

# TI 的智能传感器 实现自动驾驶



TEXAS INSTRUMENTS

Sneha Narnakaje  
汽车雷达分析和处理器部产品经理

德州仪器 (TI)

# 介绍

---

汽车行业在推动机器人和机器视觉领域的创新和技术进步。汽车制造商采用各种技术来设计新车辆，从而满足日益增长的消费者需求。这种趋势推动了高级驾驶员辅助系统的发展 (ADAS)，该系统可确保安全、舒适、便捷和能效。

根据美国国家公路交通安全管理局等政府机构的数据，美国每年有 30,000 多人死于交通事故，全球数字则为 130 万；其中大约 94% 的交通事故与人为错误有关。ADAS 可在警告、刹车、监控和转向方面提供帮助，可辅助驾驶员并减少潜在的错误。如今许多车辆都具备各种相关功能，包括盲点和车道偏离警告、前部碰撞和后两侧来车警告、自动紧急刹车、车道保持辅助以及自适应巡航控制。尽管这些功能因不同的汽车品牌而有所不同，并且是汽车制造商差异化的收入来源，现在许多国家/地区强制要求截至 2020 年所有汽车都必须配备 ADAS。

## ADAS—自动驾驶的基础

人们对于 ADAS 的需求正在迅速增长，原因在于安全意识提升以及法规和汽车制造商 (OEM) 安全等级的影响。根据 Research and Markets 作出的[全球 ADAS 市场预测](#)，2016 年配备了 ADAS 的车辆供货量大约为 5,000 万，截至 2022 年这一数字应达到 6,000 万。根据 Research and Markets 作出的另一个[ADAS 市场预测](#)，ADAS 组件供货量预计将从 2016 年的 2.18 亿增加至 2025 年的 12 亿。典型的 ADAS 包含各种传感技术以及高级处理和通信功能，可自动操作、适应并增强车辆系统，从而确保安全和更好的驾驶。汽车制造商依赖领先的半导

体供应商提供汽车电子产品，从高级传感技术和成像/视觉技术到高性能和低功耗处理器及车载网络，范围广泛。

ADAS 组件的成熟度和先进性将最终支持半自动驾驶和自动车辆。下页中的图 1 根据国际自动机工程师学会 (SAE International) 的定义，总结了驾驶自动化的六个级别。

自动驾驶系统基于许多组件，包括用于捕获汽车周围环境信息的传感器、用于通信的集成电路 (IC) 以及用于分析传感器数据和微控制器 (MCU) 以启用和控制机械功能的高性能处理器。



图 1. 自动驾驶级别。

传感系统对于 ADAS 和自动驾驶非常关键，因为此类系统可为车辆增加智能以及准确感知周围环境。ADAS 中的多个图像传感器正成为标配，同时雷达、激光、超声波、红外和激光雷达等新技术都可增强 ADAS 功能。

汽车行业更倾向于采用雷达传感器，因为此类传感器可穿透塑料、衣服和玻璃等非金属物体，并且通常不受雾、雨、雪和昏暗光线或强烈光线等环境因素的影响。汽车雷达系统可以根据物体检测距离被分为短距离、中距离和远距离雷达；超短距离雷达 (USRR) 也是一种适用于停车辅助系统的新兴 ADAS 应用。盲点和车道偏离警告等驾驶员辅助功能使用短距离雷达 (SRR) 系统。此类系统被归为国际自动机工程师学会级别 1，会使用发光二极管 (LED) 或方向盘振动向驾驶员进行报告或发出警告。虽然目前 SRR 系统使用 24–29GHz 频率，但据行业专家预测，未来这种频率将因较低频段的输出功率的相关法规而被完全淘汰。

自适应巡航控制和自动紧急刹车等驾驶员辅助功能使用远距离雷达 (LRR) 系统。此类系统采用简单的车辆控制操作。虽然目前 LRR 系统使用 76–77GHz 频率，但由于更高级别的自动驾驶要求更大的距离和分辨率，因此前置雷达系统将可能使用 76–77GHz 和 77–81GHz 频率以结合 LRR 和较新的中距离雷达 (MRR) 系统。较高级别的自动驾驶将要求雷达传感器检测危险、测量危险的属性（距离、速度）以及将危险划分为具备明确属性（距离、速度、角度和高度）的物体，从而分析复杂场景。最后，传感器需要辅助安全操作。

