

Technical White Paper

AM62A 上的驾驶员和乘客监控系统



Tarkesh Pande, Kazunobu Shin, and Neelima Muralidharan

Sitara MPU

摘要

本技术白皮书介绍了如何使用 AM62A 处理器来构建汽车级驾驶员和乘客监控系统。

内容

1 引言.....	2
2 AM62A 处理器.....	2
3 系统方框图.....	4
4 驾驶员和乘客后视镜系统数据流.....	5
5 深度学习加速.....	5
6 使用 AM62A 的 DMS/OMS 应用中的功能安全.....	7
6.1 AM62A 上的功能安全特性概述.....	7
7 功能安全目标和使用假设.....	8
8 DMS/OMS 数据流中的功能安全.....	8
9 LED 驱动器照明用例.....	10
10 总结.....	10
11 参考文献.....	10

插图清单

图 2-1. AM62A 简化方框图.....	3
图 3-1. AM62A 的 DMS/OMS 系统方框图.....	4
图 4-1. AM62A 的 DMS/OMS 数据流.....	5
图 6-1. AM62A 功能安全特性概述.....	7
图 8-1. 具有硬件提供的安全机制的 DMS/OMS 数据流.....	8
图 9-1. LED 驱动器照明用例.....	10

表格清单

表 5-1. AM62A 在 850MHz 下使用 C7/MMA 时的 CNN 性能示例.....	6
表 8-1. DMS/OMS 数据流中的数据流注意事项.....	9

商标

Sitara™ is a trademark of Texas Instruments.

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited (or its subsidiaries) in the US and/or elsewhere.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

新车安全评鉴 (NCAP) 规程是用于评估新车安全性能的一组标准和测试程序。全球所有地区均已实施 NCAP 计划, 包括美国、欧洲、澳大利亚和日本等。驾驶员监控系统和乘员监控系统通过增强车辆安全和乘员保护, 在符合 NCAP 法规方面发挥着关键的作用, 并直接影响车辆的安全等级。

驾驶员监控系统 (DMS) 会监控驾驶员的注意力、警觉性和行为, 以确保他们积极参与到驾驶任务中。这些系统通常部署基于摄像头的算法和计算机视觉算法, 以检测驾驶员分心、困倦或损伤的迹象。DMS 系统还可以与其他车辆安全功能 (如车道偏离警告和自适应巡航控制) 集成, 以提高其有效性。

乘客监控系统 (OMS) 旨在检测是否存在车辆乘员, 不仅包括乘客, 某些情况下还包括宠物。这些系统通常也是基于摄像头, 并使用深度学习算法来确定安全带是否已扣好、特定座椅上是否有乘员 (针对安全气囊部署) 以及乘员是否满足某些要求 (例如儿童座椅)。OMS 系统可以提醒系好安全带, 或根据乘员的体重或身高调整安全气囊部署, 从而帮助防止或尽可能减少伤害。这些系统对儿童乘员保护评估尤其有用, 有助于提高车辆的安全等级。

本文档概述了 AM62A 处理器。接下来, 展示其异类架构如何以超低的计算和功耗实现 DMS 和 OMS 算法部署。本文介绍了典型的 DMS/OMS 数据流, 并讨论了如何在 DMS/OMS 系统中使用 AM62A 中的硬件功能集。本文还重点介绍了硬件方面的创新 (如处理 RGB-IR 传感器的能力), 这些创新有助于利用单个摄像头创建完整的 DMS/OMS 系统。任何汽车系统中的一个关键方面都是功能安全, 我们展示了使用 AM62A 构建 DMS/OMS 系统时需要考虑的不同功能安全注意事项。

2 AM62A 处理器

AM62A 微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。TI 的图像信号处理器 (称为视觉处理加速器, VPAC)、四个 Arm® Cortex®-A53 内核以及 TI 专有的 C7x DSP 和矩阵乘法加速器 (MMA) 一起构成了 AM62A Sitara™ MPU, 非常适合基于视觉的应用, 如驾驶员和乘客监控以及相关的眼部监测领域。

