

使用毫米波传感器进行稳定可靠的交通和十字路口监控



Keegan Garcia
Marketing Manager
Radar & Analytics Processors

Mingjian Yan
Senior System Engineer
Radar & Analytics Processors

Alek Purkovic
Senior System Engineer
Radar & Analytics Processors

Texas Instruments

TI POWER

引言

许多感应技术可解决交通监控基础设施方面的难题，包括十字路口控制、速度跟踪、车辆计数和防撞。在环境不敏感性/稳健性、测距精度、速度精度和系统集成方面，TI 的 77GHz 毫米波射频互补金属氧化物半导体 (RF-CMOS) 技术和基于其构建的毫米波传感器具有固有优势。TI 的简化硬件和软件产品包括评估模块 (EVM) 参考、TI Designs 参考设计库中的参考设计、软件库和代码示例，可让毫米波感应技术真正触手可及，帮助您在应用中快速评估和演示该技术的功能。

运输系统是基础设施的重要组成部分，有助于在全球范围内快速、高效和安全地提供客运和货运服务。这些基础设施感应行车区域的情况，并收集可帮助基础设施应对变化的数据。交通工程师使用这些数据来构建统计信息，帮助确定未来对基础设施的投资，而驾驶员可借助这些数据来管理其路线。此信息的价值是显而易见的，原因在于**到 2022 年，智能运输系统市场预计将达到 636 亿美元以上的规模。**

无论环境条件（如雨、雾或尘埃）如何，毫米波感应技术都可在更大范围内检测汽车、摩托车和自行车等车辆。TI 的毫米波感应器件将 76–81GHz 毫米波雷达前端与 ARM® 微控制器 (MCU) 和 TI 数字信号处理器 (DSP) 内核集于一身，旨在实现单芯片系统。借助这些集成器件，系统能够测量目标的距离、速度和角度，

同时融入用于物体跟踪、分类或应用特定功能的高级算法。

交通监控应用

通常情况下，交通拥堵主要发生在阻塞点或车流量较大的区域，因此大部分交通监控系统专用于监控十字路口和高速公路周围的车辆行驶状态和交通流量。

对于十字路口，交通工程师需要了解有关车辆的特定信息和遥测数据，以应对十字路口的状况并收集交通统计数据。车辆信息可包括车辆到十字路口停车线的距离、速度、占用车道和类型（尺寸）。多种应用会使用此车辆信息，包括：

- **动态绿灯控制** - 根据车流密度实时调整绿灯持续时间，让更多车辆沿特定方向通过十字路口。
- **统计信息收集** - 在一段时间内持续监控车流速度和交通形式。在收集了多个十字路口的信息后，可根据统计信息知晓对基础设施进行改进或改变的需求。
- **黄灯持续时间（两难区预防）** - 基于车流速度和交通形式实时调整黄灯持续时间。

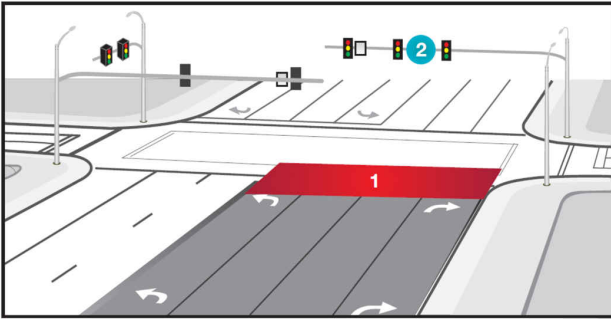


图 1. 在图示十字路口中，交通传感器可安装在停止线(1)处或交通信号灯杆(2)上。对于安装在交通信号灯杆上的传感器，其优点在于不需要安装在路面上。

图 1 所示为十字路口感应系统的典型安装，这种安装可最大限度地检测迎面而来的车流。对于感应线圈等近距离传感器，这通常意味着需要安装在道路上。对于非接触传感器（如视觉和毫米波传感器），传感器通常位于交通信号灯杆上或邻近十字路口中心的位置，并且高于路面几米，以便获得清晰的视线。在交通信号灯杆上安装传感器具有以下优点：不需要安装在路面上，在道路维护期间也不会受到影响。

