

AWR1642毫米波传感器： 适用于短距离雷达应用的 76–81 GHz 片上雷达



Jasbir Singh
SoC 架构师

Brian Ginsburg
毫米波系统经理

Sandeep Rao
雷达系统架构

Karthik Ramasubramanian
雷达系统经理

德州仪器 (TI)

介绍

近年来，雷达技术的使用率大幅攀升。在汽车应用中，主要雷达应用可以笼统地分为角雷达和前雷达两大类。角落雷达（后方和前方）通常为短距离雷达传感器，可满足盲点检测（BSD）、车道变换辅助（LCA）和前/后两侧横向来车警示（F/RCTA）的要求，而前雷达则通常为负责自主紧急制动（AEB）和自适应巡航控制（ACC）的中远距离雷达。

传统的角落雷达基于 24 GHz 技术。然而，在新兴监管要求以及带宽可用性更大、传感器尺寸更小和性能优势因素的影响下，业内正在向 77 GHz 频段转移。

本白皮书将 [AWR1642](#) 作为适用于短距离雷达的高度集成 76–81GHz 片上雷达解决方案进行介绍。该器件包含用于两个发射器（TX）和四个接收器（RX）的整个毫米波（mmWave）射频（RF）和模拟基带信号链，以及 C674x 数字信号处理器（DSP）和 ARM® Cortex®-R4F 微控制器（MCU）两个客户可编程处理器内核。在下面几节中，我们将介绍 AWR1642 器件的高层体系结构和特性，并展示适用于典型使用案例的线性调频脉冲配置示例说明。

AWR1642 高层体系结构

AWR1642 器件是一个高度集成的单芯片 77 GHz 片上雷达器件，包含两个发射链路和四个接收链路、一个 600 MHz 用户可编程的 C674x DSP，以及一个 200 MHz 用户可编程的 ARM Cortex-R4F 处理器。该器件支持覆盖 76–77 GHz 和 77–81 GHz 频段的宽射频带宽。如下页图 1 所示，该器件包含四个主要子系统：射频/模拟子系统、射频处理器子系统、DSP 子系统和主子系统。

射频/模拟子系统包含以下射频和模拟电路：合成器、功率放大器（PA）、低噪声放大器（LNA）、混频器、中频（IF）链路和模数转换器（ADC）。该子系统还包含晶体振荡器、温度传感器、电压监控器和通用 ADC。

AWR1642 器件采用复基带架构，提供同相（I 通道）和正交（Q 通道）输出。另一篇标题为“[使用复基带架构的 FMCW 雷达系统](#)”的白皮书对复基带架构的优势进行了介绍。