AM62Ax 的功能安全合规性是另一个差异化因素, 使 OEM 和一级供应商能够在集成了 AM62A 的汽车或工业系统上实现安全功能。借助该器件, 系统集成商可以针对安全用例 (例如监控驾驶员的睡眠/警觉性、车内儿童检测等) 以及舒适功能 (驾驶员识别、HMI 交互、车载视频通话等) 提供出色的解决方案。AM62Ax 器件旨在确保符合 ISO-26262 ASIL-B 和 IEC-61508 SIL-2 (随机故障完整性) 以及 ASIL-D/SIL-3 (系统功能) 安全标准。各种片上诊断、防止干扰功能以及用于安全监控的嵌入式 MCU 域, 可通过在同一器件上启用应用处理以及安全功能来降低总体 BOM 成本。

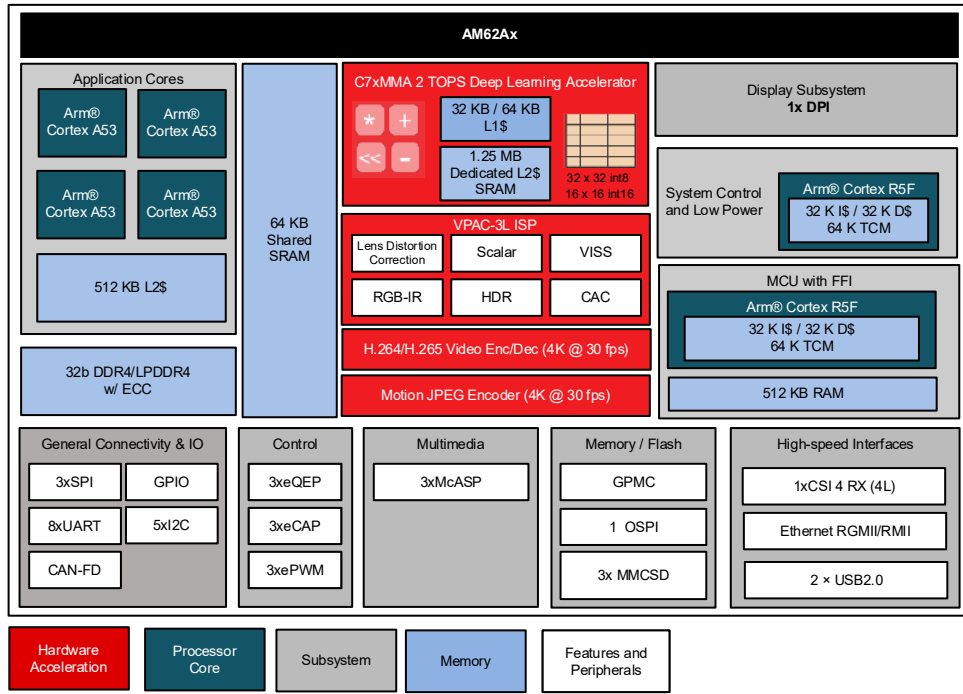


图 2-1. AM62A 简化方框图

AM62A 中来自摄像头后视镜系统环境的主要处理和计算子系统如下所示：

- 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。
- C7 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 2TOPS 运算。
- 视觉处理加速器 (VPAC3L)：使用 TI 的全新一代 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。它还为 4x4 RGB-IR 色彩滤波阵列 (CFA) 提供专用硬件支持，这是下一代 DMS/OMS 系统的必备功能。VPAC3L 的总吞吐量高达 300MP/s。
- VPU：视频处理单元支持 H.264/H.265 编码/解码，总吞吐能力高达 240MP/s。

