

# 解决方案白皮书

英特尔® 交控机架构

英特尔® 赛扬® 处理器

英特尔® 酷睿™ 处理器

英特尔® 发行版 OpenVINO™ 工具套件

英特尔® oneAPI 基础工具套件

## 基于英特尔® 交控机架构的 雷视一体机为智能交管与车路协同 提供更全面的感知能力

The Intel logo is displayed in white text on a blue background. To the left of the logo, there are two overlapping squares, one yellow and one orange.

### 作者

雷鸣<sup>a,1</sup>

杨大宁<sup>b,2</sup>

翁晓明<sup>b,3</sup>

韦富亚<sup>b,4</sup>

姜荣华<sup>a,5</sup>

### 企业

<sup>a</sup> 英特尔（中国）有限公司

<sup>b</sup> 苏州雷森电子科技有限公司

### 联系方式

<sup>1</sup> [ming.lei@intel.com](mailto:ming.lei@intel.com)

<sup>2</sup> [daning.yang@raysunradar.com](mailto:daning.yang@raysunradar.com)

<sup>3</sup> [xiaoming.weng@raysunradar.com](mailto:xiaoming.weng@raysunradar.com)

<sup>4</sup> [fuyawei@raysunradar.com](mailto:fuyawei@raysunradar.com)

<sup>5</sup> [ronnie.jiang@intel.com](mailto:ronnie.jiang@intel.com)

# 目录

<b>1</b>	概述.....	3
<b>2</b>	技术背景：基于英特尔® 交换机架构的 AI 感知融合.....	3
2.1.	AI 感知融合.....	3
2.2.	集成式与分布式 AI 感知融合.....	4
2.3.	AI 感知融合应用于智能交管与车路协同等交通场景.....	5
2.4.	英特尔® 交换机架构.....	6
<b>3</b>	雷视一体机：典型的集成式 AI 感知融合方案.....	7
3.1.	信号处理流程.....	8
3.1.1.	雷达信号处理.....	8
3.1.2.	视频分析.....	9
3.1.3.	数据融合.....	9
3.2.	基于英特尔® 交换机架构.....	9
3.2.1.	英特尔® 赛扬® 6305E 处理器：一颗芯片承担所有信号处理的负载.....	9
3.2.2.	英特尔® oneAPI 基础工具套件：加速雷达信号处理.....	10
3.2.3.	英特尔® 发行版 OpenVINO™ 工具套件：优化视频分析.....	11
3.3.	技术规格与性能指标.....	11
3.4.	实际效果.....	12
<b>4</b>	展望：基于英特尔® 交换机架构的 AI 感知融合使能更丰富的智慧交通应用.....	14
	特别致谢.....	14
	参考文献.....	15
	关于雷森.....	16
	关于英特尔.....	16



“我们基于**英特尔® 交控机架构**成功开发出了在业界领先的**雷视一体机**产品。我们将自研的先进毫米波雷达与视频**AI感知融合**算法，实现在高能效的**英特尔® 赛扬® 6305E**处理器上，并利用**英特尔® oneAPI**基础工具套件和**英特尔® 发行版 OpenVINO™**工具套件分别对雷达信号处理与视频分析进行优化。该产品已在实际交通场景中部署，显示了优越的性能：不但可以实时获取交通目标的类别、位置、速度、移动方向与轨迹等信息，还可进一步生成车流量、平均车速、车道占有率等交通流参数，以及检测违规变道、逆行等交通事件。该产品支持丰富的智能交管与车路协同的应用，显著提升了交通安全与效率，具有广阔的市场应用前景。”

— 杨大宁

苏州雷森电子科技有限公司  
总经理

## 1 概述

在人工智能、无线通信和新一代传感器等技术的驱动下，智能交通产业蓬勃发展，出现了包括智能交管和车路协同在内的新型场景及其丰富多样的应用。这两种场景都依赖于路侧感知与边缘计算来获取准确而全面的交通环境信息，以提升交通安全与效率。由于其相对于单一类型传感器更全面和更准确的感知能力，基于多种传感器的**AI感知融合技术**变得越来越重要。近年来，国家有关部门在《关于加快场景创新以人工智能高水平应用促进经济高质量发展的指导意见》等文件中，强调了基于多传感器融合的高准确交通环境感知、超视距信息共享、车路云一体化的协同决策与控制等关键技术，对于构建新一代智能交通系统至关重要。

**英特尔® 交控机架构**可以高效支持AI感知融合等交通领域的重要计算负载。它基于硬件与软件的优化组合，可以广泛地支持相关的产品方案，使之完全符合相关行业标准与规范，并具有可靠稳定、高性价比、高效能比、易扩展功能等显著优势。

苏州雷森电子科技有限公司（以下简称：雷森）基于**英特尔® 交控机架构**成功开发出了在业界领先的**雷达视频融合一体机**（以下简称：**雷视一体机**）产品。部署在实际交通场景中的该产品显示了优越的性能：不但可以实时获取交通目标的类别、位置、速度、移动方向与轨迹等信息，还可进一步生成车流量、平均车速、车道占有率等交通流参数，以及检测违规变道、逆行等交通事件，对于提升交通安全与效率发挥了显著的作用。

## 2 技术背景： 基于**英特尔® 交控机架构**的**AI感知融合**

### 2.1. AI感知融合

摄像头与毫米波雷达是常见的交通传感器，然而它们各自都有不同的优点和缺点（如表1所示），没有一种传感器能够满足交通场景中的所有感知需求，而这正是**AI感知融合**的用武之地。这项技术是指两种或两种以上的传感器通过协作，将其各自获取的感知信息融合起来，通过“取长补短”在功能上相互补充，从而提供比单一类型的传感器更全面、更准确的感知能力。基于深度学习的AI推理是这项技术的重要组成部分，主要用于基于视频、图像或者3D点云的目标检测与目标分类（即目标识别）。AI感知融合不但可以实现对于交通环境**更全面和更准确的感知能力**，还可以在在一定程度上提供**系统冗余**，这些能力对于交通安全类的应用尤为重要。

表 1. 不同传感器的优点和缺点

传感器	优点	缺点
摄像头 (视频或图像)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 细节信息丰富，辨识度出色；</li> <li>• 可准确捕捉轮廓、纹理、颜色分布等信息，便于在非极端环境光照条件下进行目标分类/识别；</li> <li>• 可识别静止或平面的交通目标（例如交通标志与车道线）；</li> <li>• 横向分辨率高，可用于估计横向速度；</li> <li>• 视频、图像处理技术相对成熟；</li> <li>• 成本相对低廉、产品生命周期较长。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 易受环境光照条件影响（例如夜晚弱光、强光照射等）；</li> <li>• 易受天气状况影响（例如雨、雪、雾、霾、烟、尘等）；</li> <li>• 基于深度学习的视频分析的负载较重；</li> <li>• 缺少深度信息，难以获取 3D 信息；</li> <li>• 定位精度低；</li> <li>• 分辨率随着距离增加而降低；</li> <li>• 难以估计径向速度。</li> </ul>
毫米波 雷达	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 可以通过常规信号处理（无需深度学习）获取目标的距离、速度、角度等信息；</li> <li>• 测距范围相对较远，测距和测速精度相对较高；</li> <li>• 随着距离的增加，测量性能保持稳定；</li> <li>• 全天候工作，几乎不受天气状况的影响（雨、雪、雾、霾、烟、尘等）；</li> <li>• 不受光线条件影响；</li> <li>• 成本相对低廉、产品生命周期较长。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 点云稀疏，难以实现准确的目标分类；</li> <li>• 无法区分静止的目标（例如停止的车）与背景物（例如道路的护栏与井盖）；</li> <li>• 无法识别平面目标（例如交通标志）和颜色（例如交通信号灯）；</li> <li>• 环境细节信息缺失严重；</li> <li>• 易受多径传播、杂波、干扰和噪声的影响。</li> </ul>