交通工程师设法了解高速公路附近的平均车流速度，以便识别事故。车辆跟踪和行人检测可识别阻塞点或驾驶员可能关注的区域。

交通监控系统应提高各种条件下的运输效率和安全性，但设计人员面临着无数的感应挑战，包括：

- **位置和速度的测量。**有用的交通数据应包括交通区位和车流量信息。十字路口相关关键因素包括测量车辆到停止线的距离和接近时的车速。为了收集尽可能多的有用数据，感应系统应能够测量道路上车辆的位置和速度。
- **在所有天气条件下运行。**交通基础设施传感器自然需要安装在户外，并且必须能够应对所有环境变化。这种变化可包括日间/夜间照明和雨、雪、雾、尘等恶劣天气。
- **在更大范围内检测高速目标。**最大限度地增强传感器预测交通行为的能力以提高系统效率。传感器必须能够检测和测量更远距离内移动更快的车辆。如果能够感应距离十字路口较远的车辆，就可更好地控制绿灯和黄灯的持续时间，应对即将到来的车流。
- **测量的准确性和性能。**如果测量的车辆位置和速度不准确，则交通数据将无用。准确了解车道位置、车辆与传感器的距离和车速对于交通监控基础设施的有效运行至关重要。

目前的交通监控技术

让我们从这些技术在市场上的角色以及实施这些技术的优缺点出发，回顾一下目前在交通监控应用中使用的几种感应技术。下一页中的表 1 总结了这些感应技术信息。

类型	感应线圈传感器	摄像头和基于视觉的传感器	24GHz 雷达
			
描述	<ul style="list-style-type: none"> 使用安装在路面开口下的绝缘线 测量车辆通过时线路感应的变化 	<ul style="list-style-type: none"> 视频图像处理器接收摄像头传感器数据，并分析图像，从而确定交通行为 	<ul style="list-style-type: none"> 组装分立式组件，创建 24GHz 雷达用于车辆定位和速度感测
优点	<ul style="list-style-type: none"> 易于理解和应用 	<ul style="list-style-type: none"> 适用于各种应用的强大算法 用于记录和监控的视频 	<ul style="list-style-type: none"> 对天气和环境变化不敏感 雷达的覆盖范围比摄像头大（大于 60m） 测量速度的固有能力
缺点	<ul style="list-style-type: none"> 安装/维修会影响交通 维护周期短 仅在十字路口周围检测 无法测量速度 对两轮交通工具的检测效果不佳 	<ul style="list-style-type: none"> 需要使用复杂的信号处理来解决阴影、遮蔽、昼/夜交替的干扰 无法测量速度 易受环境变化影响 	<ul style="list-style-type: none"> 角度分辨率低于摄像头 集成受限，增加了设计的复杂程度 与更高频技术相比，范围较小/速度性能较差

表 1. 现有交通监控技术，包括其优缺点。

感应线圈传感器

感应线圈传感器使用穿过路面开口安装的绝缘导线。电脉冲通过导线发送，当金属车辆通过线圈时，车体会引起涡流，导致线圈电感出现变化。电子检测系统可测量电感中发生的这种变化，并指示车辆何时占据车道或通过车道。

通过感应线圈进行感应是一种简单易行的技术，多年来一直用于交通基础设施领域。它易于理解，但有几个缺点。限于对周围安装了线圈的“现场”进行检测，并且系统规模要求十字路口处的每个区域和车道都有自己的线圈。主要缺点是安装或维修这些系统需要挖开路面。这种维护需要专业人员使用专业设备来进行，并且会需要封闭道路。此外，感应线圈系统的维护周期通常较短（一到两年），感应线圈系统的总体成本会快速增长。

摄像头和基于视觉的传感器

摄像头和基于视觉的传感器使用视频图像处理器来捕获互补金属氧化物半导体 (CMOS) 摄像头传感器生成的图像数据，并分析图像，从而确定交通行为。这些系统是功能强大的工具，不仅能够测量十字路口和高速公路上的交通行为，还可以将实时视频传输给运营商。

尽管基于视觉的系统具有强大的功能和灵活性，但该技术仍有一些问题待解决。视觉系统容易出现误检，因为环境条件的变化（如昼夜交替、阴影和天气）会直接影响这些系统的“查看”能力，因此需要先进的信号处理和算法来应对这些视觉挑战。