3 系统方框图

图 3-1 显示了基于 AM62A 处理器的典型 DMS/OMS 系统方框图。

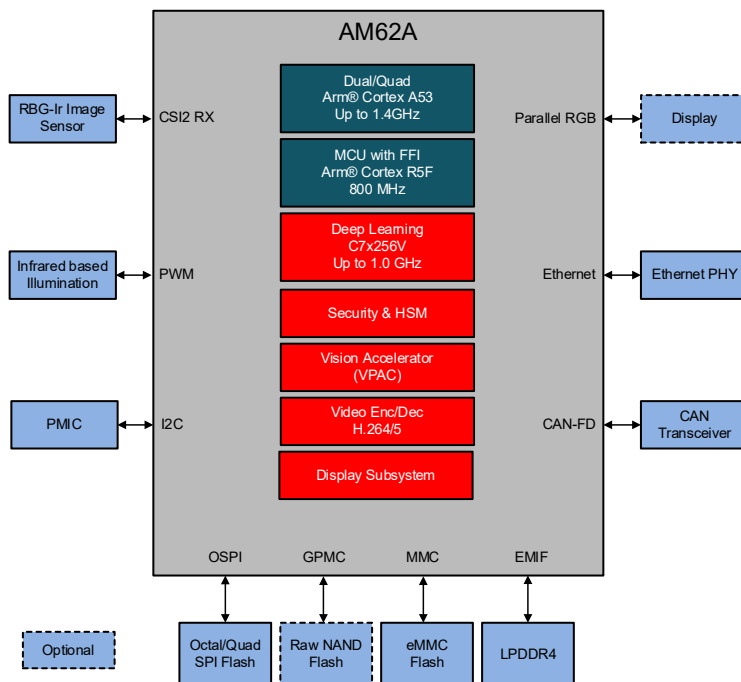


图 3-1. AM62A 的 DMS/OMS 系统方框图

CSI2 RX 接口提供了一个单端口 4 通道接口，每个通道的带宽为 1.5Gbps。该接口可以通过外部 FPD-Link 集线器器件处理 5MP@60fps RGB-IR 传感器或多个传感器输入所需的带宽。AM62A 处理器整合了处理内核和外设来构成 DMS/OMS 系统，同时更大限度地减少紧凑型电路板和外壳空间（如后视镜系统中）的物料清单 (BOM)。它整合了 Cortex-R5F 内核和外设（包括 CAN-FD 控制器），以运行隔离式 AutoSAR OS 来实现系统控制，同时确保不受干扰。以前，传统系统依靠外部 MCU 来实现此目的，但 AM62A 通过将 MCU 岛与 FFI 集成来减小系统尺寸并降低成本。它还支持将各种闪存器件作为启动源，使系统设计人员能够选择满足系统成本或启动时间要求的闪存器件。确保精确和安全的红外照明对于监控至关重要，即使在汽车内充满挑战性的照明条件下也不例外。ASIL-B 系统要求意味着，系统必须能够检测和控制在单个 IR 照明脉冲内的最大电流和脉冲宽度。为此，需要与传感器精确同步。为了控制 DMS/OMS 系统中的照明系统和机械部件，需要多个 PWM 信号。得益于 ePWM、eCAP 和计时器模块，AM62A 能够支持超过 9 个 PWM 输出信号，可以为先进的 DMS/OMS 系统提供充足的控制信号。集成以太网控制器支持多达两个端口，并提供交换机和 TSN/AVB 功能来进行流量调度和整形。如果需要，配备了视频流水线和叠加功能的显示子系统可通过其 DPI 端口在屏幕上显示 DMS/OMS 系统状态。此外，德州仪器 (TI) 还开发了配套 PMIC，以支持 AM62A 所需的电源和电源序列。该 PMIC 包含诸如看门狗计时器等集成的功能安全特性，有助于以尽可能低的成本设计 ASIL-B 系统。