## 2.2. 集成式与分布式 AI 感知融合

根据负责信息采集的传感器与负责计算的处理器芯片之间的集成关系，AI 感知融合可以分为集成式与分布式两类，分别用到不同种类的英特尔® 处理器（如图 1 所示）。

### 集成式 AI 感知融合

计算负载在集成了传感器的设备（例如本文将介绍的雷视一体机）中进行处理。适合的芯片包括含有英特尔锐炬® 等系列集成显卡的英特尔凌动® 与赛扬® 系列 SoC 处理器，以及 Cyclone® 系列 FPGA。

### 分布式 AI 感知融合

计算负载在与传感器（比如一个交通路口部署的多种类、多数量的传感器）通过网络连接的分离设备（例如路侧 MEC）中进行处理。适合的芯片包括含有英特尔锐炬® 等系列集成显卡的英特尔® 酷睿™ 系列 SoC 处理器，至强® 系列 SoC 处理器，以及支持更高 AI 算力的锐炫™ 系列独立显卡。

英特尔与雷森率先在业界提出了集成式 AI 感知融合的概念、系统架构与实用技术方案 [1]。基于集成式 AI 感知融合的雷视一体机主要用于高速公路、城区道路、隧道和桥梁等长直道路场景，也可通过多台雷视一体机的协作来支持有多个车道方向的交通路口的感知需求。

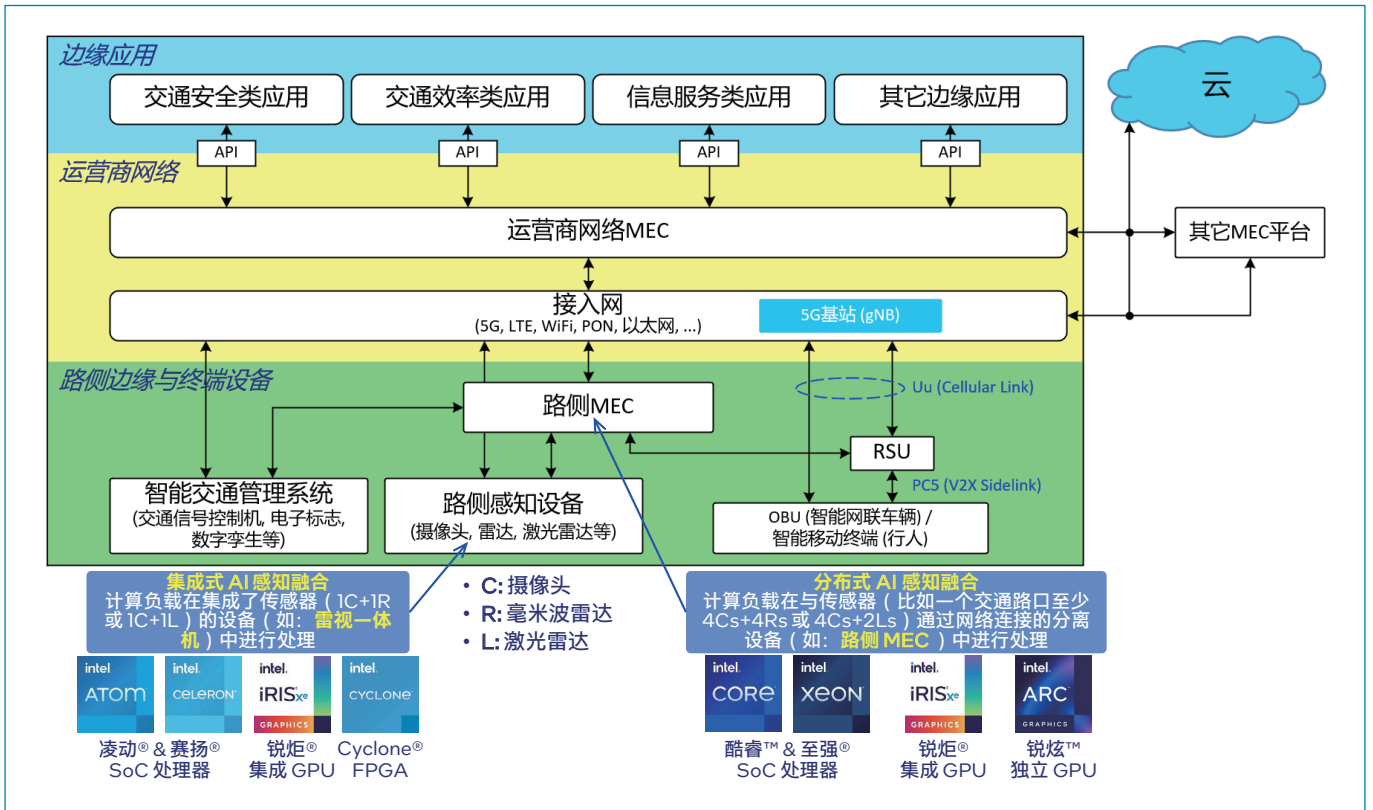


图1. 集成式与分布式 AI 感知融合应用于智能交管与车路协同场景

### 2.3. AI 感知融合应用于智能交管与车路协同等交通场景

如图1所示，集成式与分布式 AI 感知融合可应用于包括智能交管与车路协同在内的交通场景。这两种场景都依靠路侧感知设备（包括摄像头、毫米波雷达和激光雷达在内的各类交通传感器）采集交通目标的原始信息（包括 2D 视频图像、雷达回波和 3D 点云等），交给集成式 AI 感知融合设备（例如雷视一体机）或者分布式 AI 感知融合设备（例如路侧 MEC）进行基于 AI 感知融合的分析计算，生成目标级的结构化数据，包括车辆的位置、速度与移动方向，交通事件的类别与影响范围等。

#### 智能交管

目标级的结构化数据通过网络传送给智能交管系统，为交通信号的自动控制，交通电子标志的生成以及交通数字孪生等应用提供更全面和精细的交通目标信息。

#### 车路协同

在图2所示的车路协同场景中，这些目标级的结构化数据被进一步处理成 V2X 消息，确切地说是 I2V (Infrastructure-to-Vehicle) 消息。这些 I2V 消息被 RSU (路侧单元) 经由 PC5 无线空中接口、或者 5G 基站经由 Uu 无线空中接口发送给包括机动车和行人在内的道路交通参与者，以实现包括交通安全、交通效率、信息服务等类别在内的丰富的车路协同应用。