24GHz 雷达

24GHz 雷达是交通监控市场中一项颇具吸引力的技术。雷达在空间感应方面具有独特的优势，可在交通监控应用中发挥重要作用。雷达具有从其视角测量物体位置和速度的

固有能力和性能，这为交通监控开辟了新的应用领域，如速度检测和车辆定位。作为一种非接触式技术，雷达的覆盖范围比基于视觉的系统大，达到 50m 或更远距离。此外，雷达还对照明和天气条件不敏感，适合室外感应和检测。

但是，实施雷达解决方案存在一些挑战。目前的雷达解决方案需要多个分立式组件才能创建完整的解决方案。这种集成度的不足增加了设计复杂性，并以系统尺寸、成本和功耗方面的牺牲为代价。

76GHz 至 81GHz 毫米波雷达

在工作频段为 76GHz 至 81GHz 的毫米波雷达基础上，德州仪器 (TI) 创建了创新的传感器产品系列。这些传感器将

射频雷达技术与强大的 ARM MCU 和 TI DSP 集成到一个单片 CMOS 芯片上，并采用 10.4mm × 10.4mm 封装。这使小外形应用能够准确地测量视场中目标的距离、速度和角度，并通过用于目标检测、跟踪和分类的高级算法集成了实时智能功能。这些功能可通过毫米波传感器产品系列进行扩展，从而适应不同的系统架构和用例，如图 2 所示。

