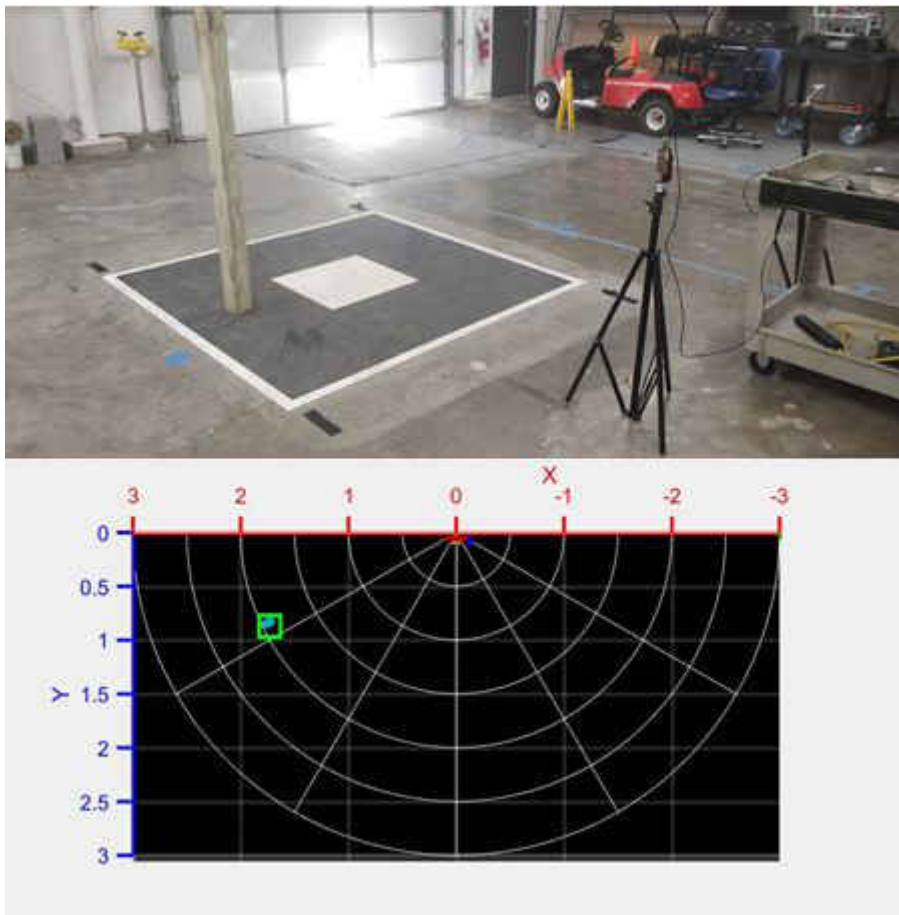


图 3-1. 木柱

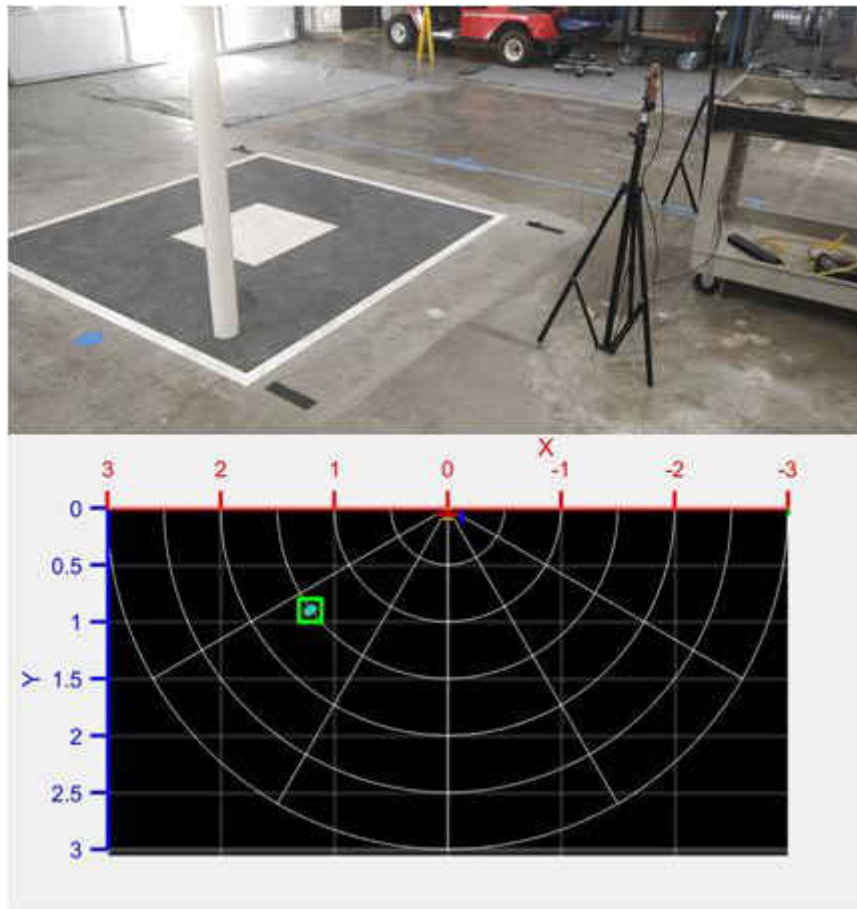


图 3-2. 塑料杆

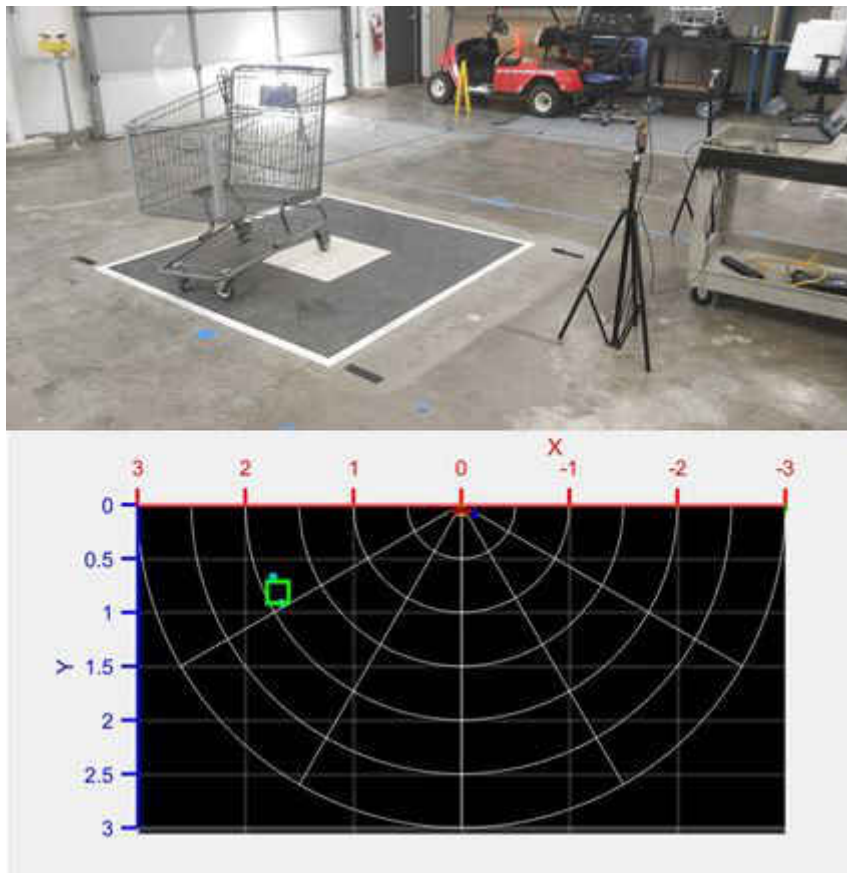


图 3-3. 购物车

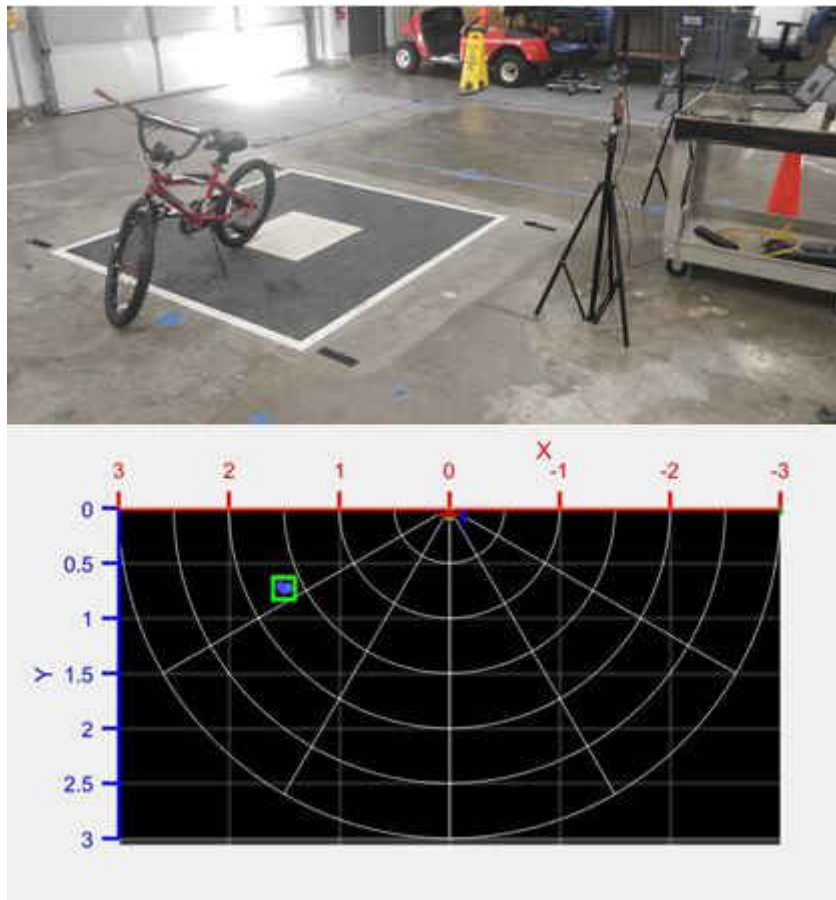


图 3-4. 小型自行车



