

# Technical White Paper

## 基于 AM62A 的摄像头后视镜系统



Jianzhong Xu, Tarkesh Pande

### 摘要

本白皮书介绍了如何在汽车级摄像头后视镜系统中使用 AM62A 片上系统 (SoC)。

### 内容

1 引言	2
2 AM62A 处理器	2
3 视觉预处理加速器 (VPAC)	3
3.1 视觉成像子系统 (VISS)	4
3.2 镜头失真校正 (LDC) 块	4
3.3 多标量 (MSC) 块	4
4 深度学习加速	5
5 摄像头后视镜系统数据流和延迟	5
6 端到端功能安全	6
7 示例演示	6
7.1 硬件设备	6
7.2 软件组件	7
7.3 延迟测量	8
7.4 未来的延迟改进	8
8 总结	8
9 参考文献	8

### 插图清单

图 1-1. 采用 AM62A 的后视摄像头设计示例	2
图 2-1. AM62A 简化方框图	3
图 3-1. VPAC 方框图	4
图 3-2. 球面镜像仿真示例	4
图 5-1. 摄像头后视镜系统的典型数据流	5
图 7-1. CMS 演示硬件设置	7
图 7-2. CMS 演示软件栈	7
图 7-3. 玻璃到玻璃延迟测量	8

### 表格清单

表 4-1. AM62A 在 850MHz 下使用 C7、MMA 时的深度学习性能示例	5
表 5-1. 摄像头到显示屏延迟估算	5

### 商标

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited.

MIPI® is a registered trademark of Mobil Industry Processor Interface Alliance.

Sony® is a registered trademark of SONY Corporation.

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

摄像头后视镜系统使用摄像头和显示屏取代了车辆中的传统物理后视镜。摄像头后视镜系统 (CMS) 使用安装在车辆外部的摄像头实时捕获周围环境的视频源，并在显示屏 (位于之前放置传统后视镜的位置) 上显示捕获的信息。与传统视镜相比，CMS 具有多种优势，例如提供更宽广的视场、减少盲点以及增强可见性，尤其是在具有挑战性的驾驶条件下。CMS 还提供图像增强、弱光可见性以及行人和车辆接近警告等高级功能。最近，联合国欧洲经济委员会 (UNECE) 制定了联合国第 151 号条例<sup>(1)</sup>，其中规定了就用于探测自行车的盲点信息系统 (BSIS) 对机动车辆审批的具体要求和标准。下一代 CMS 系统不仅需要能够满足当前和新的监管标准，还需要能够适应快速变化的形势。

本文介绍了 AM62A 处理器中的功能如何实现下一代汽车摄像头系统设计。本文还重点介绍了设计 CMS 系统时的一些关键参数 (例如延迟和功能安全)，以及如何在考虑这些参数的情况下设计出 AM62A。AM62A 适用于商业卡车中的 1-1-1 摄像头系统，例如后视镜或智能侧视镜。约定 1-1-1 代表 1 个摄像头、1 个处理器和 1 个显示器。图 1-1 显示了典型的示例配置。摄像头通常远离显示单元，在汽车应用中，FD-Link 通常用于实现摄像头数据传输。

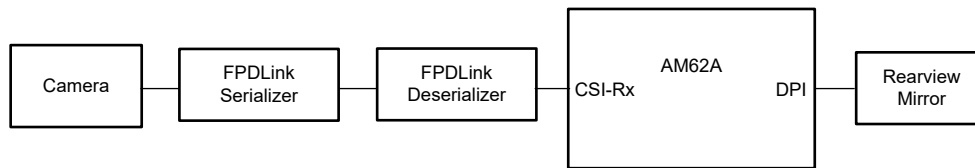


图 1-1. 采用 AM62A 的后视摄像头设计示例

## 2 AM62A 处理器

图 2-1 显示了 AM62A 微处理器。该处理器是一款异构处理器，专为摄像头分析应用而设计。不同的硬件加速器针对不同的任务进行了优化，从而优化功耗和成本以及占用空间。

