

Technical White Paper

利用 TI 毫米波雷达传感器让智能家用电器实现智能化和高效



Joe Wang

摘要

随着家居环境变得越来越智能，人们越来越需要增加更多智能特性、提高效率和降低电器的碳足迹，所有这些都可以通过集成毫米波 (mmWave) 雷达传感器来实现。与传统的运动和存在检测传感器相比，毫米波雷达具有许多独特的优势。毫米波雷达对运动检测具有很高的灵敏度，不易受到变化环境的影响，并且具有更高的准确度。在空调和家电等家用电器中，毫米波雷达可带来各种智能体验，有助于节省能源和减少碳排放。毫米波雷达的独特技术优势可以赋予智能家居更强大的能力。

内容

1 引言.....	2
2 运动检测技术比较.....	2
3 智能家用电器中使用的毫米波.....	3
3.1 产品类型.....	3
3.2 空调应用场景分析.....	3
4 可加快毫米波评估速度的 TI 设计.....	5
4.1 产品和设计资源.....	5
4.2 TIDA-010254 参考设计.....	5
5 结语.....	8
6 参考资料.....	8

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

毫米波是一类使用短波长电磁波的雷达技术。雷达发射的电磁波信号被信号路径中的物体反射。通过捕捉反射的信号，雷达系统可以确定物体的距离、速度和角度。TI 的毫米波雷达器件集成了模拟和数字元件，其中包括发送器、接收器、时钟等模拟元件，以及 ADC、MCU、存储器和硬件加速器等数字元件。这些元件不同于传统的分立式元件，可以降低功耗和总体系统成本。要了解毫米波雷达的原理，请参阅白皮书：[毫米波雷达传感器基础知识](#)。

2 运动检测技术比较

随着技术的发展以及智能检测需求的不断增长，被动红外 (PIR)、激光雷达和 3D ToF、光学摄像头和微波等越来越多的传感器技术进入了日常生活。图 2-1 比较了这些技术，并列出了它们的优缺点。

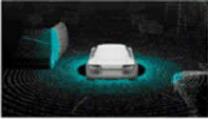
	Passive infrared (PIR)	Optical cameras	Active infrared (LIDAR, ToF)	Microwave (10 GHz or 24 GHz)	TI mmWave
					
Description	Measures changes in infrared light in order to detect motion	Analyzes imagery to determine people movement and behavior	Measures infrared light ToF	Discrete components assembled to create a radar for motion detection	TI single-chip radar sensor provides range, velocity and angle information about objects
Pros	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Simple, low-power consumption 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Algorithms applied for variety of applications ✓ Video for recording and monitoring 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ High angular resolution provides a rich data set, similar to cameras 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ High sensitivity to motion (breathing, typing) ✓ Extended range (+50 m) ✓ Insensitive to weather, changing environments 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ High sensitivity to motion (breathing, typing) ✓ On-chip processing for single-chip tracking, classification ✓ Extended range (+50 m) ✓ Insensitive to weather, changing environments
Cons	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Low sensitivity to fine motion ✗ False detection outdoors from sunlight, temperature ✗ Limited range, no position or distance information 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ False detection from shadows, occlusion, day/night, environment ✗ Complex software and processing requirements ✗ No position/range information ✗ Privacy considerations 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Limited range in the presence of sunlight (5-10m) ✗ Complex software and processing requirements 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Hardware and software design and integration complexity ✗ No position information ✗ Large form factor 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Lower angular resolution than cameras or active infrared

图 2-1. 常见运动检测传感器技术的比较

总体而言，与其他传感器技术相比，毫米波具有许多优势，例如高灵敏度、覆盖更大范围以及不易受到环境影响。目前，毫米波雷达在汽车领域（最大的应用市场）中得到广泛应用。不过也可用于工业市场，包括智能交通、安全监控、智能家居、智能医疗、工业测量以及其他领域。在各种应用场景中，智能家居和智能医疗是新兴应用领域，在过去两年中受到了广泛关注，并且在未来有着很大的发展前景。

3 智能家用电器中使用的毫米波

3.1 产品类型

毫米波雷达主要用于智能家居中的人员检测。具体功能包括人员存在检测、位置跟踪、睡眠监测和手势识别。根据不同的产品形态，毫米波雷达可分为嵌入式和独立式。嵌入式意味着雷达嵌入到产品中来使用，并由产品的内部电源供电。独立式意味着使用独立雷达模块，无需嵌入到任何产品中，且通常由电池供电。毫米波雷达在智能家居中的典型应用如图 3-1 所示。