TI 的毫米波传感器具有独特的特性和功能，是交通监控应用的理想选择。

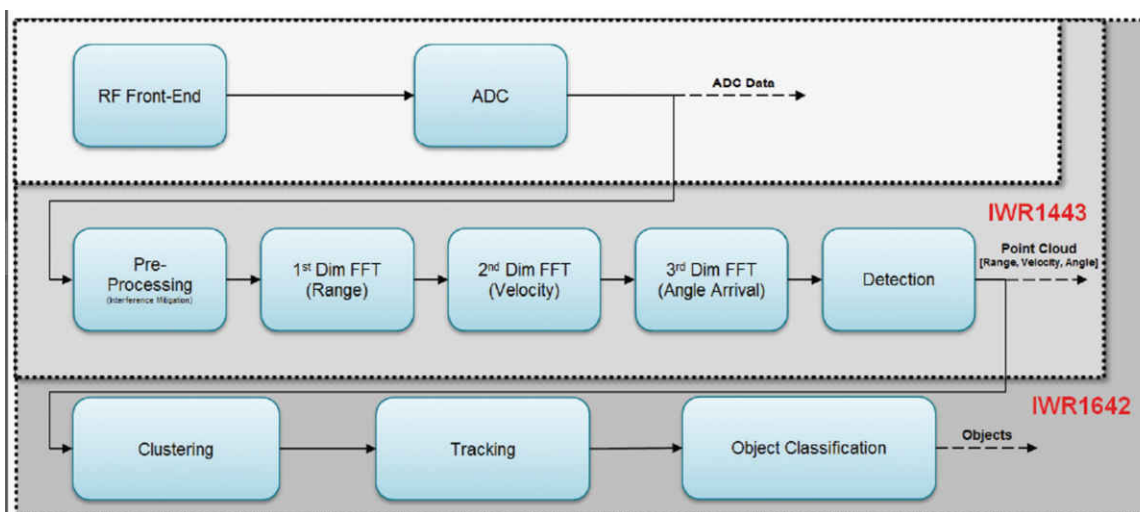


图 2. 毫米波信号处理链。

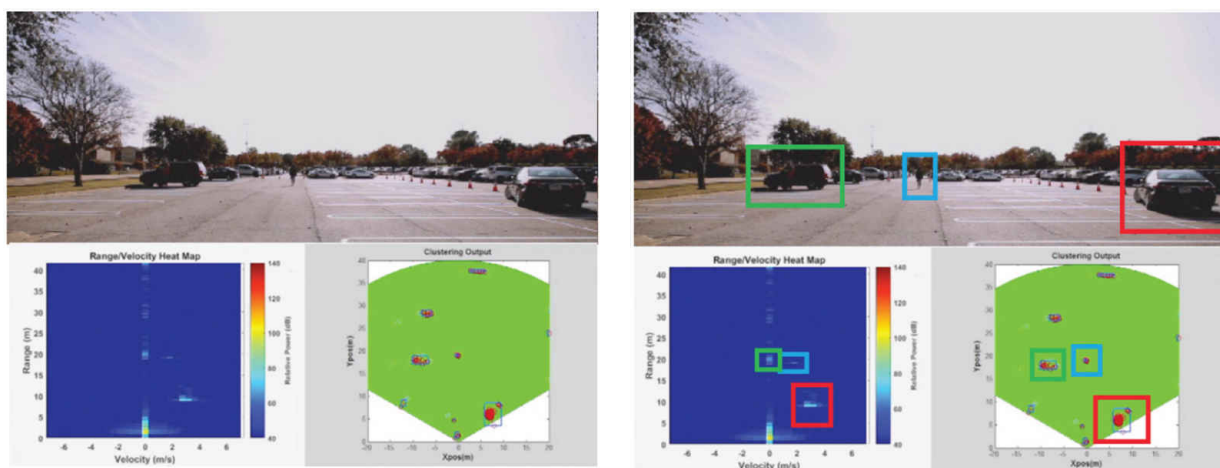


图3. 在一个停车场场景示例中，毫米波传感器提供了距离、速度和角度信息。蓝色背景的是距离/速度热图，其中移动和未移动物体及其速度是可识别的；绿色背景的是距离/角度可视化图。有颜色的框突显了场景中移动和未移动的车辆和行人。

位置和速度的测量

TI 的毫米波传感器能够精确地测量视场范围内目标的距离、速度和角度。如下页上的 **图 3** 所示，这三个数据集可使感应系统获得与其周围环境相关的新信息。对于十字路口监控，数据集包括车辆和行人的位置、速度和车道距离。

可在所有类型的天气下运行。

熟悉雷达应用和射频信号传播的人可能会知道，毫米波能够**穿透烟、雾、雨等不利的天气条件并进行感应**。这种

功能使毫米波传感器这类解决方案能够在不受控制的可变环境中进行稳健且一致的室外感应。

在更大范围内检测高速目标

TI 的毫米波传感器使用 77GHz 范围内的快速调频连续波雷达（快速 FMCW），其组合与传统雷达系统相比具有多种优势。

快速 FMCW 雷达涉及发射线性调频脉冲的设计，其中雷达信号的扫描频率为每个线性调频脉冲的起始频率到停止频率。在 **图 4** 所示的示例中，扫描是从低

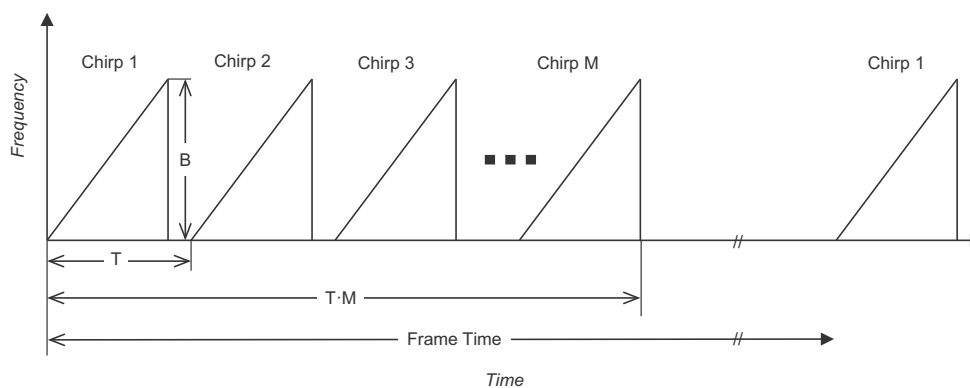


图4. 频率时间图描绘快速 FMCW 帧，其中 B 是线性调频脉冲带宽， T 是线性调频脉冲重复时间（可能是几十微秒）， $T \cdot M$ 是一帧中的有效线性调频脉冲总时间。帧时间包括大约几十毫秒的空闲时间。