TI 的 [AWR1x 毫米波 \(mmWave\) 传感器产品组合](#) 帮助开发人员创造更加安全和轻松的驾驶体验。基

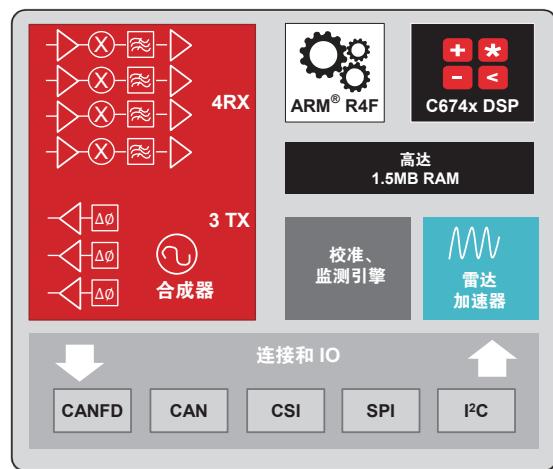


图 2. AWR1xx 毫米波传感器方框图。

于毫米波传感架构（图 2），AWR1x 传感器将射频 (RF) 和模拟功能以及数字控制功能集成到单个芯片中。汽车雷达系统开发人员可以利用片上内置自检 (BIST) 功能满足功能安全合规要求。此外，此产品组合中的器件通过片上一个硬件加速器或 DSP 集成客户可编程的 MCU 功能和雷达信号处理功能。可以通过 AWR1x 中的多种集成级别优化雷达传感器设计，以减小尺寸并降低功耗。

## 精确和超高精度的复杂密集型市区驾驶场景分析

汽车雷达传感器使用 76–81GHz 频率的电磁波以确定传感器视场中物体的距离、速度和角度。存在多个参数用于确定雷达系统的距离、速度和角度性能，其中分辨率和精度是两个关键参数。分辨率是指按照距离、速度或角度区分两个物体的能力，当其中其他任意两个变量相同时。例如，角分辨率是指区分两辆以同样车速和距雷达传感器同样距离行驶的车辆的能力。精度是指物体的距离、速度或角度测量的准确度。对于国际自动机工程师学会级别 2 或以上的自动驾驶，雷达传感器需要具备适用于 SRR 应用 (50m) 的超高精度。

汽车雷达系统通常会采用调频连续波形 (FMCW) 技术以测量远程物体的距离、角度和速度。在 FMCW 雷达中，线性调频脉冲的线性度确定物体距离测量的精度。传统的毫米波传感器实施采用基于开环电压控制振荡器 (VCO) 的线性调频脉冲生成，会造

成线性调频脉冲的高度非线性，从而导致距离测量不准确。AWR1x 毫米波传感器产品组合也是基于 FMCW 技术。该产品组合使用闭环 PLL 以实现 0.01% 的线性和精确的线性调频脉冲，从而提高距离精度和距离分辨率。线性调频脉冲的线性可以避免错误检测和虚假物体，即实际目标的伪影图像或副像。

距离分辨率是射频带宽的一个功能。[AWR1x 传感器产品组合](#) 支持单扫描中高达 4GHz 的线性调频脉冲带宽，可实现低于 5cm 的距离分辨率，其精度是如今市场上的毫米波解决方案的三倍。

不模糊速度是指区分速度相近的物体的能力。对于既定的距离分辨率和最大距离，最大速度越大，所需的 IF 带宽也越大。AWR1x 产品组合中的高性能雷达前端支持 15MHz 的 IF 带宽，实现 250m 以上最大的距离和高达 300kph 的不模糊速度。IF 带宽和相位噪声性能相结合，能够确保雷达传感器检测大型物体周围的较小物体。此外，高性能前端中内置的 20GHz 相位相干合成功能可级联多个前端，以便实现密集市区驾驶情况下小于 1 度的角度精度，以及天桥和隧道等下方驾驶条件下更精确的高度估算。