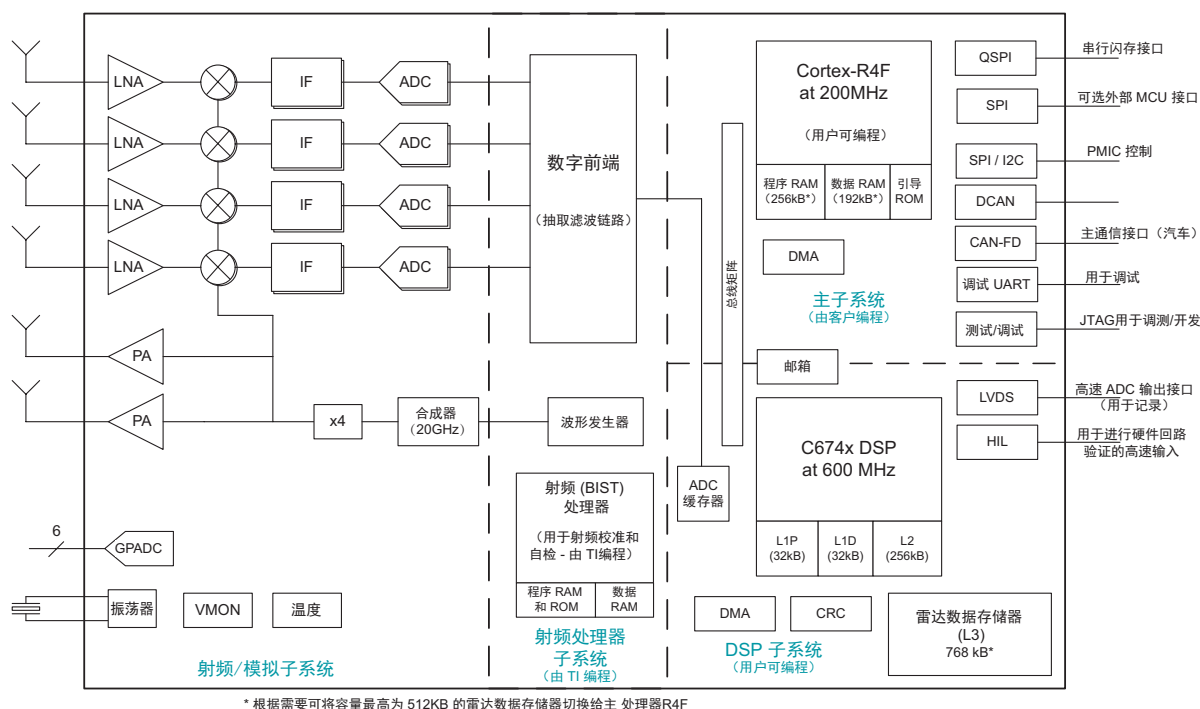


图 1.AWR1642 高层体系结构。

射频处理器子系统（又称为内置自检 [BIST] 子系统）包含数字前端、波形发生器和内部处理器（用于根据主子系统或 DSP 子系统发出的明确的应用程序编程接口（API）消息来控制和配置底层射频/模拟和波形发生器寄存器）。（注意：该射频处理器由 TI 编程，负责射频校准需求及 BIST/监控功能；该处理器不对用户开放编程。）数字前端负责过滤并对原始 sigma-delta ADC 输出进行采样抽取，根据可编程的采样率提供最终的 ADC 数据样本。

DSP 子系统包含一个时钟频率为 600 MHz、用于进行雷达信号处理的 TI C674x DSP — 通常用于在进行物体检测前原始 ADC 数据的处理。该 DSP 可由用户进行编程，可在使用专有算法时提供充分的灵活性。

主子系统包含时钟频率为 200 MHz、客户可编程的 ARM 汽车级 Cortex-R4F 处理器。该处理器控制器件的整体运行，通信接口的配置，以及类似目标分类和跟踪等高层算法的实现。如果需要，该处理器可运行汽车开放系统架构（AUTOSAR）。

AWR1642 毫米波传感器可以充当适用于短距离雷达（SRR）应用的自主片上雷达传感器。该器件包含一个四路串行外设接口（QSPI），可直接从串行闪存下载客户代码。控制器区域网络-灵活数据速率（CAN-FD）接口和一个额外的（经典）CAN 接口，使该传感器可以直接与车辆 CAN 总线或私有 CAN 总线上的其他传感器进行通信。将 AWR1642 器件当作自主传感器使用时，可使用 SPI/内部集成电路（I²C）接口以实现电源管理集成电路（PMIC）控制。

存储器划分

AWR1642 毫米波传感器的总可用存储器容量为 1.5 MB。划分为 R4F 程序 RAM、R4F 数据 RAM、DSP L1 和 L2 存储器，以及雷达数据存储单元（L3 存储器）。表 1 列出了一些示例存储器配置。

- DSP 子系统内的 L2 存储器容量为 256 KB，通常用于存放 DSP 应用的相关指令和数据。
 - DSP 子系统还包含各为 32 KB 的 L1 程序和数据 RAM，它们被全部或部分配置为缓存
- R4F 拥有 448 KB 专用存储器，划分为 R4F 的紧耦合存储器接口 — viz. TCMA（256 KB）和 TCMB（192 KB）。
 - 虽然所有 448-KB 存储器是标准一致的，可用于指令或数据，但典型应用会将 TCMA 用作指令存储器，并将 TCMB 用作数据存储器。
- 其余 768 KB 为 L3 存储器，该存储器可用于雷达数据立方体的存储。还可以按 128 KB 的增量将最高 512 KB L3 存储空间分享给的 R4F。