频到高频进行的。在最简单的设计中，一帧由多个线性调频脉冲组成，这些脉冲具有重复多次的相同配置，并且每次重复前有一段空闲期。

发射信号从发射天线发出并在遇到各种目标后回来。接收信号通过接收天线阵列收集，并与发射信号混合形成去调频信号，该信号经滤波、采样和进一步处理后可检测场景中的目标。

IWR1642 传感器支持的斜坡斜率较大，可重复实现快速线性调频脉冲，因而可测量较大的最大速度。采用 11MHz/ μ s 的典型斜坡斜率配置，可在几十微秒内多次重复线性调频脉冲。这使直接目标速度测量值能够达到 100kph 以上。额外的 DSP 处理可将最大速度再提高 3 倍到 4 倍，从而跟踪超过 300kph 的最大目标速度，使 IWR1642 传感器适用于高速移动交通场景，例如高速公路和入口匝道周围。

通过结合天线设计和射频线性调频脉冲配置，77GHz 雷达系统可轻松检测目标，例如距离传感器 150m 或更远的车辆。通过结合多次重复的线性调频脉冲来提高处理增益，即使是具有 120 度视场的 IWR1642 评估模块 (EVM) 也可在天线增益最高的视场中心检测到远至 135m 外的车辆。这对中央安装的交通传感器来说是可行的，因为在该距离下，车辆在几条车道上的角跨度相当小。专用于增加天线阵列方向性的其他天线设计可在视场上做权衡，以便扩大检测距离。

在交通监控用例中，具有约 100 度视场的宽视场天线设计以及低至 20 度至 40 度的窄视场设计都具有潜在的用途，具体取决于十字路口或道路的具体几何形状以及应用的具体情况。

测量的准确性和性能

具有集成处理功能的快速 FMCW 雷达每秒能够多次测量场景中多个目标反射器的距离、径向速度和角度。这有助于进行更高级的场景解读处理，包括对多辆车辆的识别与跟踪。

对于交通监控应用，该频段提供高达 1GHz 的扫描带宽，而 24GHz 频段提供的带宽仅为 200MHz。这使得距离分辨率能够精细到 15cm，是频段为 24GHz 时的 5 倍。

速度分辨率是有效线性调频脉冲时间和载波频率的函数。因此，对于相同的有效线性调频脉冲时间，77GHz 提供达 24GHz 3 倍的速度分辨率。可在 IWR1642 传感器的处理和内存资源界限内实现 1kph 或更高的速度分辨率。

IWR1642 传感器的用例/架构

IWR1642 传感器是基于雷达的传感器，将快速 FMCW 雷达前端与集成式 Arm R4F MCU 和 TI C674x DSP 集成，用于高级信号处理。IWR1642 雷达前端的配置取决于发射信号的配置以及射频收发器的配置和性能、天线阵列的设计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，如

距离和速度分辨率、最大距离和速度以及角度分辨率。

在设计交通监控用例的线性调频脉冲配置时，首先应考虑场景的几何形状、方位角和仰角的视场以及所需距离。我们以一个雷达传感器安装在位于高处的四车道十字路口点为例。对车道、中央分离带、人行横道、停止线和顶部传感器安装座的尺寸和位置进行假设，25 度以上的方位角视场可覆盖停止线及其附近 +60m 的道路。图 5 所示为该示例的交通监控几何图。