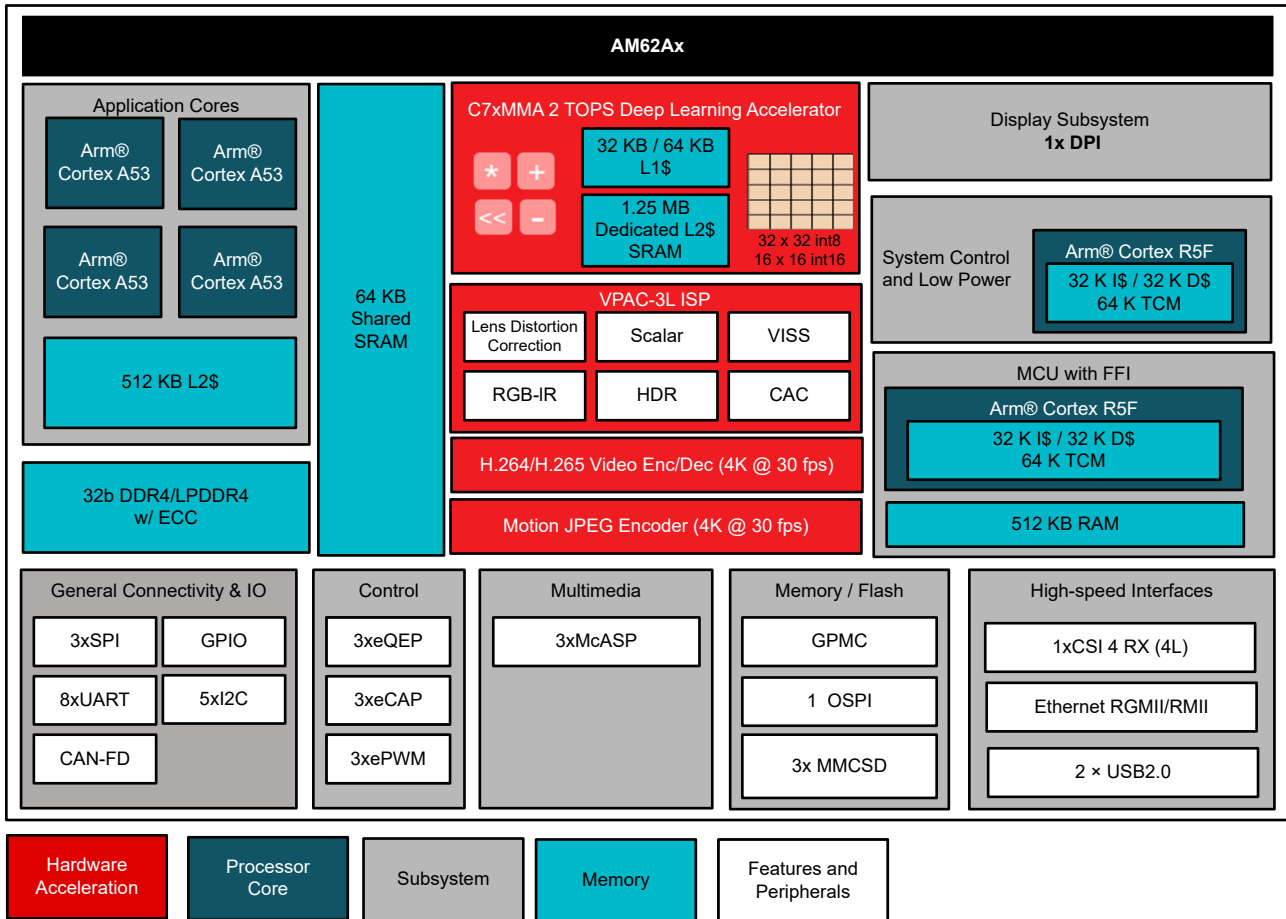


图 2-1. AM62A 简化方框图

AM62A 中来自 CMS 上下文的主处理、计算和接口子系统如下所示：

- 四个 Arm® Cortex®-A53 内核：这些内核的运行频率最高可达 1.4GHz，并提供高达 16.8k Dhrystone 每秒百万条指令 (DMIPS) 的性能。
- C7x 数字信号处理器 (DSP) 和矩阵乘法加速器 (MMA)：TI AM62A 上的深度学习加速器在时钟频率为 1GHz 时，支持 2 万亿次运算/秒 (TOPS)。
- 视觉预处理加速器 (VPAC3L)：使用 TI 的最新一代图像信号处理器 (ISP) 技术执行图像操作，其中一些示例包括颜色转换、色差校正、金字塔缩放和镜头失真校正。VPAC3L 的总吞吐量高达 300MP/s。
- 摄像头串行接口 (CSI-2 Rx)：符合移动行业处理器接口 (MIPI®) CSI-2 v1.3 标准的 CSI-2 RX 接口，支持 1、2、3 或 4 数据通道模式，每通道速率高达 1.5Gbps。
- 显示子系统和 DPI 接口：显示子系统能够以 2MP (60fps) 的典型配置驱动单个显示屏。像素时钟支持设置为 165MHz。DPI 支持 24 位 RGB 并行接口。