图 3-1. 智能家居中的毫米波典型应用

嵌入式

嵌入式毫米波雷达传感器也正在取代智能家居（例如智能扬声器、智能空调、智能照明、自动门、智能马桶、电子锁、可视门铃和中央控制屏幕）中的红外传感器。在这些应用中，可将毫米波雷达嵌入到这些产品中，从而使供电和安装更加方便。

独立式

独立式家居毫米波雷达主要用于人员检测和识别。60GHz 雷达可用于检测人员的存在、位置和方向以及进行追踪。独立式雷达还可与照明设备、环境设备和家用电器共存。在现有技术中，独立式雷达常用于视频监控或红外传感器中的运动检测。视频监控容易受到侵扰，而红外人体检测只能用于确定是否有人，因此难以准确获取人员的具体位置信息。毫米波雷达可以有效弥补这两项技术的不足。

3.2 空调应用场景分析

空调产品在不断发展和改进，加入了更多的功能和智能化技术。通过在空调中集成毫米波雷达技术，可以实现新的功能，例如根据是否有人、人的数量和位置来相应地调整空调运行。这样可以减少能耗并提高产品价值。

- **存在检测：**毫米波可以检测房间中是否有人，并可在房间或生活区长时间未检测到人员时自动关闭。这样就避免了必须始终打开空调的问题，从而有助于节省电力并减少碳排放。
- **定位和人员计数：**通过检测人员的位置，器件可以自动调节空调的出风口，使其朝向有人的特定方向吹风，从而使产品体验更好地满足客户需求且更高效。例如，当白天很热时，将空气出口调整到人们聚集的地方，或在夜间调整出风口，使空气不会直接对着人吹，如图 3-2 所示。



图 3-2. 使用毫米波进行定位

- **生命体征检测和睡眠监测**：另一个潜在的应用场景是检测生命特征信息（呼吸和心率）、调整气流，以及通过检测睡眠者在夜间的姿势和动作来发出提醒。该器件可以提供关于睡眠质量的反馈（如图 3-3 中所示），这对老年人来说是非常重要的数据。