选项	R4F RAM	DSP L2 RAM	雷达数据存储单元
1	448 KB	256 KB	768 KB
2	576 KB	256 KB	640 KB
3	704 KB	256 KB	512 KB

表 1. 存储器配置示例。

DSP 的优势

内置 C674x DSP 是 AWR1642 器件的主要优势之一。调频连续波（FMCW）雷达技术在过去几年里取得了长足进步，而且未来还将持续发展。随着雷

达在现代车辆中扮演着越来越重要的角色，为了驾驶员的舒适度和安全着想，汽车制造商正在不断增加应用的数量。这些新兴应用也令空间分辨率、速度分辨率和物体检测与分类方面的雷达性能要求变得更加严苛。

由于可在 AWR1642 器件中使用完全可编程 DSP，因此您可以实施专有算法并构建创新解决方案，以解决雷达性能方面的严峻挑战。在算法方面持续取得的研究进展可提高若干关键领域的性能，例如：

- **干扰消除**：随着越来越多的车辆开始部署雷达技术，雷达之间的干扰问题变得尤为重要。在此背景下，用以检测和减轻干扰的创新算法成为研究和信号处理算法开发的一个活跃领域。
- **检测算法改进**：由于全新新兴雷达应用（包括全自动驾驶极限视野）的出现，需改进有关物体检测、地面杂乱回波清除和尽量减少虚警的算法，以确保稳健性。
- **高分辨率角度估算**：有限的角分辨率是与雷达传感器相关的主要挑战之一。除波束赋形以外的一些高级角度估算算法（包括多信号分类（MUSIC）和通过旋转不变技术估算信号参数（ESPIRIT））可以提高角分辨率。
- **集聚类和物体分类算法**：这是研究和算法开发的另一个活跃领域，特别是在使用高分辨率雷达点云进行物体分类，以及使用微多普勒等技术进行行人识别的背景下。

出于以上需求，内置 DSP 可实现高性能和完全可编程信号处理能力。**表 2** 针对 DSP 在一些典型雷达信号处理应用中的性能表现提供了若干基准数据。

选项	运算	时钟周期 (C674x DSP)	执行时间 (600 MHz)
1	128-pt 快速傅里叶变换 (FFT) (16位)	516	0.86 μ s
2	256-pt FFT (16位)	932	1.55 μ s
3	512-pt FFT (16位)	2,168	3.61 μ s
4	加窗 (长度 N 矢量)	$0.595N + 70$	0.37 μ s (for N = 256)
5	对数幅度 (16位)	$1.8N + 75$	0.893 μ s (for N = 256)
6	恒虚警率-单元平均 (CFAR-CA) (N 单元)	$3N + 161$	1.55 μ s (for N = 256)

表 2. 常规雷达信号处理的基准数据。

安全性

AWR1642 毫米波传感器提供安全的启动机制。安全启动，一种安全启动程序类型，使代码/算法始终以加密形式存在、并防止任何类型的非授权访问。另外，还可以避免将恶意代码植入器件，从而可以防止器件运行被更改的代码/功能。

为加快计算密集型的编解码运算过程，AWR1642 毫米波传感器配备了硬件安全特性加速器，应用代码也可以使用这些特性来实现额外的安全机制：

- 高级加密标准 (AES)。
- 安全散列加速器 (SHA2)。

- 真随机数产生器 (TRNG)。
- 公钥加速器 (PKA)。

此外，AWR1642 传感器还提供安全调试机制，在使调试变得轻而易举的同时，还可以防止器件遭受各类威胁。

安全

AWR1642 传感器是 TI SafeTI™ 设计套件中的一部分，有助于开发人员开发的应用达到国际标准化组织 (ISO) 26262 汽车安全完整性等级 (ASIL) B 的相关要求。