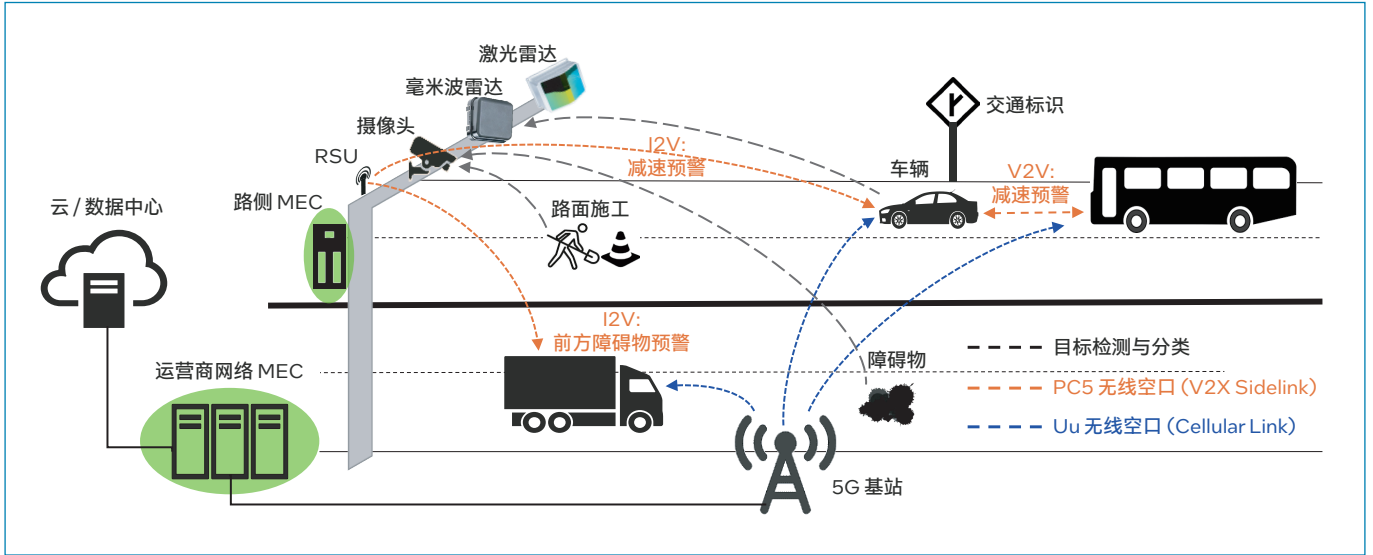


图 2. 基于车路协同的交通场景

## 2.4. 英特尔® 交控机架构

为了高效支持不同智能交通领域的丰富应用场景，英特尔提出了交通融合计算与控制 (Transportation Fusion Computing and Control, TFCC) 架构 [2]，简称英特尔® 交控机架构。如图 3 所示，它主要具备以下两大类功能：

- 基于异构计算的各种交通传感器（例如摄像头、毫米波雷达、激光雷达、掌静脉扫描仪等）的信号处理与结果数据融合；
- 对于各种交通设备（例如信号灯、雾灯、报警器、道闸、路障等）的实时控制。

这一架构的硬件平台包括了型号丰富的英特尔® 赛扬®、凌动®、酷睿™ SoC 处理器系列以及锐炬® 集成显卡与锐炫™ 独立显卡系列；其软件工具包括了英特尔® 发行版 OpenVINO™ 工具套件 [3] 和英特尔® oneAPI 基础工具套件 [4] [5]。通过硬件与软件深度结合，英特尔® 交控机架构提供强大的异构计算能力以支持所有交通传感器所需的 AI 与通用计算。

英特尔® 交控机架构具有以下功能和性能特点，详细介绍可见 [2]。

- 强大的异构计算能力支持多种传感器所需的 AI 与通用计算
- 出色的负载整合能力
- 灵活的算力可扩展性
- 丰富的数据接口
- 及时便捷的远程管理与维护
- 可靠的宽温支持
- 克服恶劣环境影响的坚固耐用性
- 高性价比与高效能比

基于英特尔® 交控机架构的设备（以下简称：交控机设备）可支持丰富的智能交通应用场景，包括 ETC 收费系统中的车型识别、自助发卡/缴费与车道设备控制，智能交管系统中的交通事件检测、路侧计算与多传感器融合计算，智慧停车系统中的车型识别、车牌识别与停车场设备控制，以及智慧轨交系统中的乘客信息发布、自动售检票、通信与信号设备等。交控机设备在这些具体的应用场景中，可以有不同的形态和规格，比如在本文中即将介绍的雷视一体机。

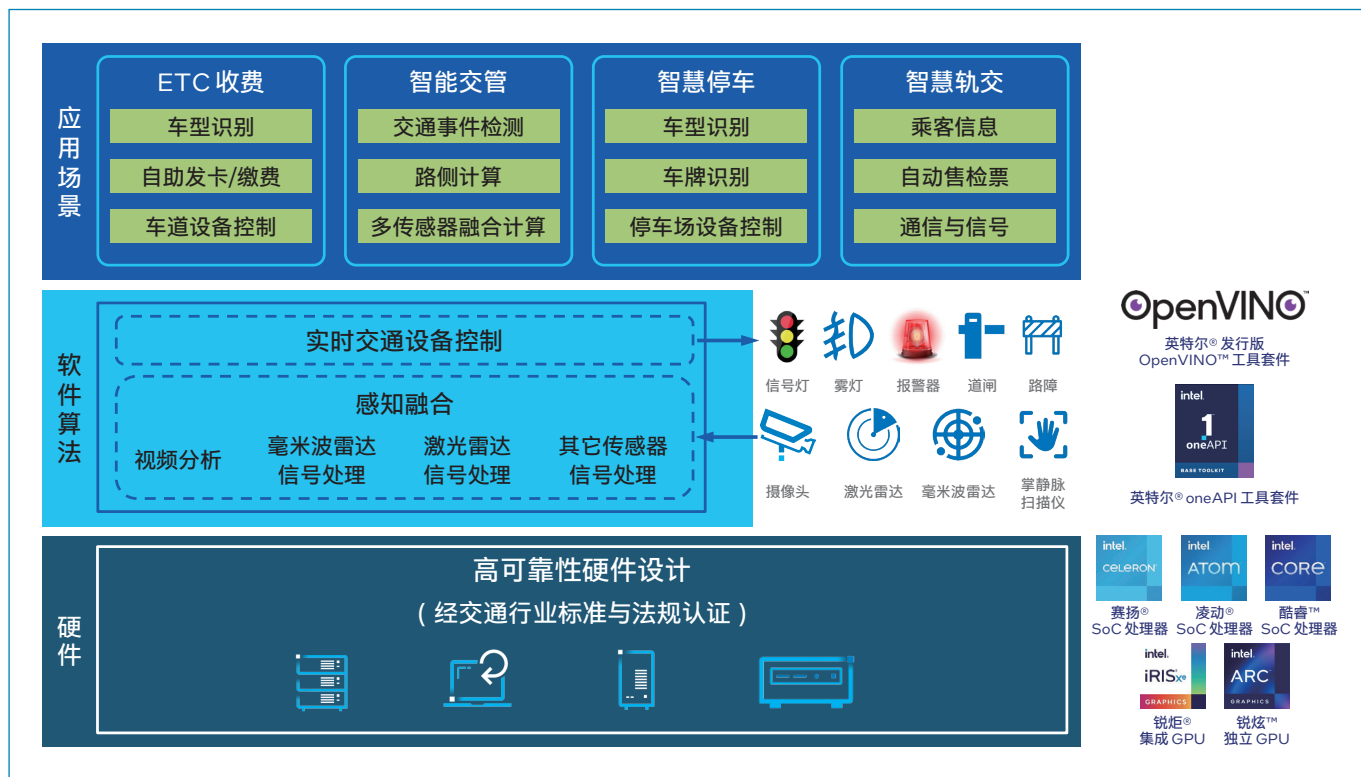


图 3. 英特尔® 交控机架构

### 3 雷视一体机：典型的集成式 AI 感知融合方案

基于英特尔® 交控机架构，雷森成功开发了如图 4 所示的 IETV246 型雷视一体机，内部结构紧凑、外观线条简洁。



图 4. 基于英特尔® 交控机架构的雷森 IETV246 型雷视一体机产品实例（正面与背面）

### 3.1. 信号处理流程

该雷视一体机的信号处理流程如图 5 所示，主要包括三个部分：

- **雷达信号处理**：测量交通目标的位置、速度与移动方向等信息；
- **视频分析**：识别交通目标的种类等信息；
- **数据融合**：将雷达信号处理与视频分析的目标级结果数据投射到一个选定的统一坐标系内，进行目标轨迹关联，完成结果数据融合，形成对目标的完整感知信息。