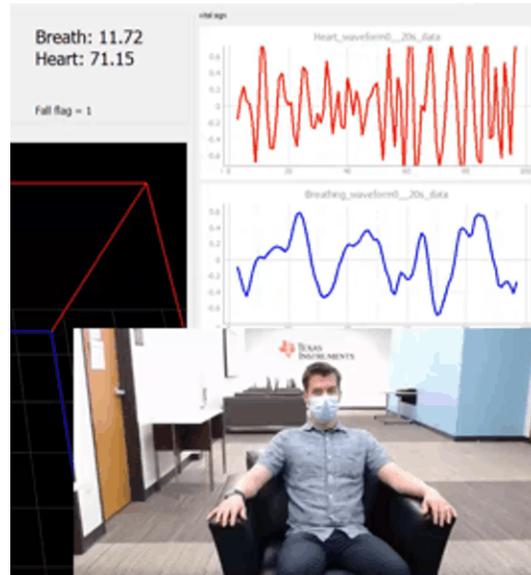


图 3-3. 使用毫米波进行生命体征检测

- **手势识别**：通过检测不同的手势（从上到下、从左到右、推拉等），空调系统可以调节温度、风速等功能，如图 3-4 所示。

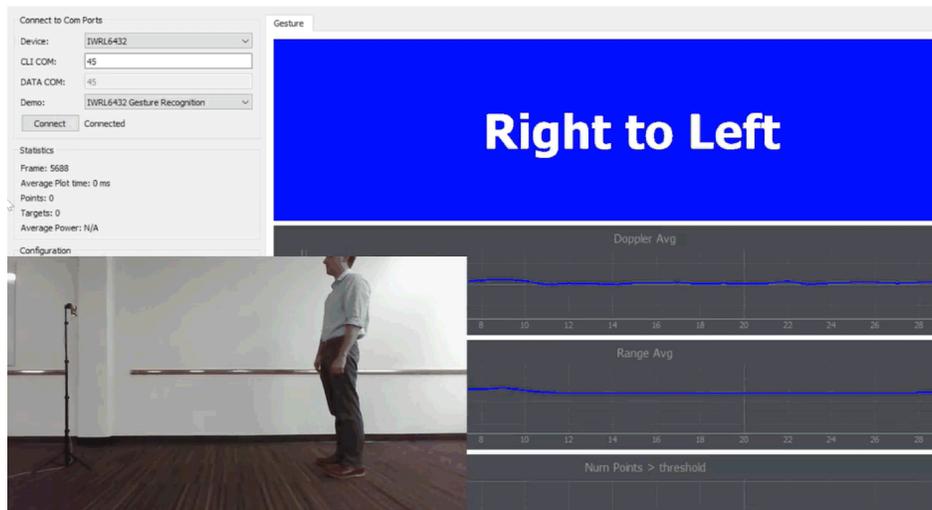


图 3-4. 使用毫米波进行手势识别

4 可加快毫米波评估速度的 TI 设计

4.1 产品和设计资源

对于 60GHz 毫米波雷达，TI 有以下产品：

- [IWRL6432](#) - 采用 HWA 的 3R2T 低功耗、低成本毫米波雷达传感器
- [IWR6843](#) - 采用 DSP 和 HWA 的 4R3T 60GHz 毫米波雷达传感器
- [IWR6843AOP](#) - 封装中带有集成天线的 IWR6843

客户可以针对不同的应用场景选择合适的产品。TI 还提供了许多用于不同应用的示例和软件，例如：

- 存在和运动检测 - [存在和运动用户指南](#)
- 手势识别 - [IWRL6432 手势识别用户指南](#)
- 生命体征 - [生命体征与人员追踪用户指南](#)

有关更多示例和演示资源，请参阅[雷达工具箱](#)。

4.2 TIDA-010254 参考设计

可通过使用 TI 集成有处理功能的 60GHz 至 64GHz 单芯片智能毫米波传感器或单芯片低功耗 57GHz 至 64GHz 工业毫米波雷达传感器来实现毫米波功能和演示评估。但是，对于已经完成演示评估并计划进行硬件设计的客户，请参考 TI 的参考设计：[电池供电的低功耗、低成本毫米波雷达解决方案](#)。此设计采用 IWRL6432 + CC1352 的组合，旨在为具有低功耗和无线数据传输需求的客户提供一种选择方案。图 4-1 仅简要介绍了 IWRL6432 模块。

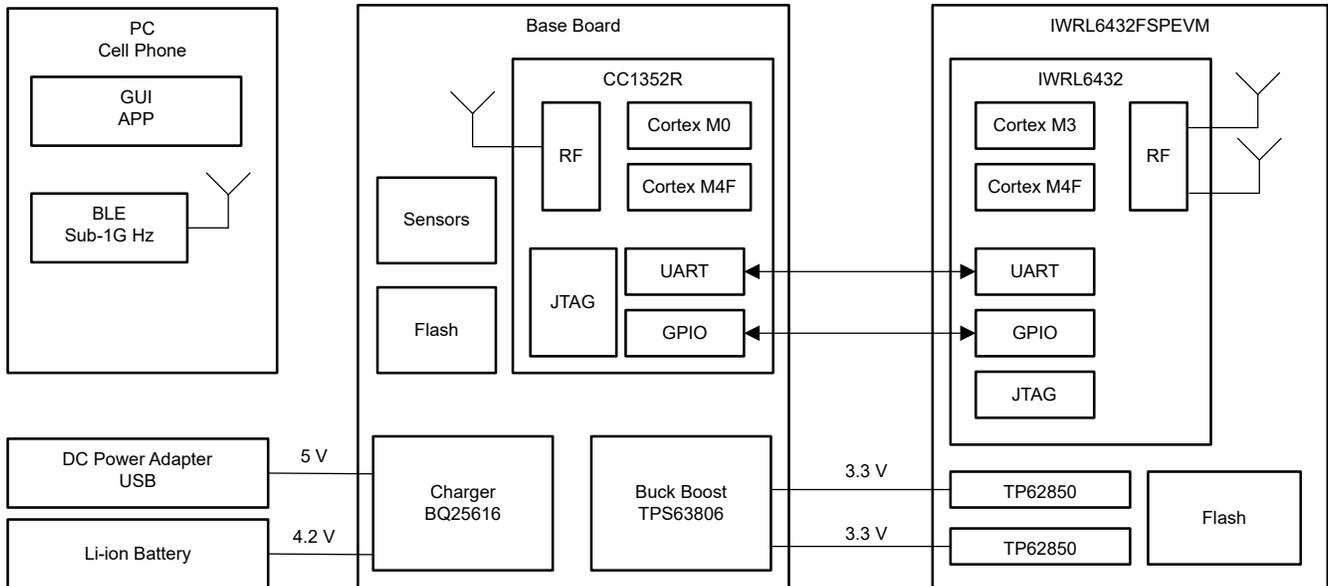


图 4-1. TIDA-010254 方框图

电源设计

IWRL6432 的系统电源分为以下四种类型：3 轨 (3.3V、1.8V、1.2V)、2 轨 (3.3V、1.8V)、2 轨 (1.8V、1.2V)、单轨 (1.8V)，如图 4-2 所示。