AWR1642 传感器遵循名为“安全岛”的理念，该理念涉及在硬件诊断和软件诊断之间达到平衡，以帮助管理功能安全。在通电的情况下对一组核心元件进行全面测试，并对其进行密切监控，以帮助确保软件执行正确无误。该组核心元件包含电源、时钟、复位装置、R4F 处理器、互连、与软件执行有关的程序及数据存储器，以及可在其他器件上实现软件诊断的外设单元。

该器件包含高级内置电路，可在功能线性调频脉冲期间和线性调频脉冲间与帧间空闲期间分别在线和离线进行射频和模拟前端片上监控。运行 TI 固件的专用射频处理器 (延迟锁步) 内核有助于简化应用开发，可以完全负责雷达前端的监控功能，释放出 DSP 和 MCU 处理器每秒百万条指令 (MIPS)。AWR1642 传感器支持以下前端诊断特性：

- 合成器线性调频脉冲频率监控器。
- TX 输出功率监控器。

- 基于射频环回的噪声系数、增益不平衡和相位不平衡监控器。
- RX 饱和监控器。
- 基于 IF 环回的 IF 放大器（IFA）滤波器衰减监控器。
- 焊球破裂监控器。
- 温度传感器。

其他主要诊断特性包括中央处理器（CPU）内核逻辑 BIST、适用于所有存储器的存储器 BIST、适用于每个处理器的窗口看门狗、端到端纠错代码、存储器保护单元、时钟和电源监控器、复位毛刺脉冲滤波，以及误差信号模块。这些特性有助于开发人员更加轻松快速地完成其终端应用和设计的 ASIL-B 功能安全。

安全关键型开发要求对系统和随机故障进行管理。TI 已为安全关键型半导体创建了独特的开发流程，量身定制了 ISO 26262:2011 功能安全生命周期，以更好地满足独立安全元件（SEooC）的需求。这项定制活动催生了有助于使应用满足最先进技术措施、并且通过独立第三方审核者 TÜV SÜD 认证的开发流程。

AWR1642 使用案例

AWR1642 是适用于汽车市场短距离雷达应用的一种片上雷达。让我们以 80 m 短距离雷达（SRR）和 20 m 超短距离雷达（USRR）的多模式使用为例；参阅表 3。

表 3 中的示例使用 512 KB 的雷达数据立方体存储器，使用八个虚拟天线（两个 TX，四个 RX）距离可达 80 m。其他参数演进可获得不同的系统性能指标。

多模式使用案例

	短距离雷达（SRR）	超短距离雷达（USRR）
最大不模糊距离	80 m	20 m
扫描带宽	425 MHz	1,725 MHz
测距分辨率	35 cm ← 常规分辨率	8.7 cm ← 较高分辨率
波形斜率	8.3 MHz/μs	33.75 MHz/μs
线性调频脉冲持续时间	有效 51 μs (+7.5 μs 线性调频脉冲间隔)	有效 51.1 μs (+7.5 μs 线性调频脉冲间隔)
线性调频脉冲数	128 (TX1 + TX2, TX1 – TX2 交替)	128
最大不模糊相对速度	±30 kph*	±30 kph
最大拍频	4.5 MHz	4.5 MHz
ADC 采样率 (I, Q)	5 MSPS (复数)	5 MSPS (复数)
帧时间	128 × 58.5 μs = 7.5 ms	128 × 58.5 μs = 7.5 ms
距离 FFT 大小	256 (复数)	256 (复数)
雷达数据存储	256 × 128 × 4 RX × 4 字节 = 512 KB	256 × 128 × 4 RX × 4 字节 = 512 KB