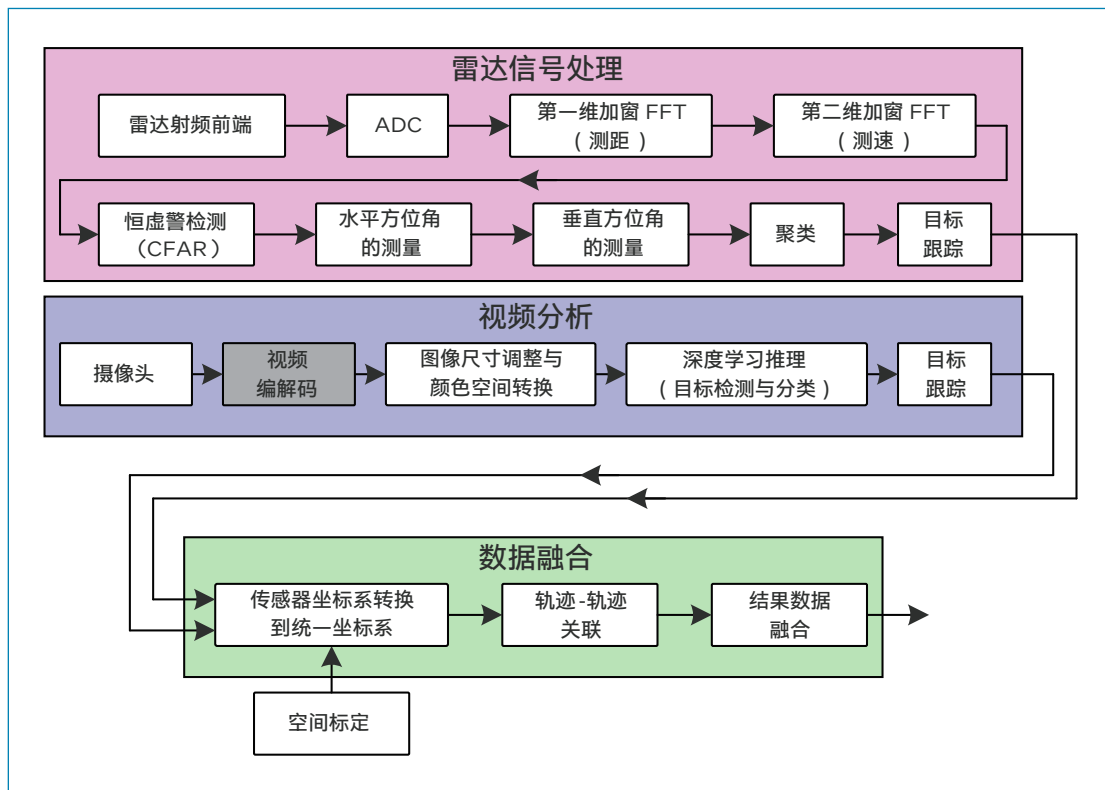


图 5. 毫米波雷达与视频融合计算的信号处理流程

#### 3.1.1. 雷达信号处理

雷达信号处理是基于先进的相控阵毫米波技术，利用发射的无线电波，以及其在空间传输过程中遇到目标被反射的回波，进行时域、频域与空间域的信号处理，获得目标的位置与运动状态信息。由于采用了平面 MIMO 天线阵列，该雷视一体机可以直接测量目标的四维 (4D) 信息：距离、速度、水平方位角与垂直方位角，并可间接估计目标的位置、移动方向与三维尺寸。其主要信号处理流程包括：

- 用于测距的第一维加窗 FFT (快速傅里叶变换)
- 用于测速的第二维加窗 FFT
- 用于滤除杂波与干扰的恒虚警检测 (CFAR: Constant False Alarm Rate Detection)
- 水平方位角的测量
- 垂直方位角的测量



- 位置的估计 ( 通过目标相对于雷达的距离与角度 )
- 移动方向的估计 ( 通过单位时间内目标在雷达法线与切线方向上的位移 )
- 用于将点云数据转换为目标的聚类
- 目标三维尺寸 ( 长宽高 ) 的估计
- 目标跟踪

FFT 是雷达信号处理中的主要计算负载, 可通过英特尔® oneAPI 数学内核库 (oneMKL) [6] 来进行加速。详细的雷达信号处理流程可参见 [1]。

### 3.1.2. 视频分析

由于摄像头集成在雷视一体机中, 其所采集的视频原始数据通过内部高速 I/O 接口 ( 例如 MIPI CSI ) 直接送入英特尔® 处理器, 无需经过网络传输, 也就无需视频编解码 ( 如图 5 所示 )。这有效降低了端到端时延, 对于交通安全类的应用尤为重要。

视频分析采用基于 YOLOv5 神经网络模型 [7] 的 AI 深度学习来实现对交通目标的检测与分类。YOLOv5 继承了 YOLO 系列模型的众多优点包括“一步推理算法”, 即不需要“两步推理算法”中所需的区域提议 (Region Proposal) 步骤, 可通过一次推理过程完成目标检测和目标分类的双重任务 ( 如图 5 所示 ), 从而可以获得更高的推理吞吐率以及更低的处理时延。

视频分析中所用到的 AI 深度学习, 以及基于传统计算机视觉算法的图像尺寸调整与颜色空间转换, 均可通过英特尔® 发行版 OpenVINO™ 工具套件 [3] 进行优化, 以进一步提升视频分析的吞吐率并降低处理时延。

### 3.1.3. 数据融合

雷达通常采用的是三维球面坐标系, 而视频或图像通常采用的是二维笛卡尔坐标系 ( 即直角坐标系 ), 而且两个传感器的空间位置与旋转角度也不相同。因此在对这两个传感器的目标级结果数据进行融合之前, 需要将所有的结果数据转换到一个统一坐标系, 这就需要我们知道各个传感器坐标系与统一坐标系之间的转换关系。英特尔为此提出了自动化且在线的空间标定方法 [8], 在不影响传感器正常工作的前提下, 测算得到坐标系转换关系。

统一坐标系可以是雷达坐标系、视频或图像坐标系, 或者其它任何坐标系。当从雷达信号处理与视频分析得到的目标级结果数据被分别转换到选定的统一坐标系之后, 按照匹配算法将从两个传感器得到的目标轨迹进行关联 ( 通常是在多目标同时存在的情况下 ), 并完成结果数据 ( 例如从雷达得到的目标位置、速度与移动方向, 以及从视频得到的目标类别 ) 的融合, 从而形成对每一个交通目标的完整感知信息。详细的数据融合处理流程可参见 [1]。

## 3.2. 基于英特尔® 交控机架构

雷视一体机是基于图 3 所示的英特尔® 交控机架构, 大幅提升了产品的性价比和效能比。该架构充分支持在单颗 SoC 处理器上完成复杂的毫米波雷达与视频融合计算, 并通过英特尔® 软件工具套件来优化性能, 在满足性能要求的前提下最大程度的降低产品方案的成本与功耗。

基于英特尔® 交控机架构的雷视一体机实质上是负载整合, 它将多个计算负载任务整合到单个支持异构计算的硬件平台上, 取代了多个分离的专用硬件平台。在智能交通领域广受欢迎的雷视一体机在有效简化系统运行并提升性能与效率的同时, 也显著降低了用户的资本支出 (CapEx) 和运营支出 (OpEx)。

### 3.2.1. 英特尔® 赛扬® 6305E 处理器: 一颗芯片承担所有信号处理的负载

针对于包括智能交通在内的众多垂直行业应用, 英特尔发布了赛扬® 6305E 处理器 [9]。这是一款高效的双核 SoC, 属于第 11 代英特尔® 酷睿™ 处理器系列 ( 产品代号: Tiger Lake, 简称 TGL ) [10]。在具备强大通用计算与 AI 加速运算能力的同时, 该处理器还拥有安全可靠、支持多操作系统、低功耗、散热设计容易等卓越优势, 是雷视一体机等智能边缘计算设备非常理想的高性价比和高效能比计算平台。表 2 为其主要规格参数, 其完整规格参数请详见产品网页 [9]。

单颗英特尔® 赛扬® 6305E SoC 处理器可高效地完成雷视一体机中的所有计算负载:

- 雷达信号处理: CPU
- 传统计算机视觉 ( 不涉及 AI 深度学习 ): CPU
- 数据融合: CPU
- 视频分析 ( AI 深度学习 ): iGPU 中的执行单元 (Execution Units)

表 2. 英特尔® 赛扬® 6305E SoC 处理器的主要规格参数

CPU	计算核心数量	2
	线程数量	2
	基础频率	1.8 GHz
	CPU 缓存	4 MB
	总线速度	4 GT/s
	CPU 上的英特尔® 深度学习加速	支持
内存	最大内存容量	64 GB
	内存型号	DDR4-3200, LPDDR4x-3733
	最大内存通道数	2
集成显卡 (iGPU)	iGPU 型号	英特尔® 超核芯显卡 (Intel® UHD Graphics)
	iGPU 最高动态频率	1.25 GHz
	执行单元数量	48
	AI 算力	~ 4 TOPS
	VDBOX 数量	1
	支持显示器数量	4
英特尔® 图像处理单元 (IPU) 型号		IPU 6.0
主要 I/O 接口	PCIe for CPU	PCIe Gen 3 × 4 通道
	PCIe for PCH	PCIe Gen 3 × 4 通道
	Thunderbolt™ / USB	Thunderbolt™ 4 / USB 4 × 4

### 3.2.2. 英特尔® oneAPI 基础工具套件：加速雷达信号处理

oneAPI 计划 (oneAPI Initiative) [4] 将加速计算的统一、基于标准的开放式编程模型的愿景变成了现实。它通过跨架构的方案，摆脱锁定于单一供应商的专有架构和工具链的束缚，针对包括 CPU、GPU 和其它加速器在内的不同硬件。它同时提供丰富的库、工具、编译器和生态系统软件集成组合，能够最大限度地提升开发人员的工作效率和应用程序性能。该工具套件面向 HPC、AI 和渲染应用程序所需的高性能、密集计算和多架构的执行环境。它基于开放式编程模型，可在多架构的解决方案中提升应用程序的性能和提高开发人员的生产力。它可以防止锁定，并允许在不同的当前和未来架构之间轻松实现代码重用与移植。英特尔正与其它行业领导者合作，旨在围绕开放标准来统一异构计算的生态系统。

基于 oneAPI 计划的英特尔® oneAPI 基础工具套件 [5] 是一组核心的工具和库，用于跨不同架构开发高性能、以数据为中心的应用程序。它具有行业领先的 C++ 编译器，可实现 SYCL (即针对异构计算的 C++ 的演进)。它还使用特定领域的库和英特尔® Python 分发版提供跨相关架构的直接加速。增强的分析、设计协助和调试工具使得该工具套件更加完善。

如图 6 所示，该工具套件包括英特尔® oneAPI 数学内核库 (oneMKL) [6]。这是一个快速、高效、易于使用的计算数学库。它针对在英特尔® CPU、GPU 和其他加速器上运行的需要最高性能的应用程序进行了优化。它支持密集线性代数、稀疏线性代数、FFT、向量数学、随机数生成、汇总统计等丰富且强大的功能。雷视一体机中的雷达信号处理正是基于 oneMKL 库中的 FFT 函数进行了加速运算，获得了优异的低时延性能。

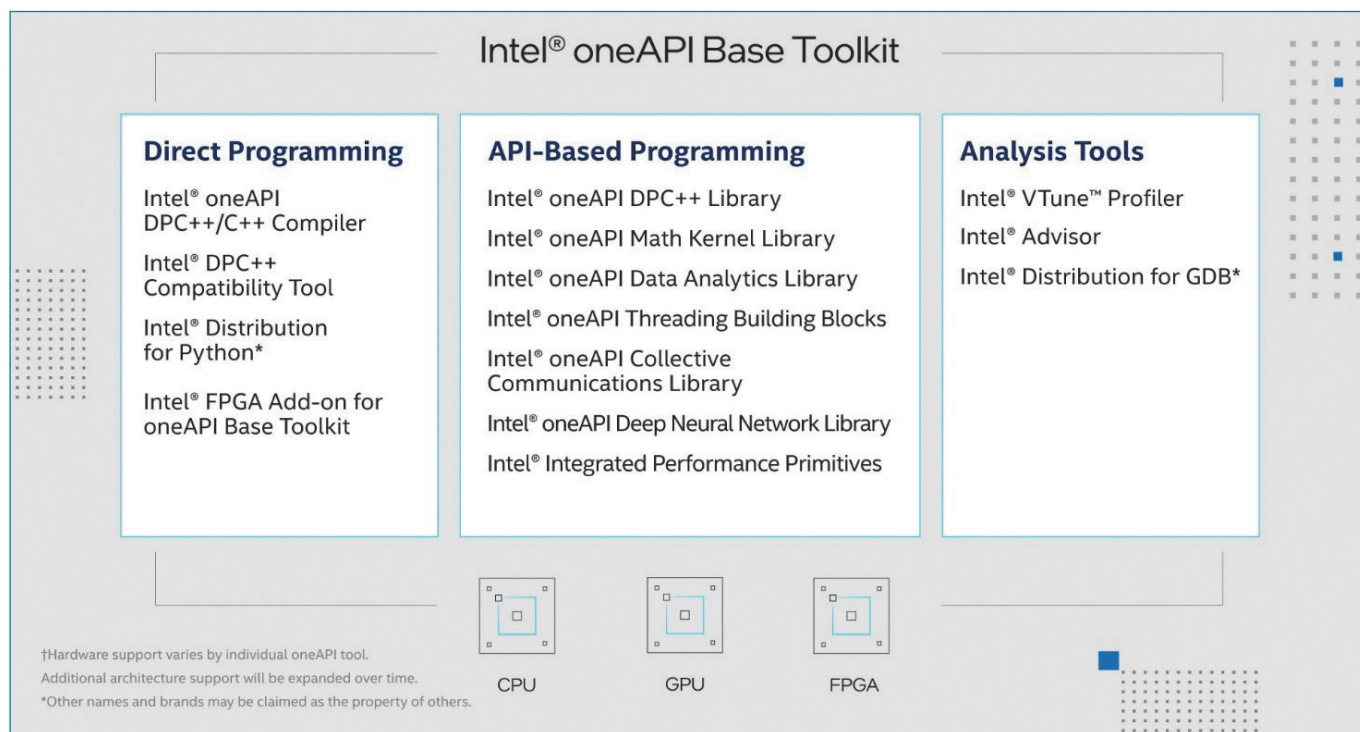


图 6. 英特尔® oneAPI 基础工具套件所包含的组件 [5]

### 3.2.3. 英特尔® 发行版 OpenVINO™ 工具套件：优化视频分析

英特尔® 发行版 OpenVINO™ 工具套件（以下简称 OpenVINO™）是源自英特尔的一款功能非常全面的优秀软件工具套件，用于加速高性能计算机视觉和深度学习丰富多样的应用开发 [3]。其显著的三个特点是：高性能深度学习推理，非常易于使用的简化开发流程，一次编写可任意部署。

具体来说，OpenVINO™ 支持快速开发丰富多样的应用和解决方案，来模拟人类的视觉。它能显著提升视频分析的准确率，加速推理，并节约算力资源。该工具套件基于各类常见的神经网络，支持直接异构执行，可在多种英特尔® 芯片平台中扩展计算机视觉和深度学习的工作负载，实现卓越性能。它还支持在英特尔® 集成显卡上进行高性能的视频编码和解码。OpenVINO™ 支持多种操作系统（包括 Windows、Linux 和 macOS）与编程语言（包括 Python 和 C++）。