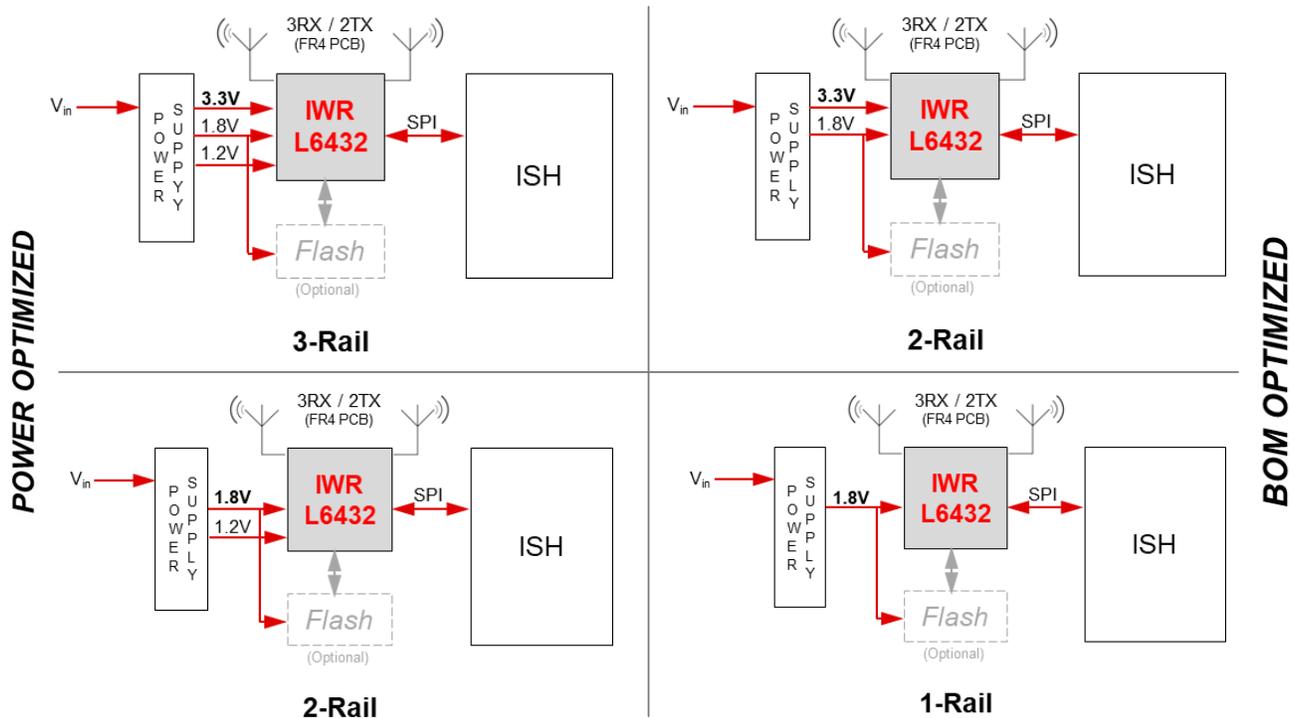


图 4-2. IWRL6432 电源

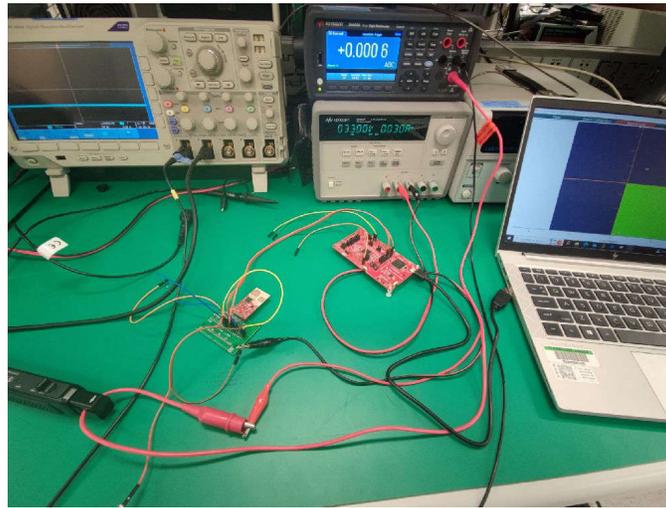
为降低功耗，请使用左侧的电源选项。如果不需要低功耗但需要考虑 BOM 成本，请选择右侧的电源选项。此 IWRL6432 模块的 3D PCB 视图如下所示，PCB 尺寸为 41mm × 21mm。有关详细信息，请参阅[支持 Sub-1GHz 和 Bluetooth® 5.2 的电池供电型毫米波雷达传感器参考设计](#)。