### 3 视觉预处理加速器 (VPAC)

AM62A 器件上的 VPAC 子系统提供通用视觉基元功能，用于在像素级执行的图像数据处理。VPAC 中共有三个子模块：视觉成像子系统 (VISS)、镜头失真校正 (LDC) 块和多标量 (MSC) 块，如图 3-1 所示。VPAC 还包括一个成像管，该成像管可以与外部摄像头传感器集成以在动态模式下工作，也可以在存储器到存储器模式下工作。MSC 和 LDC 可以在上游块完成处理后立即开始处理。

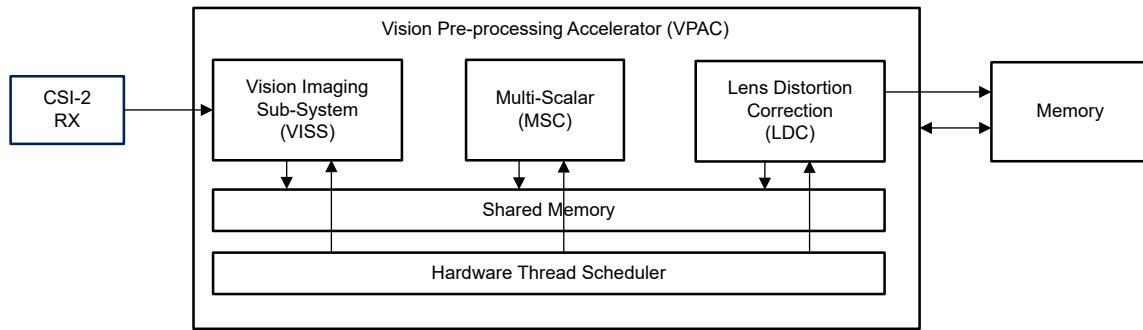


图 3-1. VPAC 方框图

### 3.1 视觉成像子系统 (VISS)

VISS 对原始数据进行图像处理，其中包括宽动态范围 (WDR) 合并、缺陷像素校正 (DPC)、镜头阴影校正 (LSC)、全局和局部亮度和对比度增强 (GLBCE)、去马赛克、颜色转换和边缘增强 (EE)。VISS 可以在动态模式或存储器到存储器模式下对传感器数据进行操作：

- 动态模式：摄像头数据直接传输到 VPAC 进行处理，而不会首先存储到存储器中。通过将 VISS 内的成像管与外部摄像头传感器集成来启用该模式。
- 存储器到存储器模式：摄像头数据存储到存储器中，VPAC 从存储器读取数据，然后处理数据。

从 Processor SDK 版本 9.0 开始，仅支持存储器到存储器模式。未来的 SDK 版本将支持动态模式。

除了执行原始图像处理之外，VISS 还会计算图像统计信息，并支持自动对焦 (AF)、自动曝光 (AE) 和自动白平衡 (AWB) 的控制环路。

### 3.2 镜头失真校正 (LDC) 块

LDC 是一款专用硬件加速器，能够进行灵活的透视变换。这些转换是必要的，因为在构建监视器上显示的最终镜像视图时考虑了以下因素：

- 输入鱼眼镜头失真校正
- 驾驶员视角调整
- 以数字方式仿真非球面侧视镜像效果

在图 3-2 中，非球面镜像仿真可水平压缩视图的右侧，使更宽的视图适合较小的 CMS 监视器。



图 3-2. 球面镜像仿真示例

### 3.3 多标量 (MSC) 块

MSC 可以根据给定输入以各种缩放比例 (1 × 到 0.25 × 之间) 生成最多 10 个缩放输出。10 个缩放操作均可配置为执行金字塔缩放或倍频程间的缩放生成。

## 4 深度学习加速

新一代 CMS 系统需要能够可靠地识别车辆、自行车和行人，并能够提供接近警告。深度学习对于汽车环境中的这些任务非常有效，因为它能够处理诸如规模、视点和照明条件等变化，从而能够实现强大的检测性能。TI 的深度学习加速器是 C7x，这种 MMA DSP 引擎能够提供高达 2TOPS 的性能。借助 TI 提供的模型分析器和模型选择工具<sup>(2)</sup>，第三方感知堆栈提供商能够在每秒帧数和准确性方面具有最大优势的深度学习模型。例如，表 4-1 展示了使用 SSDLite-MobDet-EdgeTPU 模型在 60fps 运行时实现的性能优势。此模型可在 TI 的 edgeai-modelzoo<sup>(3)</sup> 中找到。