4 驾驶员和乘客后视镜系统数据流

图 4-1 展示了处理驾驶员和乘客监控系统的 5MP 60fps RGB-IR 传感器的完整数据流。

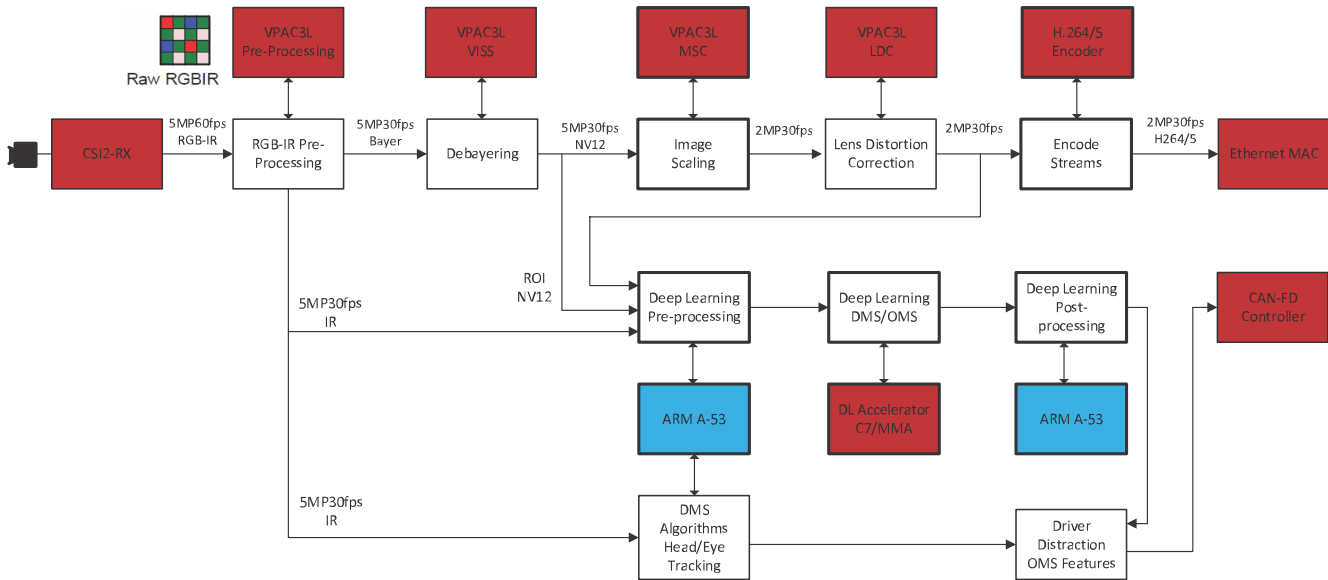


图 4-1. AM62A 的 DMS/OMS 数据流

通过 CSI2-RX 接收 RGB-IR 数据后，这些数据被馈送到新开发的 RGB-IR 预处理硬件（已集成到 AM62A 中）。该预处理硬件对 RGB 和 IR 分量进行实时分离。输出可以是每秒 30 帧的交替式 RGB Bayer 数据和 IR 数据（对应于白天模式），也可以是每秒 60 帧的 IR 数据（对应于夜间模式）。

接收到的 5MP@30fps Bayer 数据由 VPAC 内的视觉成像子系统 (VISS) 模块进行处理。VISS 模块会生成 RGB 数据或 YUV 数据，具体取决于所需的图像数据格式。这种选择需要考虑诸如总体存储器带宽要求、图像质量注意事项或输入格式与后续图像处理模块的兼容性等因素。在此特定示例中，使用了 NV12 格式。

然后，使用多标量 (MSC) 模块将 VISS 模块的输出按比例缩小至进行视频流式传输或录制所需的图像分辨率。多标量模块能够在一次过程中生成多个金字塔缩放。为了校正因驾驶员监控系统 (DMS) 或乘客监控系统 (OMS) 中使用的广角镜头而导致的任何镜头失真，按比例缩小的图像由镜头失真校正 (LDC) 模块进行处理。

为了实现视频流传输，应使用 H.264/265 视频编码和解码硬件将 2MP@30fps 视频流编码为相应的 H.264/265 格式。然后，可以通过以太网传输这一经过处理的视频流。

从传感器获取的 IR 数据主要用于驾驶员的注视跟踪（眼睑和注视）和头部跟踪。检测眼睑张开和闭合需要至少 30fps 的处理速率，这是疲劳检测所需的一个关键统计数据。无论是经典的计算机视觉技术还是深度学习分析方法，均可用于检测眼睛和眼睛周围的关键点。经典的计算机视觉算法可以在 Arm Cortex-A53 内核上实现，而基于卷积神经网络的深度学习方法可以在 C7/MMA 上实现。DMS 任务通常需要以至少 30fps 的速率处理，而 OMS 任务只需以 1fps - 5fps 的速率执行。

AM62A 是一款异构处理器，支持专用于运行 DMS/OMS 算法的不同计算内核。C7x/MMA 是一款新型硬件深度学习引擎，能够提供高达 2 万亿次每秒运算 (TOPS) 的计算能力。这款深度学习引擎经过优化可实现低功耗，可在后视镜等紧凑型外壳内实现高性能分析，而无需额外的冷却机制。

此外，添加的 Cortex-A53 内核可作为额外的硬件资源来运行 DMS 算法，这些算法已在 DMS 产品中的 AM62x 器件上得到验证和证实。当需要额外的信号处理功能时，除了 C7x/MMA 深度学习加速器之外，该附加内核还可提供补充性能。