在许多应用场景中，尤其是对于电池供电应用，功耗是一个非常重要的考虑因素，也是许多客户在设计雷达传感器系统时需要考虑的问题。低功耗是 TI IWRL6432 模块的其中一项优势，如图 4-3 所示。我们还对此电路板运行一些功耗测试。



图 4-3. TIDA-010254 IWRL6432 模块

使用 Keysight 34460A 万用表和 Keysight BenchVue 软件来记录当前数据和波形。图 4-4 展示了测试环境。要运行运动检测功耗测试，请从 SDK 中选择“motion_and_presence_detection_demo.appimage”来刷写雷达器件，并使用以下配置参数运行该测试。



```

sensorStop 0
channelCfg 7 1 0
chirpComnCfg 12 0 0 64 1 12 0
chirpTimingCfg 18 25 0 100 61
frameCfg 4 0 260 1 333 0
guiMonitor 2 1 0 0 0 1 0 0 0 0
sigProcChainCfg 4 2 1 0 0 0 0 0.3
cfarCfg 2 8 4 3 0 9.0 0 0.5 0 1 1 1
aoaFovCfg -80 80 -40 40
rangeSelCfg 0.5 20.0
    
```

图 4-4. IWRL6432 模块功耗测试

使用 Keysight BenchVue 软件来查看测试结果。如图 4-5 所示，电压为 3.3V 时平均电流为 988uA，因此平均功耗为 3.2mW。

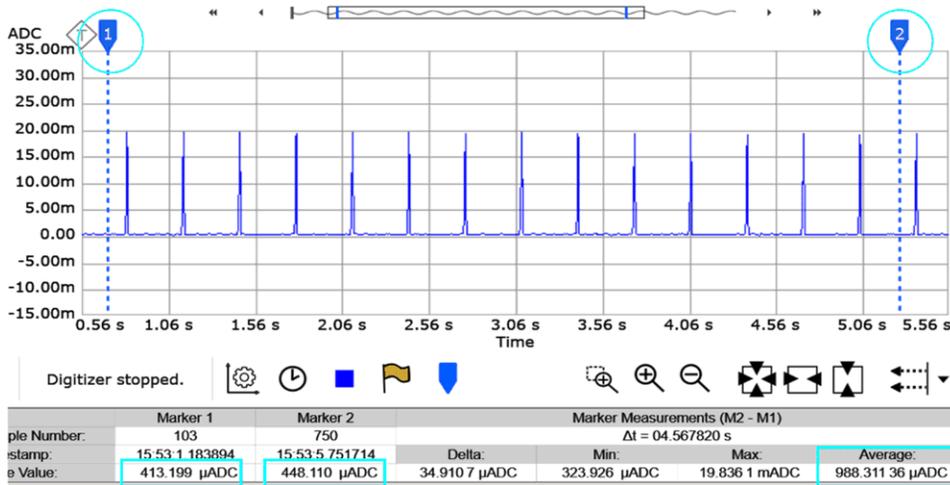


图 4-5. 运动检测功耗测试

备注

请注意，这不是最低功耗，而只是在当前配置文件下的 TIDA-010254 毫米波模块功耗。不同应用场景使用不同的配置，因而功耗也不同。

5 结语

具有全屋智能功能的智能家居已经成为目前的发展趋势。毫米波雷达具有独特的优势，包括高运动检测灵敏度、在多种环境条件下运行的稳健性、无隐私问题以及隔着塑料外壳依然可以进行检测。这些优势使毫米波雷达能够继续应用于智能家居和许多其他工业领域，而 60GHz 毫米波雷达具有更好的性能，可以应对更多场景。TI 提供分别适用于高性能 (IWR6843) 和低成本、低功耗 (IWR6432) 的毫米波雷达选项，还具有许多资源可协助客户更轻松地进行设计。

6 参考资料

- 德州仪器 (TI), [支持 Sub-1GHz 和 Bluetooth® 5.2 的电池供电型毫米波雷达传感器参考设计](#)
- 德州仪器 (TI), [利用 TI 的毫米波传感器，让细微运动检测和人员计数功能实现智能自主操作](#)
- 德州仪器 (TI), [利用雷达传感器实现更智能的家居、城市和生活](#)
- 德州仪器 (TI), [毫米波雷达传感器基础知识](#)
- 德州仪器 (TI), [xWRL6432 入门](#)

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