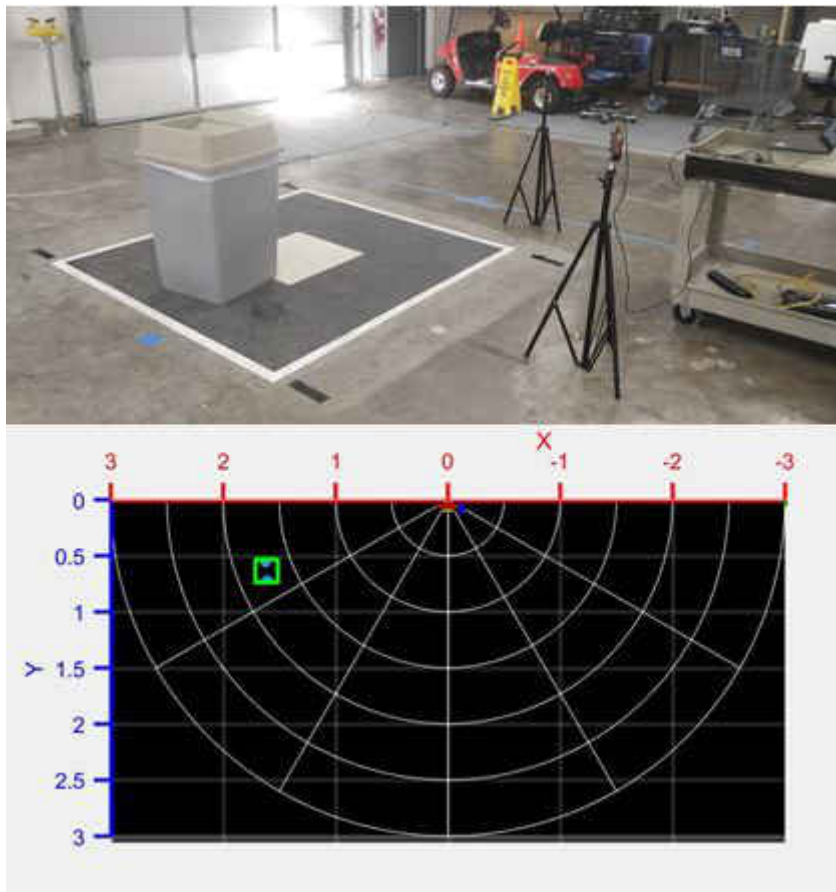


图 3-5. 垃圾桶

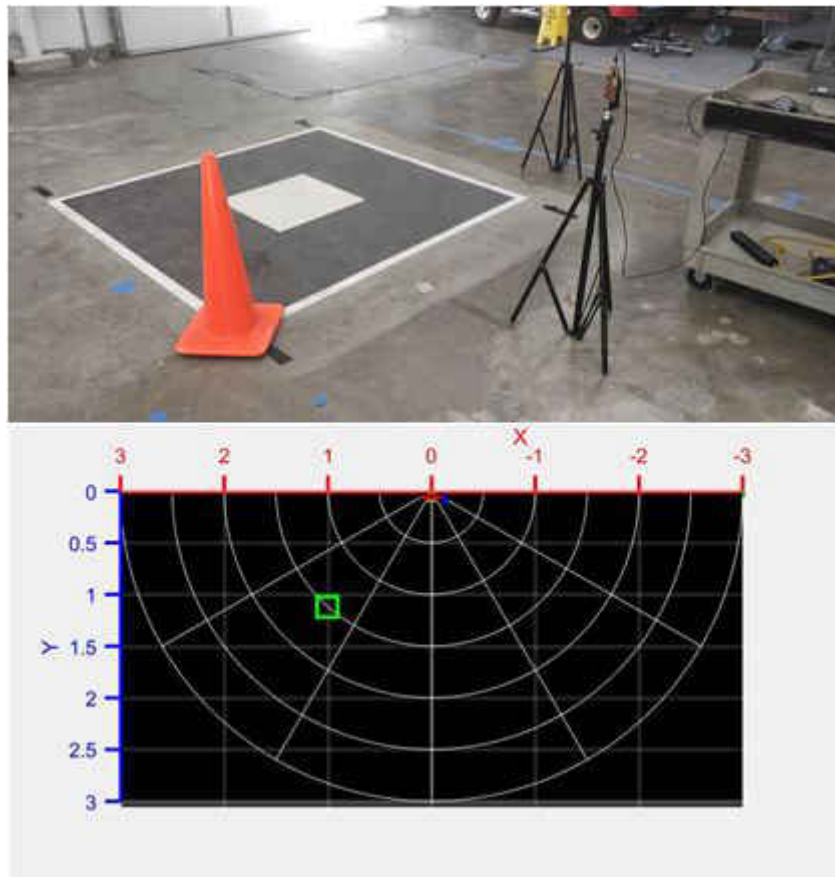


图 3-6. 垂直混凝土块 - 3D 视图

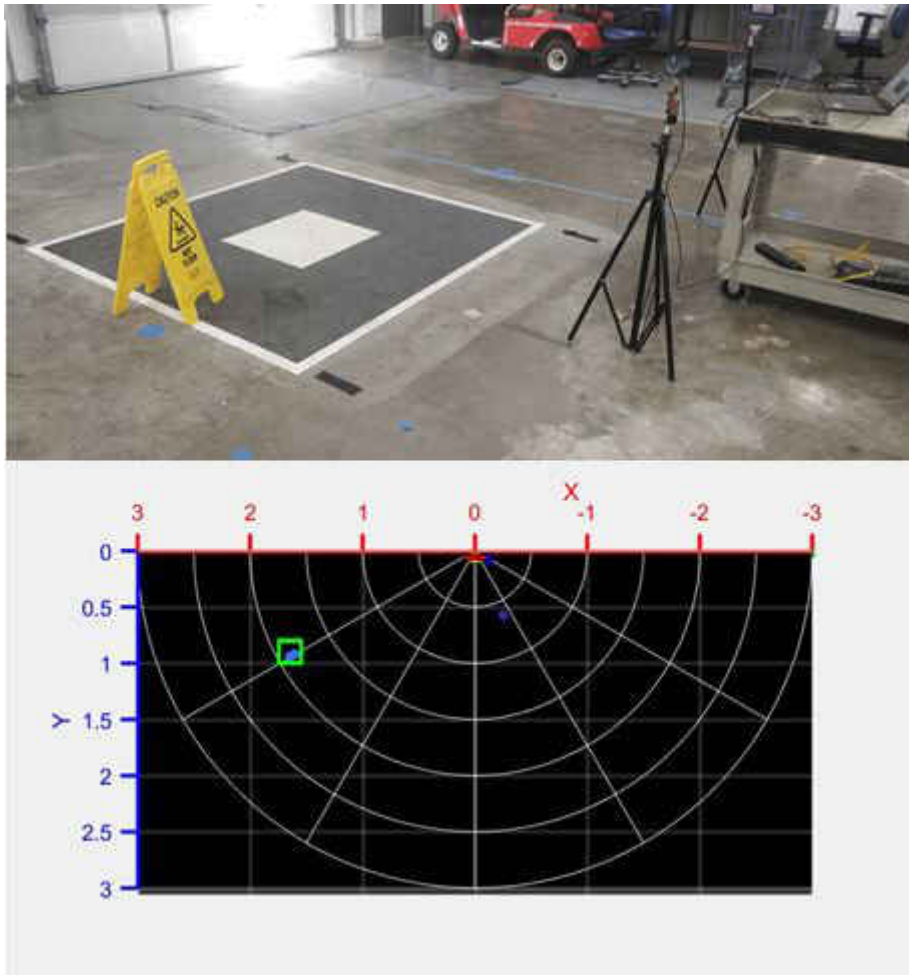


图 3-7. 地面湿滑标志

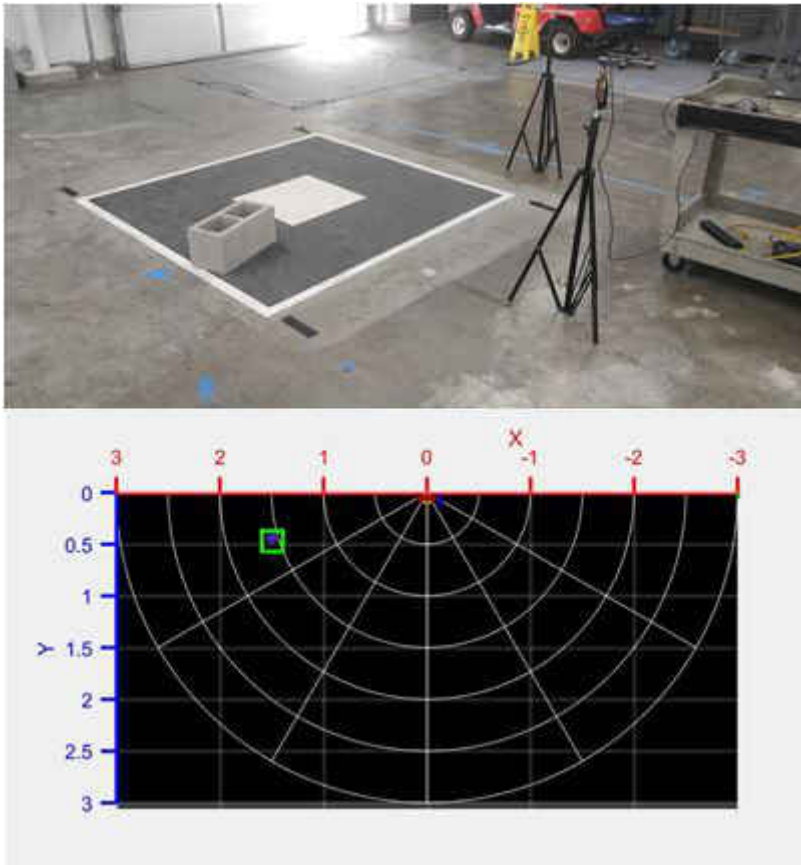


图 3-8. 水平混凝土块

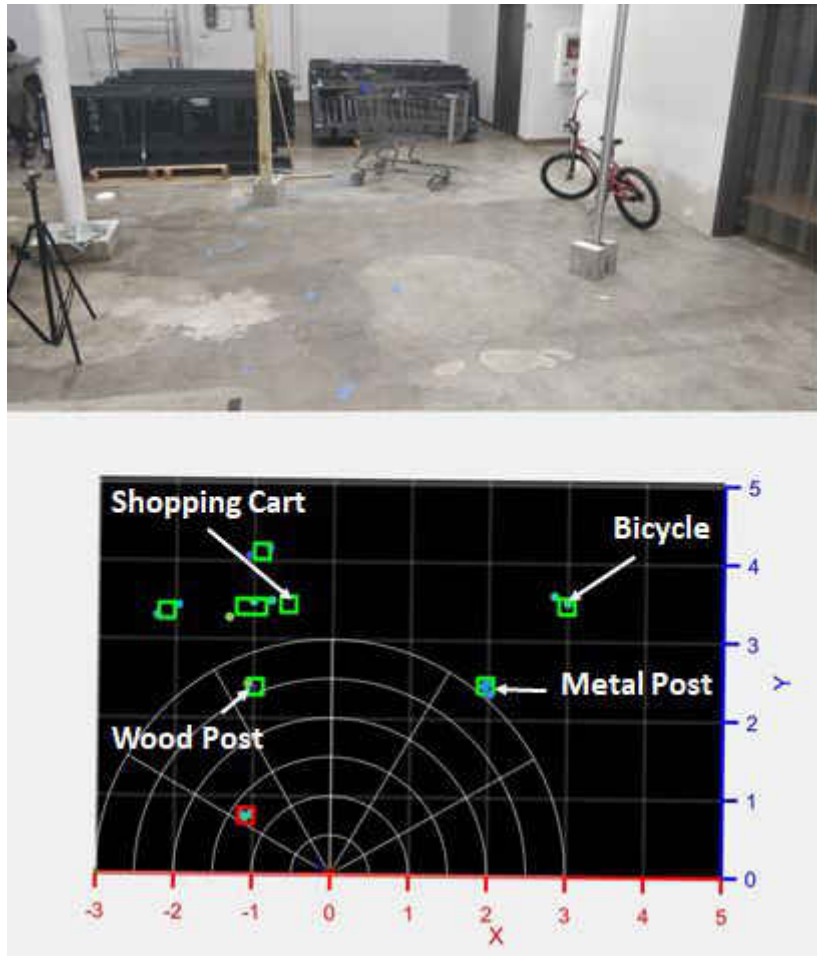


图 3-9. 多物体检测

## 4 设计和文档支持

### 4.1 设计文件

#### 原理图

若要下载原理图，请参阅 [TIDEP-01024](#) 中的设计文件。

#### 物料清单

若要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDEP-01024](#) 中的设计文件

#### Altium 工程

若要下载 Altium Designer® 工程文件，请参阅 [TIDEP-01024](#) 中的设计文件

### 4.2 软件

#### 软件文件

您可在 TI Resource Explorer (<http://dev.ti.com/tirex/#/>) 中获取与 ODS AOP 演示相关的软件。该软件所在路径为 Software\mmWave Sensors\Automotive Toolbox\Labs\Obstacle Detection AOP。

### 4.3 文档支持

1. 德州仪器 (TI), [AWR1843AOP 数据表](#)

- 德州仪器 (TI), [AWR18xx/16xx/14xx/68xx 技术参考手册](#)
- 德州仪器 (TI), [毫米波 SDK、工具文件夹](#)

#### 4.4 支持资源

[TI E2E™ 支持论坛](#)是工程师的重要参考资料，可直接从专家获得快速、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可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™ and Code Composer Studio™, and are trademarks of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。



## 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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司