5 深度学习加速

卷积神经网络 (CNN) 非常适合执行 DMS/OMS 系统中所需的多种计算机视觉任务。例如，对于 DMS 系统，第一步是要准确地识别驾驶员眼睛和嘴巴周围的关键点，以实现准确的注视跟踪和疲劳检测。驾驶员互动可能会涉及检测驾驶员的活动，例如，驾驶员手中是否有食物或是否在耳边接听电话，这两项都是物体检测任务。对于乘客

监控系统，可以将“后座中的儿童”框定为物体检测任务，而将针对驾驶员和乘客的安全带检查框定为语义分割问题。CNN 可以在 ARM-A53 内核以及 C7/MMA 深度学习加速器上运行。

AM62A 的深度学习加速器是 C7/MMA DSP 引擎，能够提供高达 2TOPS 的性能。它由一个浮点 C7- DSP 组成，此 DSP 与一个矩阵乘法加速器耦合，而该加速器能够在 1 个周期内将两个长度为 32 的 8 位矢量相乘。当时钟频率为 1GHz 并将 MAC 计为两次运算时，它每秒能够执行 $2 \times 32 \times 32 \times 1 \text{GHz} = 2$ 万亿次运算。矩阵乘法加速器是一种通用加速器，与 A-53 内核相比，在运行典型的卷积神经网络时可将速度提高约 50 倍。

AM62A 的 SDK 支持三种通用的运行时框架，用于部署和执行机器学习模型，也就是：a) tflite 运行时；b) ONNX 运行时；c) TVM。这样，用户可以在任何地方训练模型，并使用其中一个框架中的业界通用 Python 或 C++ 应用程序编程接口 (API)，只需使用几行代码即可将模型部署到硬件中。TIDL 编译工具负责处理将网络以最优方式映射到 AM62A 所需的所有存储器优化工作，从而使用户能够更专注于网络设计和选择。

TI 还提供了模型分析器和模型选择工具 [2]，这使第三方感知栈提供商能够选择可在每秒帧数和准确性方面提供更大优势的深度学习模型。例如，表 5-1 展示了使用 SSDLite-MobDet-EdgeTPU-Coco 模型在以 30FPS 的速率运行时实现的性能优势。

表 5-1. AM62A 在 850MHz 下使用 C7/MMA 时的 CNN 性能示例

型号	分辨率	目标 FPS	CoCo 上的 MAP 精度	延时 (ms)	深度学习利用率	DDR 带宽利用率
SSDLite-MobDet-EdgeTPU-coco	320x320	30	29.7	8.35	25%	504MB/s