表 4-1. AM62A 在 850MHz 下使用 C7、MMA 时的深度学习性能示例

型号	分辨率	目标 FPS	CoCo 数据集上的 MAP 精度	延迟 (ms)	深度学习利用率	DDR 带宽利用率
SSDLite-MobDet-EdgeTPU	320 × 320	60	29.7	8.35	50%	1.09GB/s

## 5 摄像头后视镜系统数据流和延迟

在摄像头后视镜系统中，来自摄像头的图像数据通常会通过 CSI-2 RX 接口、ISP、深度学习引擎，最终到达显示屏。图 5-1 显示了 AM62A 器件上的数据流。

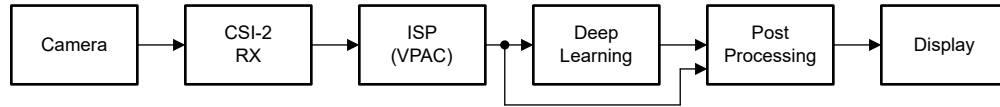


图 5-1. 摄像头后视镜系统的典型数据流

对于摄像头后视镜应用，摄像头到显示屏的延迟（即所谓的玻璃到玻璃延迟）必须尽可能小。数据流中的每个块都会导致延迟。AM62A SoC 具有以下与众不同的特性，可实现更优延迟：

- 高吞吐量 ISP：三个 VPAC3L 模块中的每个模块每个时钟周期可处理 1 个像素，计算开销后最高可达 300MP/秒。
- ISP 动态模式：在该模式下运行时，VISS 会动态处理摄像头数据，而无需等待整个数据帧可用。
- 高性能深度学习加速器：C7x、MMA 深度学习加速器具有 2TOPS 处理能力。
- DDR 子系统支持高达 3733MT/s 的速率。

表 5-1 显示了在图 5-1 所示数据路径中的块之后，累积了延迟时间的块的示例分析。使用以 60fps 速率运行的 2.1MP (1936 × 1100) 传感器进行分析。每个块引入的延迟按如下方式估算：

- 在 60fps 时，帧持续时间为 16.67ms。
- 该分析假设 VISS 以存储器到存储器模式（而非动态模式）运行。因此，VISS 必须等到整个帧可用后才能开始处理。
- 每个 VISS、LDC 和 MSC 的处理时间用  $1936 \times 1100 \text{ Pixels} / 300\text{MP/s} = 7\text{ms}$  来估算。稳妥起见，将每个块的配置时间视为 1ms。因此，每个块的总延迟约为 8ms。
- 根据节 4，深度学习延迟估计为 8ms。

表 5-1. 摄像头到显示屏延迟估算

传感器 1936 × 1100 (60fps)	帧 0						
CSI2-RX		帧 0					
VISS			帧 0				
LDC				帧 0			
MSC					帧 0		
深度学习						帧 0	
显示屏							帧 0
时间 (ms)	0	16.67	24.67	32.67	40.67	48.67	65.33



如本分析所示，图 5-1 中所示数据流的总延迟约为 65ms，对于典型的摄像头后视镜系统足够了。

## 6 端到端功能安全

在 CMS 系统中，确保整个软件链和帧采集过程（从图像传感器开始，到显示器结束）正常运行并具有预期性能至关重要。有必要检测可能导致静态帧显示（通常称为帧冻结）的任何问题并立即提醒驾驶员。可以使用两种方法来检测帧冻结情况：

1. CRC 签名比较当前显示的帧存储回存储器中，并使用 CRC 模块生成唯一的签名。比较连续的 CRC 签名以确定帧冻结的状态。
2. 帧统计数据 and 元数据比较：帧统计数据（包括帧编号和时间戳等元数据）与帧一起通过显示接口进行传输。在接收端，从多个连续帧中提取元数据并进行比较，以确定是否存在帧冻结。

这些监控技术可确保帧的连续准确显示，从而为驾驶员提供可靠且视觉一致的体验。

## 7 示例演示

本文提供了一个示例演示，用于展示适用于摄像头后视镜应用的 AM62A SoC 的功能。在本演示中，原始视频数据通过摄像头进行采集，在 AM62A SoC 上进行处理，然后发送到显示屏。摄像头通过 FAKRA 电缆连接到 AM62A SoC，以模拟摄像头放置在远离处理器的位置的实际用例。