OpenVINO™ 免费提供超过 280 个经预先训练好的神经网络模型和参考代码，支持模型的量化和调优，加速深度学习的推理运算。

### 3.3. 技术规格与性能指标

IETV246 型雷视一体机符合严格的中国与海外相关行业标准与规范，其规格参数如表 3 所示，性能指标如表 4 所示。

表 3. 雷视一体机（IETV246 型）的规格参数

雷达参数	中心频率	24.125 GHz
	雷达帧长	50 ms
	雷达帧率	20 FPS
视频参数	分辨率	1920 × 1080
	帧率	20 FPS
	神经网络模型	YOLOv5
雷视融合参数	雷视融合帧率	20 FPS
其它参数	I/O 接口	千兆以太网、串口
	电源	DC 24 V
	工作环境温度	-20 ~ 70 °C（可扩展）
	防护等级	IP67

表 4. 雷视一体机 ( IETV246 型 ) 的性能指标

雷达测距	最大测距范围	650 m
	测距分辨率	1.1 m
	测距精度	0.1m
雷达测速	最大测速范围	± 300 km/h
	测速分辨率	0.083 m/s (0.3 km/h)
	测速精度	0.027 m/s (0.1 km/h)
雷达测水平角	水平测角范围 (HFoV)	75°
	测角分辨率	1.9°
	测角精度	0.16°
雷达测垂直角	垂直测角范围 (VFoV)	± 9°
	测角分辨率	2.7°
	测角精度	0.3°
视频分析	目标分类准确率	≥ 96%
系统整体	端到端时延	< 100 ms
	目标分类准确率	≥ 98%

### 3.4. 实际效果

基于英特尔® 工控机架构的雷视一体机已被部署于实际交通场景，如图 7 与图 8 所示。雷视一体机通过毫米波雷达与视频融合计算（如图 5 所示），实时获取交通目标的类别、位置、速度、移动方向与轨迹等信息，实现对交通目标的跟踪。并可基于这些信息进一步生成车流量、平均车速、车道车流量、车道平均车速、车头时距、车道占有率和排队长度等交通流参数

[11] [12]，以及检测违规变道、逆行、非正常停车、拥堵、抛洒物和行人违规穿越车道等交通事件 [13]。雷视一体机通过网络将这些检测结果发送给交通管理中心或者其它智能交通平台如 V2X 服务器或者 RSU，以支持丰富的智能交管与车路协同的应用，显著提升了交通安全与效率。



图 7. 部署于交通路口信号灯杆上的雷视一体机

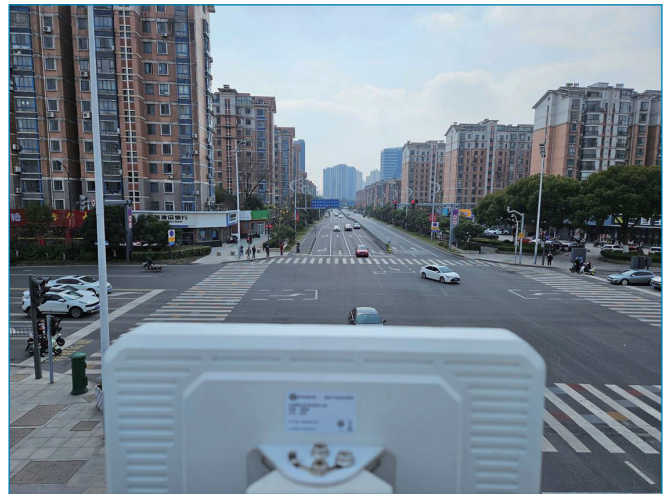


图 8. 从雷视一体机的视角俯视交通路口

图9展示了雷视一体机中毫米波雷达与视频的融合效果。基于视频分析的目标分类结果（左侧小图），被投射到雷达笛卡尔坐标系（右侧小图），与通过雷达信号处理得到的目标位置、速度与移动方向进行融合。在融合结果中，目标类别由不同颜色或字母来区分，例如 [C] 表示 Car，[T] 表示 Truck；目标的速度与移动方向由绿色矢量线段来呈现；目标 ID 和速度值分别由黄色和绿色字体表示。

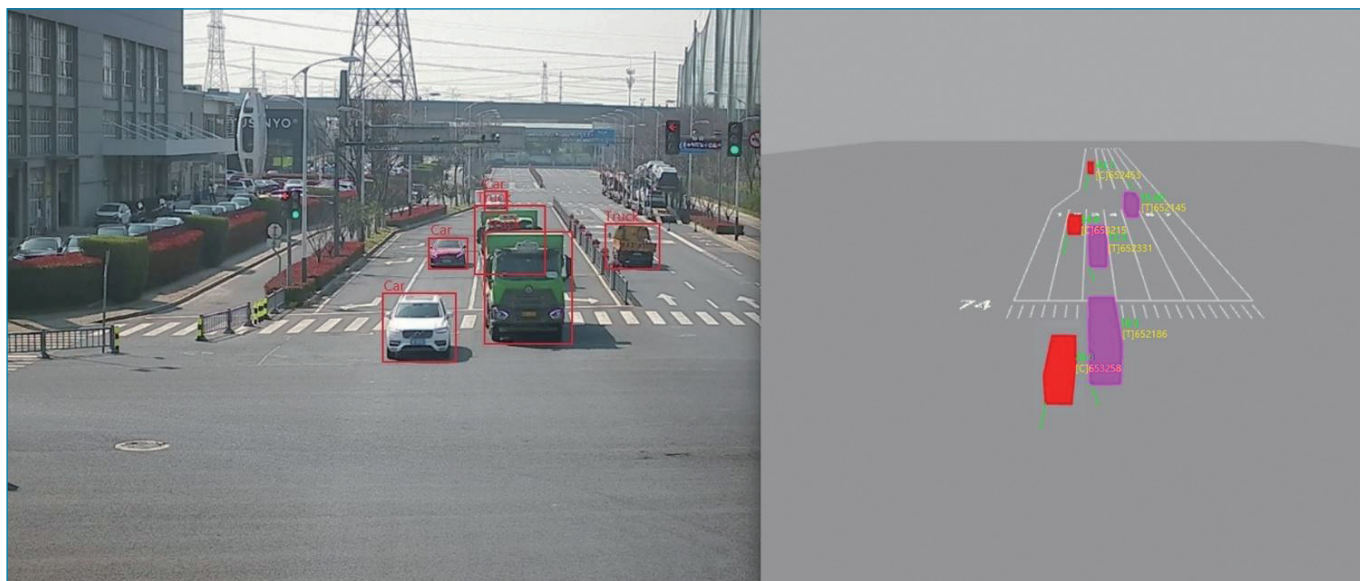


图 9. 雷视一体机中毫米波雷达与视频的融合效果

图10展示了在陕西某地的交通路口部署雷视一体机来优化交通信号灯（红绿灯）的配时，以缓解早高峰拥堵的效果：

- 南与北方向直行排队长度降低了10%左右，停车等待时间变短，停车次数减少；
- 在未增加左转可变车道的情况下，南左转排队长度降低；
- 各直行方向车道排队长度相对更均衡，早高峰拥堵情况得到了缓解。