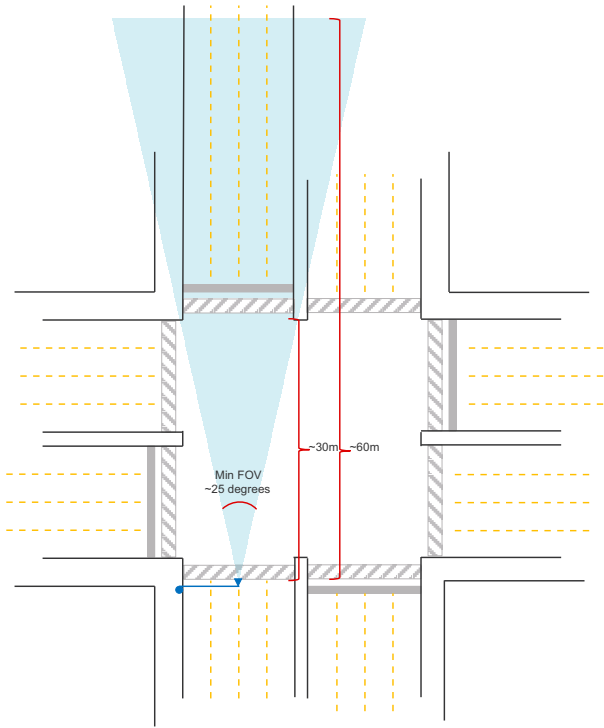


图 5. 在图示十字路口中，安装有顶部雷达传感器，具有 25 度方位角视场，可覆盖距离传感器约 30m 的四车道停止线及附近大约 60m 道路。

对于该示例，假设天线方向图为此方位角视场提供两个发射天线和四个接收天线（用于方位角估计），而在仰角轴中，视场为较窄的 15 度，无仰角处理。

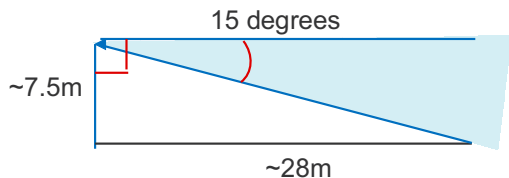


图 6. 安装高度为 7.5m、仰角视场为 15 度、下倾角为 7.5 度的交通监控传感器示例。

图 6 所示为该示例的仰角几何图。

IWR1642 EVM 具有更宽的 120 度方位角视场，更宽的 22 度仰角视场，但是它具有足够的天线增益，可实现 +60m 距离的车辆检测。所以我们将 IWR1642 EVM 用作中等距离的线性调频脉冲配置示例的基础。

可对 IWR1642 传感器进行配置，从而进行灵活的设计，以适应交通监控中的不同用例。确定十字路口和天线方向图的基本几何形状后，考虑一些目标性能参数，并根据 IWR1642 传感器的收发器功能对这些参数进行权衡，然后进行线性调频脉冲设计。

特别要考虑以最大距离作为起点。让我们来看两个示例。一个示例针对 70m 的中等距离，并且包括发射多输入多输出 (MIMO) 处理，可提高角分辨率。另一个是远距离的 185m 设计，未进行 MIMO 处理。在这两种情况下，设置最大距离后，对距离分辨率和最大速度进行权衡，以达到更优距离分辨率，同时满足最大

主要输入参数		
性能参数	中等距离 MIMO 示例	远距离无 MIMO 示例
性能参数	中等距离 MIMO 示例	远距离无 MIMO 示例
天线方向图	方位平面上 2 个 Tx、4 个 Rx	方位平面上 1 个 Tx、4 个 Rx
最大距离	70m	185m
距离分辨率	0.25m	0.8m
最大线性调频脉冲速度 ¹	27kmph ¹	65kmph ¹
速度分辨率	1.7kmph	1.1kmph
帧持续时间	50ms	50ms
ADC 采样率	5.5MSPS	5.5MSPS
推导出的线性调频脉冲设计参数		
线性调频脉冲有效扫描带宽	600MHz	186MHz
线性调频脉冲时间	56.64μs	46.6μs
线性调频脉冲重复时间	129.7μs	54.6μs
每个线性调频脉冲的采样点数	312	256
Nfft_range	512	256
每帧的线性调频脉冲数	32	118
Nfft_doppler	32	128
雷达数据存储大小	512KB	480KB

表 2. IWR1642 传感器的两个示例性线性调频脉冲设计的性能参数。

速度要求。将速度分辨率提高到内部雷达存储器的实际限值也会提高收发器的有效范围。通过提供用于有效速度估算的额外处理能力，可进一步提升最大线性调频脉冲速度，从而达到最大线性调频脉冲速度的四倍或以上。经过这一额外处理，跟踪和速度估算值能够远高于车辆在高速公路上的速度。

该示例性线性调频脉冲设计从表 2 中所示的输入参数开始将 IWR1642 EVM 天线方向图用于中等距离示例，可以预想到小型车辆达到 70m 的线性调频脉冲极限距离。对于远距离示例，轿车大小的车辆会达到最多 185m 的距离（具体视车辆大小而定）。

在该示例中，中等距离线性调频脉冲和帧设计包括对时分多路复用 MIMO 的使用。在这种情况下，两个发射天线将按载波波长的两倍分离，并且在帧时间段内，线性调频脉冲传输在两个天线间交替进行。因此，与不使用 MIMO 的情况相比，每个天线发出的发射信号的线性调频脉冲重复周期倍增，脉冲数减少了一半。