### 7.1 硬件设备

此演示的硬件设备包括：

- AM62A 入门套件评估模块 (EVM)<sup>(4)</sup>
- FPD-Link III 摄像头模块，配有 Sony® IMX390 图像传感器和具有 190° 视场 (FOV) 的镜头，并以 1936 × 1100 的分辨率和 60fps 的帧速率运行
- 兼容 FPD-Link III 的 FAKRA 电缆，可连接距离 AM62A SoC 最远 15m 的摄像头
- DS90UB954-Q1 解串器 EVM，用于将 IMX390 摄像头模块连接到 AM62A 入门套件 EVM
- 12.6 英寸宽屏幕后视显示屏

图 7-1 所示为该演示的完整设置。

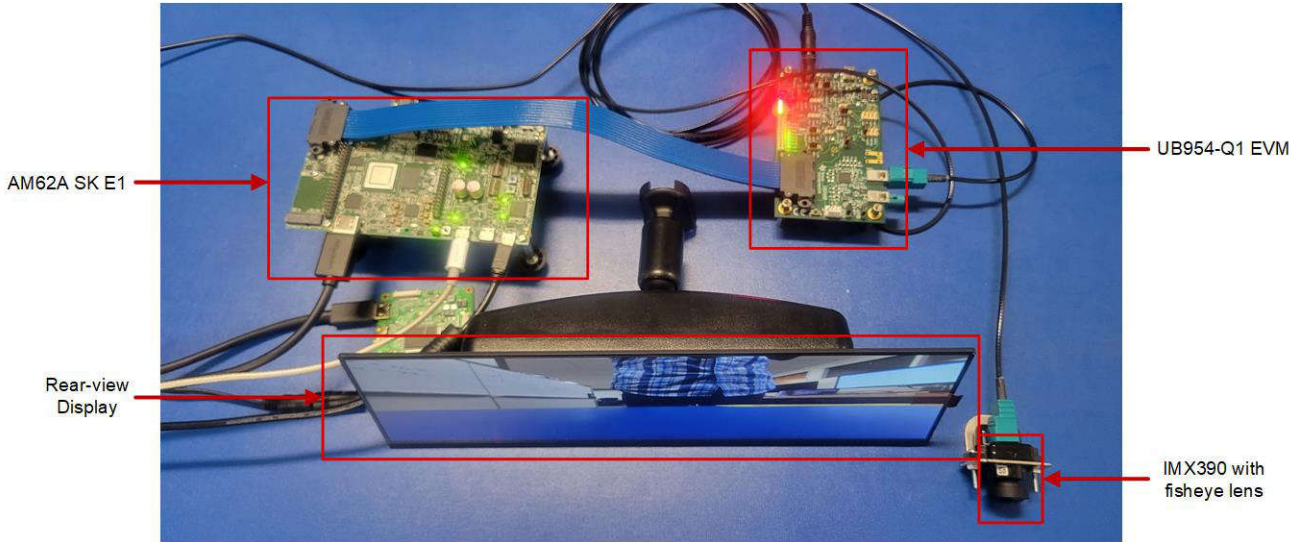


图 7-1. CMS 演示硬件设置

## 7.2 软件组件

下面列出了本演示的软件组件，如图 7-2 所示：

- QNX SDK
- 传感器驱动器、串行器和解串器驱动器、CSI2-RX 驱动器
- 运行所有处理块的 VPAC 驱动程序：VISS、LDC 和 MSC
- 自动曝光 (AE) 和自动白平衡 (AWB) 算法
- 显示驱动程序
- 基于 TI OpenVX 的视觉应用，用于执行视频流式传输
- (本次演示不包含深度学习)