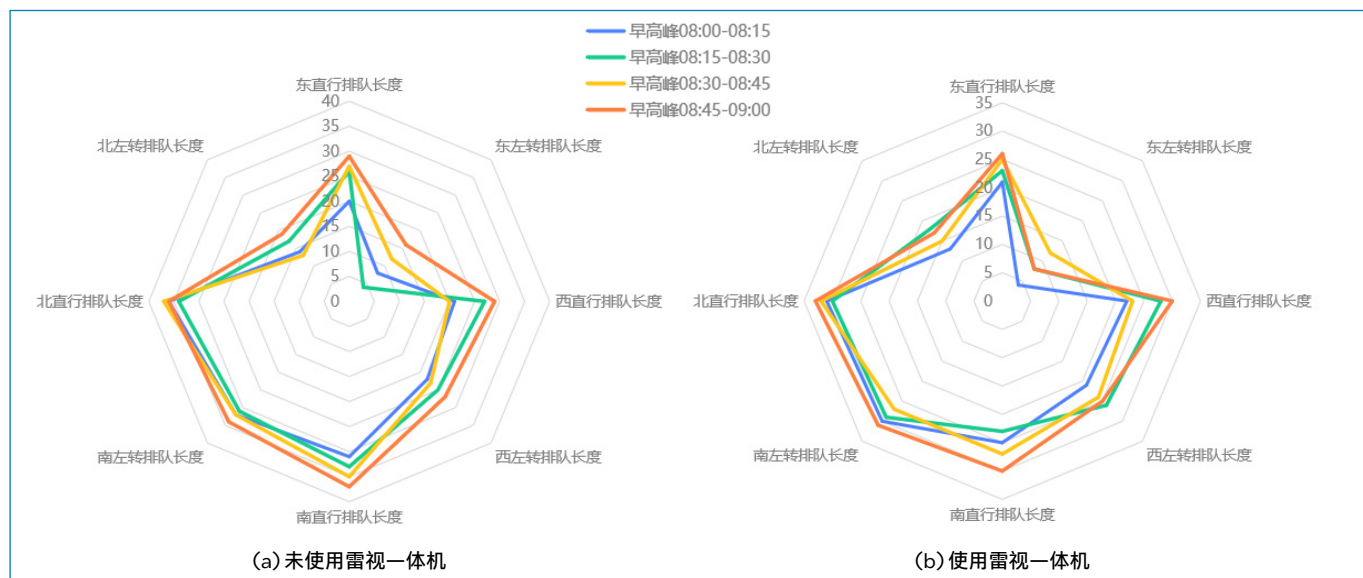


图 10. 部署于交通路口的雷视一体机缓解早高峰拥堵的效果

在苏州某地的实际道路场景测试中，雷视一体机对位置、速度与移动方向等指标的测量精度均超过了 C4 高等级智能道路对感知精度的要求，可为基于车路协同的自动驾驶车辆提供精准可靠的路侧感知结果，提升其行驶安全与效率。

IETV246 型雷视一体机在实际应用中，显示了以下突出的优点：

- **更低的端到端处理延时：**雷视一体机中集成的两个传感器（雷达与摄像头）将其所采集的原始数据通过内部高速 I/O 接口（例如用于雷达数据的 PCIe 和视频数据的 MIPI CSI）直接送入英特尔® 处理器，无需经过网络传输；视频处理部分也无需视频编解码。这有效降低了端到端时延，确保其在 100 毫秒之内，这对于交通安全类的应用尤为重要。而传统感知融合方案的端到端时延通常在 200 毫秒左右。
- **更高的目标分类准确率：**雷视一体机采用了先进的 4D MIMO 雷达信号处理技术，可以估计目标的三维尺寸（长宽高），此信息与视频分析的结果进行结合用于提高目标分类的准确率。尤其是当目标的距离较远时，单纯基于视频分析的目标分类准确率下降，雷视融合可以有效提升目标分类的准确率。

- **更低的整体拥有成本 (TCO)：**雷视一体机将原来分离的多台设备（例如摄像头、毫米波雷达、计算设备等）合为一体，减少了设备数量以及安装、供电和网络连接的需求，大幅降低了用户的资本支出 (CapEx)；同时雷视一体机在降低功耗与简化运维方面也有显著优势，帮助用户进一步降低了运营支出 (OpEx)。
- **方便灵活的部署：**雷视一体机集多台设备的功能于一身，非常易于部署（即无需多个点位来部署多台设备）；同时在空间标定、时间同步等方面降低了系统设计的复杂度。
- **优秀的应对严苛环境影响的能力：**雷视一体机通常被部署于室外的恶劣交通环境，温度和湿度变化不定甚至大幅波动，日晒雨淋、外物冲击等情况司空见惯。雷视一体机具有出色的环境适应能力，能够适应温度和湿度的急剧变化，具备防水、防尘、防腐蚀、防震冲击等能力，同时还具备出色的电磁兼容和抗干扰能力，确保在整个产品生命周期内不间断地提供稳定可靠的服务。

## 4 展望：

### 基于英特尔® 交控机架构的 AI 感知融合使能更丰富的智慧交通应用

由于采用了英特尔® 交控机架构，IETV246 型雷视一体机在实际应用中显示出：强大的异构计算能力支持视频与雷达所需的 AI 与通用计算、灵活的算力可扩展性、丰富的数据接口、可在宽温及恶劣交通环境条件下稳定可靠的工作，是一款高性价比与高效能比的业界领先产品。该型号雷视一体机可广泛应用于包括高速公路、城区道路、交通路口、隧道、桥梁和园区道路在内的众多交通场景。它的成功研发与其在实际应用中所展现的出色性能也为雷达视频融合技术从目标级融合（后融合）向原始数据级融合（前融合）的演进打下了坚实的基础。

英特尔® 交控机架构包括不断演进且型号丰富的英特尔® 赛扬®、凌动®、酷睿™ SoC 处理器系列，锐炬® 集成显卡与锐炫™ 独立显卡系列，英特尔® 发行版 OpenVINO™ 工具套件和英特尔® oneAPI 基础工具套件。硬件与软件的深度结合使得英特尔® 交控机架构能够提供丰富的功能和卓越的性能，使能丰富多样的智慧交通应用 [14] - [26]。英特尔与产业界伙伴将继续携手合作，通过提供更为先进的 AI 感知融合产品与解决方案，来不断提升交通安全与交通效率，造福于人民大众。