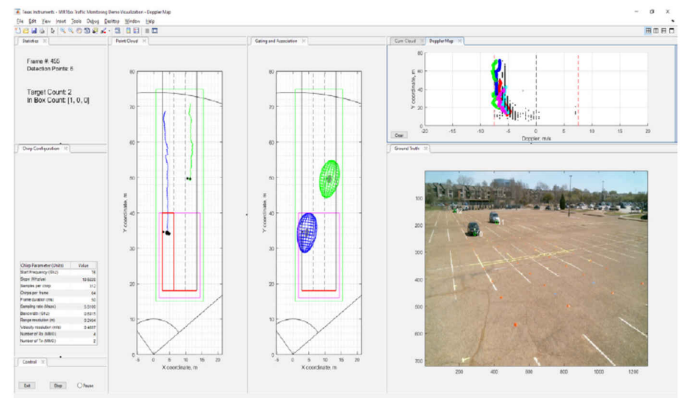


图 7. 在该示例中，中等距离 MIMO 配置检测到两辆移动车辆。右图显示对距离大约为 40m 和 60m 的两辆车的检测，这两辆车角度不同，便于检测车道。检测点的颜色表示速度大约为每秒 6m (22kph) 和每秒 8m (29kph) 的车辆不同的多普勒测量结果。

¹ 进行额外的处理可将可跟踪的最大速度提高到线性调频脉冲最大速度的四倍或以上。

这以减小直接可测量的最大速度为代价，有效地使检测器的角度分辨率提高了一倍。如前所述，可以通过额外的信号处理来提高可测量的最大速度。

图 7 所示为中等距离示例中针对配置的数据快照，其中两辆车到传感器的距离分别为刚超过 40m 和 60m。系统很容易便能检测到这两辆车。

IWR1642 EVM 使用此线性调频脉冲和帧设计实现了针对交通监控的示例性处理链。

如图 8 所示，交通监控示例的信号处理链由以下模块组成，这些模块通过在 IWR1642 传感器的 C674x DSP 内核上执行的 DSP 代码实现：

- **距离处理：**对于每个天线，采用 1-D 窗口操作和 1-D 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织。
- **多普勒处理：**对于每个天线，进行 2D 窗口操作和 2-D FFT，然后以浮点精度对天线间的接收功率进行非相干结合。
- **距离-多普勒检测算法：**对距离-多普勒功率映射运行恒虚警率-最小单元平均 (CASO-CFAR) 加 CFAR 单元平均 (CFARCA) 检测算法，找到距离和多普勒空间中的检测点。
- **角度估算：**对于距离和多普勒空间中的每个检测点，用多普勒补偿重建 2D FFT 输出。波束形成算法根据 V_{max} 扩展的角度校正返回一个角度。

DSP 完成帧处理后，由距离、多普勒、角度和检测信噪比 (SNR) 组成的结果将经过格式化并写入共享存储器 (L3RAM)，以便 R4F 执行高级处理。

来自低级处理层的输入（点云数据）从共享存储器复制而来并适合于跟踪器接口。组跟踪器由两个子层实现：模块层和单元层。一个实例模块管理多个单元。在模块层，您应该首先尝试将输入云中的每个点与跟踪单元相关联。不相关的点将接受分配程序的安排。在单元层面，每次跟踪都使用已扩展的卡尔曼滤波器 (EKF) 过程来预测和估计组的属性。R4F 随后通过通用异步收发器 (UART) 将所有结果发送给主机以实现可视化。

表 3 列出了测量处理链（包括角度估算和 DSP 上的共享存储器写入以及之前的任务）整体每秒百万条指令 (MIPS) 使用量的 DSP 基准数据的结果。

	可用时间	实际用时	负载
有效线性调频脉冲时间	46 μ s	20 μ s	45%
帧时间	33ms	22.73ms	69%

表 3. MIPS 使用情况总结。

在 C674x DSP 中实现的低级处理链有两个严格的最后期限：

- **线性调频脉冲处理的最后期限，**定义为给定的线性调频脉冲应完成采集和距离处理的最晚时间。此期限为严格的最后期限，并使用可用裕量来估算采集期间的 DSP 负载。
- **帧处理的最后期限，**定义为给定的帧应完成帧处理（多普勒、恒虚警率 (CFAR) 和到达方向 (DoA)）的最晚时间。此期限也是严格的最后期限，并可估算帧处理期间的 DSP 负载。