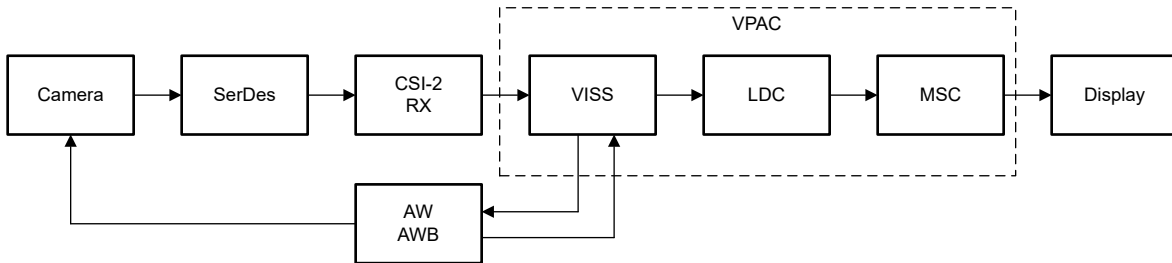


图 7-2. CMS 演示软件栈

## 7.3 延迟测量

本演示的玻璃到玻璃延迟是通过以流方式测量数字秒表并计算实际秒表与显示秒表之间的时间差来测得的。图 7-3 展示了延迟测量示例。

- 实际的实时秒表在拍摄时显示的是 09:52:32。
- 所显示的秒表在拍摄照片时显示的是 09:52:26。
- 显示的秒表比实际秒表滞后了 60ms，这被认为是玻璃到玻璃的延迟。

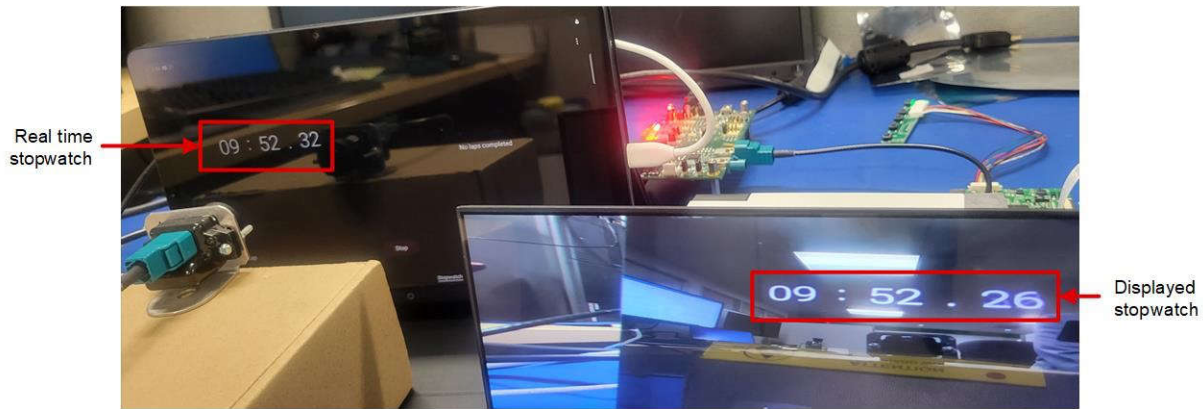


图 7-3. 玻璃到玻璃延迟测量

该演示未执行深度学习分析，因此延迟不包括深度学习处理引入的内容。根据表 5-1，如果没有深度学习块，总延迟为 57ms。考虑到测量误差，测得的 60ms 延迟非常接近估算值。

## 7.4 未来的延迟改进

节 7.3 中所述的演示可实现 60ms 的玻璃到玻璃延迟（不包括深度学习相关处理）。采用以下改进措施可进一步缩短延迟：

- 使用 VPAC 的动态模式，可使延迟时间缩短幅度达到摄像头数据累积时间或 VISS 处理时间（以较短者为准）。例如，在 2.1MP 传感器以 60fps 运行时，利用动态模式可将延迟时间缩短 8ms（即 VISS 的处理时间）。
- 移除 MSC。尽管 VPAC 的 LDC 块不如 MSC 灵活，且不进行抗混叠滤波，但也可以调整图像大小。对于某些应用，可以只使用 LDC 来调整图像大小，而不使用 MSC。在这种情况下，2.1MP 传感器以 60fps 运行时，延迟时间可以缩短 8ms（即 MSC 处理时间）。

## 8 总结

本白皮书介绍了使用 AM62A 处理器构建的摄像头后视镜系统设计。AM62A 具有图像信号处理器和深度学习加速器等独特功能，为构建低成本、低功耗的高性能摄像头后视镜系统解决方案提供了所需的条件。针对本文中的演示，未来开发方向包括纳入深度学习分析和进一步改进延迟。

## 9 参考文献

1. [UN Regulation No. 151 - Blind Spot Information System for the Detection of Bicycles](#)
2. 德州仪器 (TI)，[模型分析器 \(Edge AI\)](#) (需要登录)
3. [TI 的 edgeai-modelzoo](#)
4. 德州仪器 (TI)，[SK-AM62A-LP 工具页](#)



## 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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司