6 使用 AM62A 的 DMS/OMS 应用中的功能安全

6.1 AM62A 上的功能安全特性概述

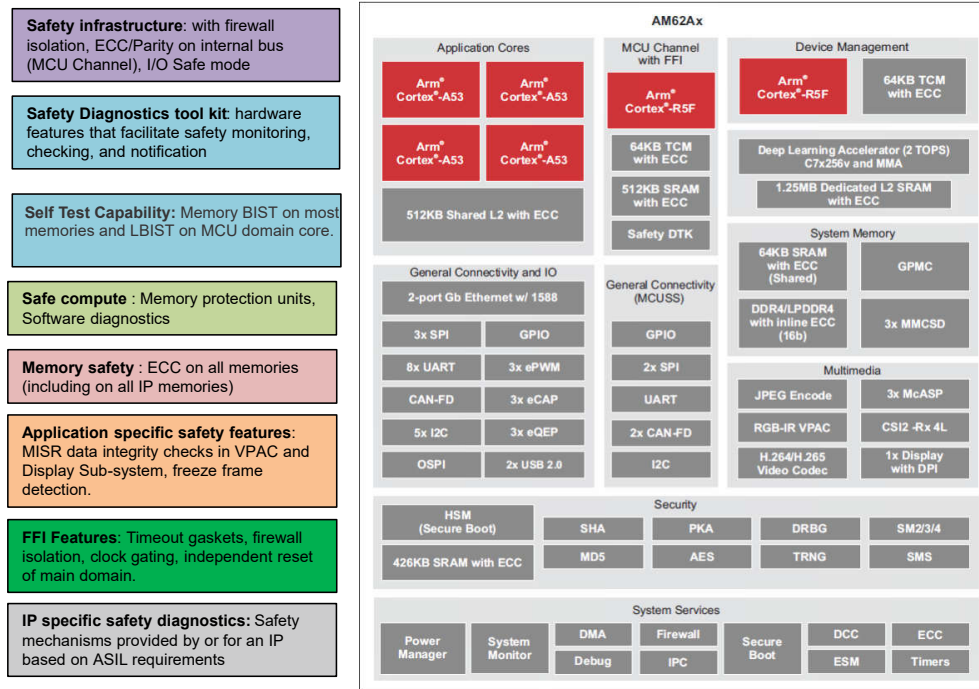


图 6-1. AM62A 功能安全特性概述

AM62A 与其他多种 Sitara MPU 系列符合功能安全标准的器件类似，可提供大量安全特性来满足汽车和工业应用的目标安全完整性等级。下面重点介绍了主要特性。

- 器件基础设施能够将器件划分为 MCU 域和主域：MCU 域用于实现安全密集型功能，而主域既可用于仅进行应用处理，也可用于组合实现应用处理和安全功能。安全基础设施包括防火墙隔离、MCU 域互连上的 ECC/奇偶校验和 I/O 安全模式。
- 安全诊断工具套件包含专用 IP，有助于实现安全监控、检测和报告。此类 IP 的示例包括 DCC - 双时钟比较器、内部看门狗、ECC 聚合器、MCRC - 存储器 CRC、ESM - 错误信号监控、VTM - 温度监控器、POK - 欠压和过压监控器等。这种专用诊断逻辑与内部中断路由相结合，能够在合理的 FTTI 内检测和报告故障。
- 自检功能包括多个存储器上的存储器 BIST 功能和 MCU 域内核上的 LBIST 功能。器件上还提供针对诸如 ECC/奇偶校验等诊断特性的测试。
- 存储器保护单元 (MPU) 和存储器管理单元等安全计算功能可为内核提供存储器保护。在安全手册中，建议使用诸如程序序列监控、软件互惠式比较等软件机制来检测 CPU 执行中的故障。
- 防火墙、超时垫圈、时钟门控特性以及硬件对主域独立复位的支持可提供防止干扰的能力。
- 可以在每个功能 IP 级别启用多项硬件和软件诊断，以满足应用特定的需求。例如，VPAC 和 DSS 中的 MISR 数据完整性检查、硬件提供的 CSI 协议检查等等。
- 可通过双时钟比较器、片上时钟丢失检测逻辑等启用共因故障检测和报告。

7 功能安全目标和使用假设

AM62A 的目标是使整个器件具有符合 ISO 26262 ASIL-B 标准和 IEC 61508 SIL-2 标准的随机故障完整性，以及符合 ASIL-D/SIL-3 (SC 3) 标准的系统功能。AM62A 是作为独立安全元素 (SEooC) 开发的。安全手册中提供了使用假设列表 (可根据要求提供)。

8 DMS/OMS 数据流中的功能安全

采用节 4 中所述的 DMS/OMS 数据流并对其进行分解，以了解如何利用特定于 IP 的功能安全诊断。请注意，安全机制可以是需要由系统集成商实施的硬件以及软件诊断机制的组合。