总而言之，如要分析复杂的高度自动化驾驶场景，未来雷达传感器需要具备高精度。可以利用 AWR1x 产品组合的功能来设计高精度传感器。

## 适应不断变化的条件的通用智能

汽车传感器制造商开始考虑采用多模式雷达系统以处理国际自动机工程师学会级别 2 或以上的自动驾驶情形。在多模式雷达系统配置中，传感器设计为在一个传感器模块中同时支持 MRR 和 LRR 配置，如此不再需要使用两个单独的传感器模块以支持每一种配置，从而为汽车制造商大幅降低成本。多模式雷达系统设计对毫米波技术提供商提出了一些要求，包括易于使用、灵活的线性调频脉冲配置和监测。AWR1x 产品组合集成了一个 BIST 引擎以实时本地控制线性调频脉冲生成参数。该引擎支持根据来自本地数字子系统或外部主机处理器的非实时消息实现动态线性调频脉冲配置。BIST 引擎可以让传感器自动适应不断变化的环境条件，特别是温度和老化。这可以确保自校准输出功率和增益等射频参数漂移。此外，BIST 引擎可以连续监测射频和模拟子系统的关键射频性能参数，从而增强安全。

传统的毫米波传感技术采用实数基带架构，AWR1x 传感器则通过新颖的复基带架构实现系统级和性能优势。由于汽车雷达传感器安装在保险杆后面，因此如果传感器准确估算保险杆反射，则会记住保险杆信号并在每一次启动期间进行校准。AWR1x 产品组合可以使用保险杆反射的零距离幅度和相位更加准确地估算附近物体，由于保险杆信号的频率较低，因此实数基带架构基本无法做到这一点。您可以进一步了解复基带架构以监测图像频带、检测来

自其他干扰雷达的干扰且实物没有丝毫模糊不清以及抑制检测到的干扰，从而实现强大的雷达传感器设计。

## 真正的单芯片推动雷达传感器具备小尺寸和低功耗

随着自动驾驶成为现实，将在功率、尺寸、成本、距离和精度方面对雷达传感器提出要求。与目前行业解决方案提供的雷达传感器相比，国际自动机工程师学会级别 2 及以上的自动驾驶系统需要更多雷达传感器。如今的高端车辆具备一个多芯片单雷达系统。由于使用多个分立式组件，此类雷达系统在需要具备更小尺寸、更低功耗和成本效益时显得庞大笨重。此类传感器必须进行小型化和优化，以便适应未来的自动驾驶市场需求。

虽然目前市场上的一些雷达系统声称是单芯片解决方案，但实际上并非如此。当前解决方案只能将分立式芯片数量从三个减少为一个，并且需要附加一个需要外部 MCU 或 DSP 以处理雷达数据的收发器。

由于采用 CMOS 技术，TI 已将集成提高到全新级别，即将智能雷达前端与 MCU 及 DSP 功能集成到 AWR1x 单芯片产品组合。处理与前端并置，从而将雷达系统的尺寸外形减小 50%。这可以进一步确保高效安装多个雷达系统。CMOS 技术和一流的电源管理技术可确保 AWR1x 传感器具备低功耗，这

对于汽车行业中高效节能的电动汽车的发展至关重要。较低功耗还可以带来成本优势，因为现在设计人员可以选择更实惠轻巧的外壳。较低功耗还可以确保 AWR1x 传感器能够承受更高的环境温度，提高传感器的可靠性。

## 可靠性和批量生产

只有以支持大规模生产的可靠封装提供解决方案，所有此类特性和功能才能为客户提供益处。AWR1x 毫米波产品组合采用汽车行业受欢迎的覆晶球栅阵列 (FC-BGA) 封装。FC-BGA 封装解决方案提供可靠的电气、机械和热性能，并消除排放屏蔽和底层填料（一种封装芯片底部以保护互连的材料）需求，与毫米波传感技术所用的传统封装相比可提供成本优势。

## AWR1x 毫米波产品组合支持 ADAS、车身和底盘以及车内应用

TI 的 AWR1x 毫米波产品组合支持 ADAS、车身和底盘以及车内应用等多种高度精确的传感应用。此产品组合范围广泛，从高性能雷达前端 (AWR1243) 到单芯片雷达解决方案 (AWR1443 和 AWR1642)，种类丰富。**表 1** 总结了 AWR1x 产品组合中每种传感器的关键功能。

这三种器件支持不同的 ADAS 雷达传感器配置，包括 USRR、SRR 到 MRR、LRR 和成像。此产品组合可进一步支持智能传感器架构，其中所有雷达处理在端缘执行；以及星群示的传感器架构，其中雷达传感器通过 CAN-FD 将物体数据发送至中央处理器以待进一步处理和传感器融合。