## 特别致谢

以下同事对本解决方案白皮书的内容作出了贡献：

- **苏州雷森电子科技有限公司：**杨世光、张旭升、仲巍、刘巧文、张勇
- **英特尔（中国）有限公司：**邵文简、晋磊、张泉、汪书乐、赵华亮

## 参考文献

- [1] M. Lei, D. Yang and X. Weng, "Integrated Sensor Fusion Based on 4D MIMO Radar and Camera: A Solution for Connected Vehicle Applications," in IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 17, no. 4, pp. 38-46, Dec. 2022, doi: 10.1109/MVT.2022.3207453.
- [2] 雷鸣, 胡高鹏, 宋晖, 姜荣华, 晋磊, 黄昊, 邵文简, "基于英特尔® 交换机架构的自助缴费、AI 车型识别与 ETC 工控机方案赋能智慧高速公路网," 英特尔® 解决方案白皮书, 2024 年 3 月。
- [3] "英特尔® 发行版 OpenVINO™ 工具套件", Intel. Accessed: Feb. 21, 2024. [Online]. Available: <https://www.intel.cn/content/www/cn/zh/developer/tools/opencvino-toolkit/overview.html>
- [4] "What is oneAPI? Overview and Benefits." Intel. Accessed: Feb. 21, 2024. [Online]. Available: <https://www.intel.com/content/www/us/en/developer/videos/what-is-oneapi-overview-and-benefits.html>
- [5] "Intel® oneAPI Base Toolkit." Intel. Accessed: Feb. 21, 2024. [Online]. Available: <https://www.intel.com/content/www/us/en/developer/tools/oneapi/base-toolkit.html>
- [6] "Intel® oneAPI Math Kernel Library (oneMKL)." Intel. Accessed: Feb. 21, 2024. [Online]. Available: <https://www.intel.com/content/www/us/en/developer/tools/oneapi/onemkl.html>
- [7] "YOLOv5 in PyTorch." GitHub. Accessed: Feb. 21, 2024. [Online]. Available: <https://github.com/ultralytics/yolov5>
- [8] M. Lei, M. Rahman, D. Mathaikutty and I. Alvarez, "Wireless-Assisted Automatic Online Spatial Calibration based on 5G TSN for Sensor Fusion," 2023 IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing (ICSPCC), 2023, pp. 1-6, doi:10.1109/ICSPCC59353.2023.10400303.
- [9] "Intel® Celeron® 6305E Processor." Intel. Accessed: Feb. 21, 2024. [Online]. Available: <https://ark.intel.com/content/www/us/en/ark/products/208072/intel-celeron-6305e-processor-4m-cache-1-80-ghz.html>
- [10] "11<sup>th</sup> Generation Intel® Core™ Processors (Tiger Lake Series)." Intel. Accessed: Feb. 21, 2024. [Online]. Available: <https://ark.intel.com/content/www/us/en/ark/products/codename/88759/products-formerly-tiger-lake.html>
- [11] "交通信息采集—微波交通流检测器 (Traffic Information Collection – Microwave Traffic Flow Detector), " 中国国家标准: GB/T 20609-2023, pp.1-27, 发布日期: 2023 年 3 月 17 日。
- [12] "交通信息采集—视频车辆检测器 (Traffic Information Collection – Video Vehicle Detector), " 中国国家标准: GB/T 24726-2009, pp.1-16, 发布日期: 2009 年 11 月 30 日。
- [13] "视频交通事件检测器 (Video Traffic Incident Detector), " 中国国家标准: GB/T 28789-2012, pp.1-20, 发布日期: 2012 年 11 月 5 日。
- [14] M. Lei, J. Lin, S. Wang and W. Shao, "AI Video Analytics Based on Traffic Fusion Computing for Road Traffic Incident Detection," 2023 IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing (ICSPCC), Zhengzhou, China, 2023, pp. 1-6, doi:10.1109/ICSPCC59353.2023.10400291.
- [15] 雷鸣, 王新锋, 徐青, 严征, 程加钢, 刘省贤, 黄昊, "车联网中基于英特尔® 架构的激光雷达 3D 点云处理与感知融合方案," 英特尔® 解决方案白皮书, 2021 年 12 月。下载链接: <https://www.leishen-lidar.com/ueditor/php/upload/file/20211222/1640153063390395.pdf>
- [16] M. Lei, X.-F. Wang, Q. Xu, Z. Yan, J.-G. Cheng and S.-X. Liu, "Lidar 3D Point Cloud Processing and Sensor Fusion based on Intel® Architecture for C-V2X," Intel Solution White Paper, Dec. 2021. Accessed: Feb. 21, 2024. [Online]. Available: <https://www.intel.com/content/www/us/en/content-details/795011/lidar-3d-point-cloud-processing-and-sensor-fusion-based-on-intel-architecture-for-c-v2x.html>
- [17] 雷鸣, 程加钢, 姜荣华, "基于英特尔® 架构的集和诚® MEC 设备加速车联网的商用部署," 英特尔® 解决方案白皮书, 2020 年 12 月。下载链接: <https://www.jhctech.com.cn/static/upload/file/20230530/1685427094720517.pdf>
- [18] M. Lei, J. Cheng and R. Jiang, "MEC Equipment Based on Intel® Architecture Accelerate V2X Commercial Deployment," Intel Solution White Paper, Dec. 2020. [Online]. Available: [https://www.jhc-technology.com/pdf/21573/Intel\\_JHCTECH\\_MEC\\_solution.pdf](https://www.jhc-technology.com/pdf/21573/Intel_JHCTECH_MEC_solution.pdf)
- [19] 雷鸣, 周长军, 姜荣华, "基于英特尔® AI 计算机视觉的新创中天® 智能交通侧视频边缘计算设备," 英特尔® 解决方案白皮书, 2020 年 9 月。网页版链接: <https://www.7its.com/index.php?m=home&c=View&a=index&aid=13062>
- [20] M. Lei, C. Zhou and R. Jiang, "Intelligent Transportation Roadside Video Edge Computing (RVEC) Equipment based on Intel® AI Computer Vision," Intel Solution White Paper, Sept. 2020. [Online]. Available: <https://www.intel.cn/content/www/cn/zh/internet-of-things/zenith-intelligent-edge-computing-equipment.html>
- [21] 雷鸣, 程加钢, 姜荣华, "英特尔与集和诚协同打造基于英特尔® 架构的 ETC 解决方案," 英特尔® 解决方案白皮书, 2020 年 11 月。下载链接: <https://www.intel.cn/content/dam/www/public/cn/zh/documents/iot/20200316-itl-tech-etc-s011-solution.pdf>
- [22] M. Lei, J. Cheng and R. Jiang, "ETC Solutions Based on Intel® Architecture," Intel Solution White Paper, Nov. 2020. [Online]. Available: <https://www.jhc-technology.com/pdf/21574/>
- [23] "掌静脉特征识别加速城轨交通运行效率助力实现智慧通行," 英特尔® 解决方案白皮书, 2022 年 12 月。网页版链接: [http://www.realbom.com/page64?article\\_id=321&\\_l=zh\\_CN](http://www.realbom.com/page64?article_id=321&_l=zh_CN)
- [24] "Palm Vein Recognition Improves Urban Rail Transit Efficiency and Empowers Smart Transportation," Intel Solution White Paper, Dec. 2022. Accessed: Feb. 21, 2024. [Online]. Available: <https://www.intel.com/content/www/us/en/content-details/763546/palm-vein-recognition-improves-urban-rail-transit-efficiency-and-empowers-smart-transportation.html>
- [25] "收费车型精准识别, 实现高效缴费稽核: 小神瞳收费车型识别系统赋能智慧交通建设," 英特尔® 解决方案白皮书, 2022 年 4 月。下载链接: <https://www.intel.cn/content/www/cn/zh/internet-of-things/accurate-car-id-achieve-efficient-payment-audit.html>
- [26] "Precise Identification of Vehicles Ensures Efficient Tolling Systems," Intel Solution White Paper, Apr. 2022. Accessed: Feb. 21, 2024. [Online]. Available: <https://www.intel.com/content/www/us/en/content-details/795649/precise-identification-of-vehicles-ensures-efficient-tolling-systems.html>

## 关于雷森

苏州雷森电子科技有限公司成立于 2018 年，是领先的路侧感知产品与解决方案供应商。雷森创始人长期专注于雷达技术的研究，拥有从二十世纪四十年代起家族三代在雷达技术领域的技术传承。企业核心团队成员具有二十多年积累的，应用于多种场景的数十种雷达的研发、生产及市场化经验，并将持续以先进的技术和对事业执着的信念服务于现代信息化产业。如需了解更多信息，请访问官方网站 <https://www.raysunradar.com/>。

## 关于英特尔

英特尔 (NASDAQ: INTC) 作为行业引领者，创造改变世界的技术，推动全球进步并让生活丰富多彩。在摩尔定律的启迪下，我们不断致力于推进半导体设计与制造，帮助我们的客户应对最重大的挑战。通过将智能融入云、网络、边缘和各种计算设备，我们释放数据潜能，助力商业和社会变得更美好。如需了解英特尔创新的更多信息，请访问英特尔中国新闻中心 [newsroom.intel.cn](http://newsroom.intel.cn) 以及官方网站 [intel.cn](http://intel.cn)。



实际性能受使用情况、配置和其他因素的差异影响。更多信息请见 [www.intel.com/PerformanceIndex](http://www.intel.com/PerformanceIndex)

性能测试结果基于配置信息中显示的日期进行测试，且可能并未反映所有公开可用的安全更新。详情请参阅配置信息披露。没有任何产品或组件是绝对安全的。

具体成本和结果可能不同。

英特尔技术可能需要启用硬件、软件或激活服务。

英特尔未做出任何明示和默示的保证，包括但不限于，关于适销性、适合特定目的及不侵权的默示保证，以及在履约过程、交易过程或贸易惯例中引起的任何保证。

英特尔并不控制或审计第三方数据。请您审查该内容，咨询其他来源，并确认提及数据是否准确。

© 英特尔公司版权所有。英特尔、英特尔标识以及其他英特尔商标是英特尔公司或其子公司在美国和/或其他国家的商标。其他的名称和品牌可能是其他所有者的资产。