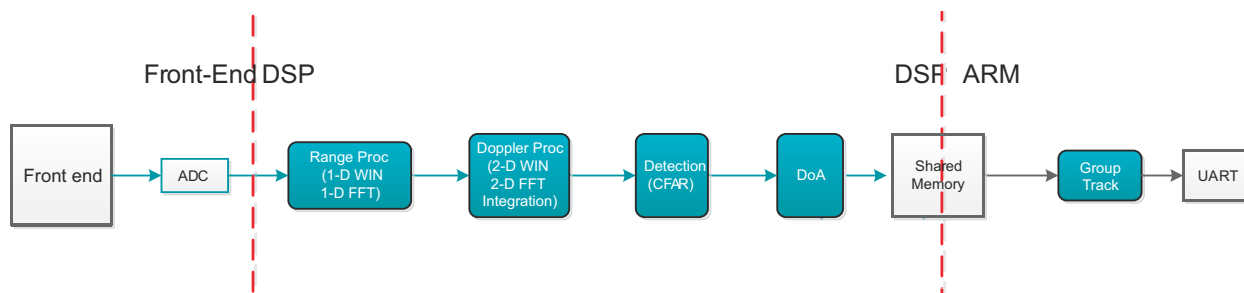


图 8. 交通监控示例的目标检测、跟踪和可视化处理链流程。

表 4 概述了在加载毫米波软件开发工具包 (SDK) 平台软件和示例应用程序代码后，DSP 可用的特定物理存储器及其使用情况。

	可用大小 (KB)	已用大小 (KB)	空余大小 (KB)
L1D	32	16	16 (用于 L1D 缓存)
L1P	32	24	8 (用于 L1P 缓存)
LL2	256	254	2
L3	768	352	416
HSRAM	32	3	29

表 4. 存储器使用情况总结。

Arm R4F 处理输入点云并提供目标信息所需的时间量是当前跟踪的目标数量和接收的测量数量（输入点云中的点数）的函数。处理时间随跟踪对象的数量呈线性增加。在跟踪对象数量固定的情况下，复杂度随输入点数量呈线性增加。以最坏情况下每帧点数等于 250 为例，可推导出每个跟踪对象所需的时间大约为 200 μ s。帧时间为 50ms 时，跟踪 20 个目标在 4ms 内完成，这将消耗不到 10% 的中央处理单元 (CPU)。

R4F 使用紧密耦合的存储器（256KB 的 TCMA 和 192KB 的 TCMB）。TCMA 用于程序和常量 (PROG)，而 TCMB 用于 RW 数据 (DATA)。表 5 总结了 R4F 的存储器使用情况，其中提供了总存储器占用空间、可用存储器空间和存储器利用率。

存储器	可用	已用	利用率
PROG	261,888	103,170	39%
数据	196,608	171,370	87%

表 5. 存储器使用情况总结。

结论

借助 TI 创新的毫米波传感器，系统设计人员能够访问以前其他传感技术无法获得的新级别数据和性能。毫米波传感器性能卓越，可在恶劣天气条件下工作，并可以检测高速行驶和远距离的车辆。凭借强大的集成处理内核，TI 的毫米波传感器可供交通监控基础设施的设计人员用于收集和实现稳健、高质量和高效率运行所需的信息和情报。

TI 为从事工业毫米波传感器产品的工程师提供了完整的开发环境，其中包括：

- 硬件 EVM，适用于 **IWR1443** 和 **IWR1642** 毫米波器件。
- 一个 **mmWave SDK**，其中包括实时操作系统 (RTOS)、驱动程序、信号处理库、毫米波应用程序编程接口 (API)、mmWaveLink 和信息安全机制（另行提供）。
- **mmWave Studio** 离线工具，用于算法开发和分析，其中包括数据捕获、可视化工具和系统估算器。

如需了解有关毫米波产品、工具和软件的更多信息，请参阅 www.ti.com/mmwave。

重要声明: 本文所提及德州仪器 (TI) 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。建议客户在订购之前获取有关 TI 产品和服务的最新和完整信息。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 因此对其的认可、保证或授权。

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