器件	<b>AWR1243</b> 高性能雷达前端	<b>AWR1443</b> 超高分辨率单芯片雷达	<b>AWR1642</b> 小型低功耗单芯片雷达
			
频段	76–78 GHz	76–81 GHz	76–81 GHz
接收器数量	4	4	4
发送器数量	3	3	2
射频带宽	4 GHz	4 GHz	4 GHz
最大采样率	37.5 MSPS	10 MSPS	10 MSPS
IF 带宽	15 MHz	5 MHz	5 MHz
正在处理		ARM® Cortex®-R4F 200 MHz 雷达硬件加速器—FFT	ARM Cortex-R4F 200 MHz C674x DSP 600 MHz
存储器		576 KB	1.5 MB
接口	MIPI CSI2 SPI	CAN SPI	CAN-FD CAN SPI

**表 1.** AWR1x 可扩展产品组合。

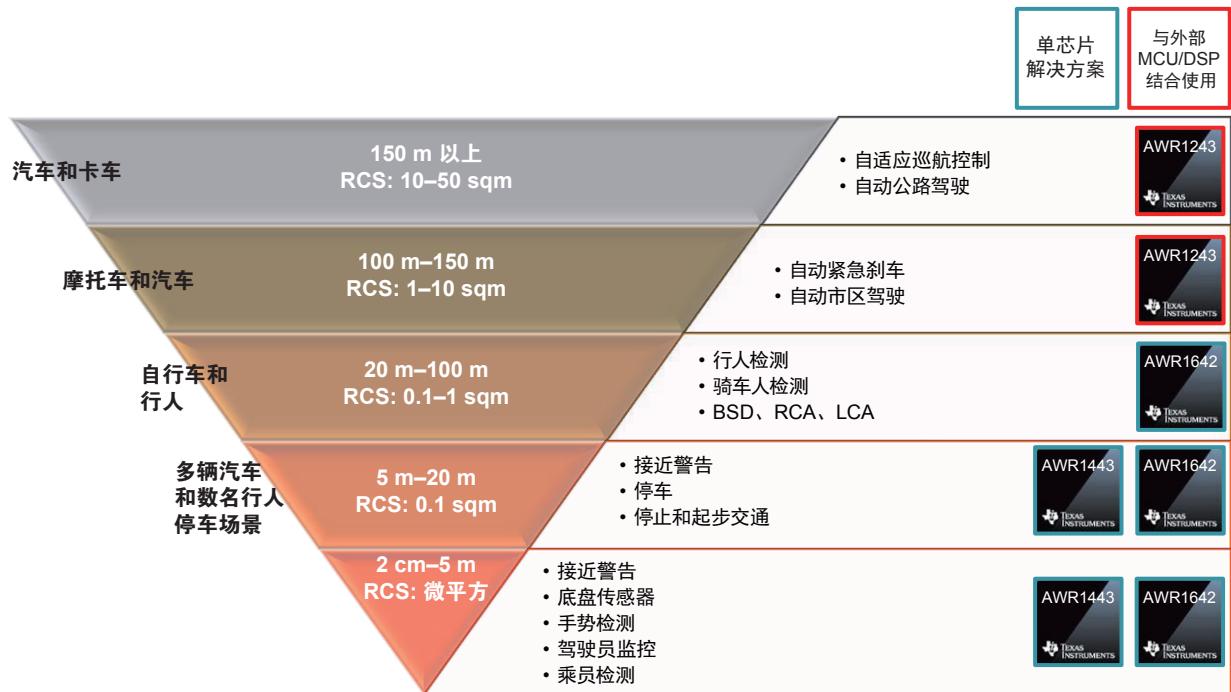


图 3.雷达传感器配置。

根据雷达横截面 (RCS) 的定义，图 3 根据检测物体的距离和类型将 AWR1x 毫米波传感器应用划分为不同的 ADAS、车身和底盘以及车内应用。

## 结论

开发人员能够选择满足设计需求的合适解决方案，这使得此类传感器在市场上非常独特。集成级别和小型尺寸支持设计人员为现有应用增加新的功能。

随着市场逐步适应 ADAS 和自主车辆，TI 的毫米波 AWR1x 传感器产品组合将提供所需的灵活性。

## 了解更多信息

如要了解关于产品组合的更多信息，请访问：  
[www.ti.com.cn/lscds/ti\\_zh/sensing-products/mmwave-sensors/mmwave-overview.page](http://www.ti.com.cn/lscds/ti_zh/sensing-products/mmwave-sensors/mmwave-overview.page)

**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（包括应用中使用的所有 TI 产品）应符合所有适用的法律法规及其他相关要求。你就您的应用声明，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理授予您任何 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认的保证或陈述，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/samptersms.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