*使用速度模糊分辨率技术可以提高实际最大速度。

表 3. 针对多模式 SRR 示例的示例线性调频脉冲配置。

下图 2 描绘了具有 80 m 线性调频脉冲配置、分别针对 25 m 和 40 m 两点物体模拟案例的雷达图像。图 2 左侧描绘了物体的距离和相对速度，而右侧则显示了距离和角度。

与 24 GHz 相比，这些应用使用 76–81 GHz 可实现高测距分辨率（最高可达到 4 cm 测距分辨率）和更高的速度分辨率（这对停车辅助应用来说至关重要），并且还可以缩小天线尺寸，而这是一个重大优势。

R4F 处理器拥有 704 KB 内存，可运行诸如聚类跟踪、控制和主接口功能，（包括独立传感器中通过用到的 AUTOSAR）。

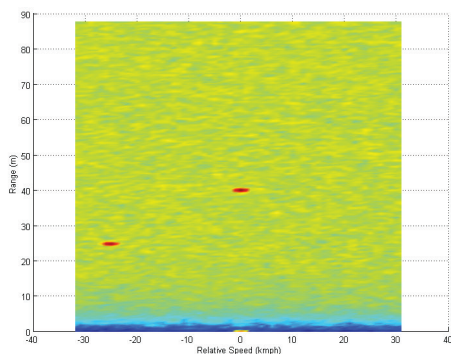
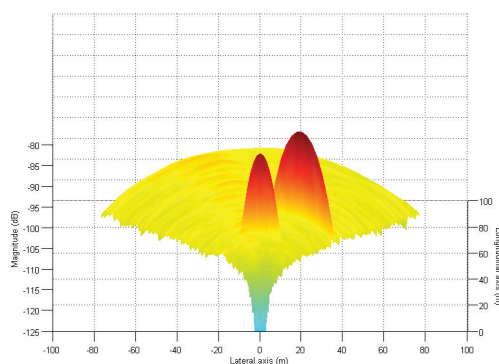


图 2. 两个物体模拟案例的雷达 2-D FFT 图像。



您还可以考虑在 DSP 中实施诸如聚类 and 跟踪的高层算法。

图 3 举例说明了将 AWR1642 用作卫星传感器，将其安装在车辆四角、将检测到的原始物体传送到雷达融合箱。在此拓扑中，位于四角的雷达将执行 1-D、2-D FFT、检测和角度估算处理，并将检测到的原始物体通过 CAN-FD 接口传送到中央雷达融合箱。还可以使用第二个 CAN 接口，使传感器可以通过专用 CAN 总线与其他传感器实现同步通信。

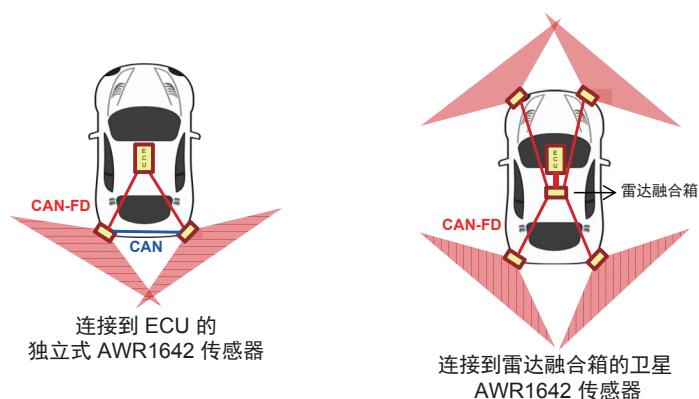


图 3. 使用 AWR1642 毫米波传感器的角落雷达系统拓扑

总结

开发人员如今可以借助高度集成和高精度传感器设计出有利于提升短距离汽车雷达应用性能的产品。AWR1642 毫米波传感器的优势不胜枚举。

- 在性能提升方面，AWR1642 传感器提供 76–81 GHz 更宽的射频带宽，高线性调频脉冲、高达 100 MHz/μs 的更快斜升速度，以及片上 BIST 功能
- 在易于使用和安全监控方面，AWR1642 传感器包含片上 BIST 处理器功能
- 通过 DSP 集成，AWR1642 传感器可运行创新算法，以应对干扰和物体可靠检测方面的新兴挑战

AWR1642 传感器提供相关特性和配套基础设施，有助于客户实现成本和性能方面的系统目标。

重要声明：本文所提及德州仪器及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。TI 建议用户在下订单前查阅最新最全面的产品与服务信息。TI 对应用帮助、客户的应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不负任何责任。有关任何其它公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的批准、保证或授权。

平台标识和 SafeTI 是德州仪器（TI）的商标。所有其他商标均为其各自所有者的财产。

有关 TI 设计信息和资源的重要通知

德州仪器 (TI) 公司提供的技术、应用或其他设计建议、服务或信息，包括但不限于与评估模块有关的参考设计和材料（总称“TI 资源”），旨在帮助设计人员开发整合了 TI 产品的应用；如果您（个人，或如果是代表贵公司，则为贵公司）以任何方式下载、访问或使用了任何特定的 TI 资源，即表示贵方同意仅为该等目标，按照本通知的条款进行使用。

TI 所提供的 TI 资源，并未扩大或以其他方式修改 TI 对 TI 产品的公开适用的质保及质保免责声明；也未导致 TI 承担任何额外的义务或责任。TI 有权对其 TI 资源进行纠正、增强、改进和其他修改。

您理解并同意，在设计应用时应自行实施独立的分析、评价和判断，且应全权负责并确保应用的安全性，以及您的应用（包括应用中使用的 TI 产品）应符合所有适用的法律法规及其他相关要求。您就您的应用声明，您具备制订和实施下列保障措施所需的一切必要专业知识，能够 (1) 预见故障的危险后果，(2) 监视故障及其后果，以及 (3) 降低可能导致危险的故障几率并采取适当措施。您同意，在使用或分发包含 TI 产品的任何应用前，您将彻底测试该等应用和该等应用所用 TI 产品的功能。除特定 TI 资源的公开文档中明确列出的测试外，TI 未进行任何其他测试。

您只有在为开发包含该等 TI 资源所列 TI 产品的应用时，才被授权使用、复制和修改任何相关单项 TI 资源。但并未依据禁止反言原则或其他法律授予您任何 TI 知识产权的任何其他明示或默示的许可，也未授予您 TI 或第三方的任何技术或知识产权的许可，该等产权包括但不限于任何专利权、版权、屏蔽作品权或与使用 TI 产品或服务的任何整合、机器制作、流程相关的其他知识产权。涉及或参考了第三方产品或服务的信息不构成使用此类产品或服务的许可或与其相关的保证或认可。使用 TI 资源可能需要您向第三方获得对该等第三方专利或其他知识产权的许可。

TI 资源系“按原样”提供。TI 兹免除对 TI 资源及其使用作出所有其他明确或默示的保证或陈述，包括但不限于对准确性或完整性、产权保证、无屡发故障保证，以及适销性、适合特定用途和不侵犯任何第三方知识产权的任何默认保证。

TI 不负责任何申索，包括但不限于因组合产品所致或与之有关的申索，也不为您辩护或赔偿，即使该等产品组合已列于 TI 资源或其他地方。对因 TI 资源或其使用引起或与之有关的任何实际的、直接的、特殊的、附带的、间接的、惩罚性的、偶发的、从属或惩戒性损害赔偿，不管 TI 是否获悉可能会产生上述损害赔偿，TI 概不负责。

您同意向 TI 及其代表全额赔偿因您不遵守本通知条款和条件而引起的任何损害、费用、损失和/或责任。

本通知适用于 TI 资源。另有其他条款适用于某些类型的材料、TI 产品和服务的使用和采购。这些条款包括但不限于适用于 TI 的半导体产品 (<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、评估模块和样品 (<http://www.ti.com/sc/docs/sampters.htm>) 的标准条款。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122
Copyright © 2017 德州仪器半导体技术（上海）有限公司