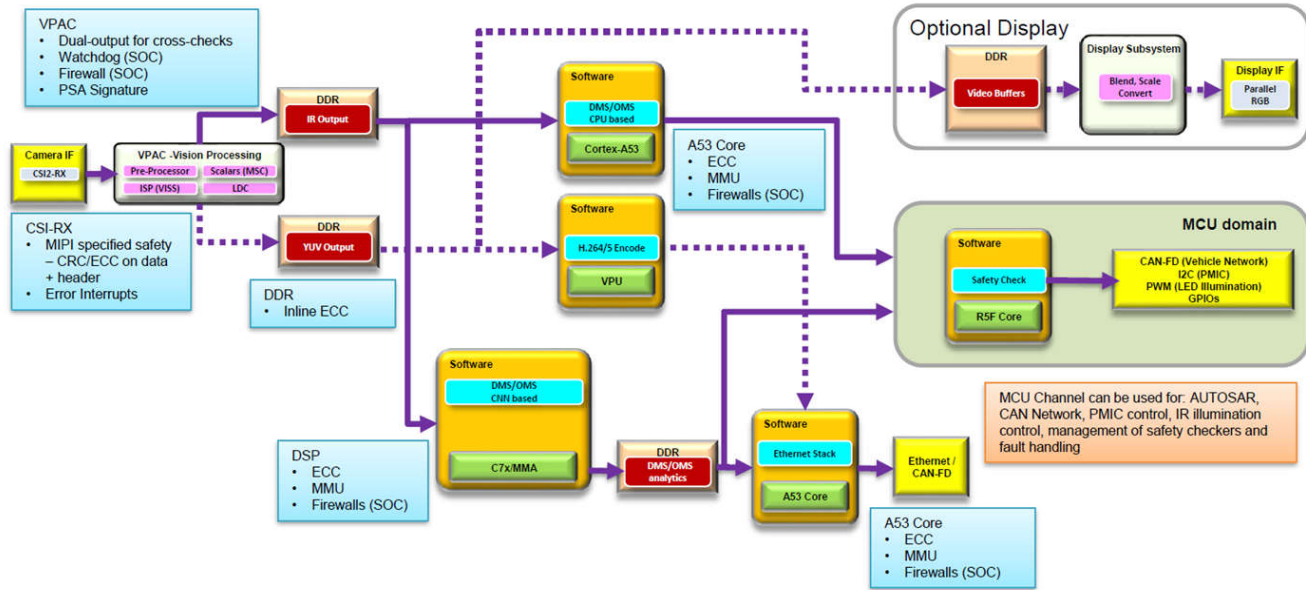


图 8-1. 具有硬件提供的安全机制的 DMS/OMS 数据流

备注

下面的分析假设数据流/应用的每个步骤都具有安全关键性。可能还采用其他概念，这些概念负责主域中的 QM 处理以及 MCU 域中的安全功能 (包括安全监控)。

备注

数据流中涉及的关键 IP 已列出。其他一些 IP 执行功能 (如 DMA、处理器间通信、启动) 尚未列出。此处显示的故障模式和安全机制是一组示例。有关符合所需安全完整性等级的安全机制组合的完整建议，请参阅“AM62Ax 功能安全手册”。

表 8-1. DMS/OMS 数据流中的数据流注意事项

数据流中的步骤	涉及的 IP 及故障模式	安全机制
1. 摄像机捕捉 RGB-IR 数据源	CSI-RX 未传输图像数据或图像损坏 在图像数据传输过程中挂起	硬件机制 - MIPI 指定的数据包协议检查、错误中断、RAM 数据的 ECC 保护、看门狗 软件机制 - 通过软件对帧内和帧间的像素进行处理
2. 将摄像机捕捉的数据传输到 DRAM，以便 VPAC 读取和处理以及存储经过处理的图像数据	DDR 由于 DDR 控制器故障或因 ASIL 功能降低而产生的干扰导致图像数据损坏	硬件机制 - DDR 控制器提供的多相 ECC，用于隔离的器件防火墙 软件机制 - 应用于图像数据的信息冗余技术
3. 对 RGB+IR 数据进行图像处理，并将数据分离为 RGB 流和 IR 流以供进一步分析	VPAC 图像数据损坏 挂起导致程序流不正确	硬件机制 - HWA (HTS) 计时器、内部看门狗计时器、VPAC 提供的 PSA 签名计算、关键存储器上的 ECC/奇偶校验 软件机制 - 通过软件对帧内和帧间的像素进行处理，黄金帧测试
4. 用于分析图像数据的基于 CNN 的计算，深度学习加速器	C7x 和 MMA 图像数据损坏 程序执行错误导致算法做出错误决策	硬件机制 - C7x 提供的 MMU、存储器上的 ECC、用于隔离的器件防火墙、专用看门狗 软件机制 - 使用在 A53 内核上运行的 DMS 算法的其他软件实现进行程序流监控或互惠式比较。 注意 - ISO 26262:2018-5 中建议使用软件机制，例如程序流监控和软件互惠式比较
5. 使用经典视觉技术运行且基于 CPU 的 DMS 算法 (可选 - 可用于交叉检查 C7x 内核执行)	A53 内核 程序执行错误导致算法做出错误决策	硬件机制 - MMU、存储器上的 ECC、用于隔离的器件防火墙、专用看门狗 软件机制 - 软件实现的程序流监控或互惠式比较、ARM 提供的 STL 机制。 注意 - ISO 26262:2018-5 中建议使用软件机制，例如程序流监控和软件互惠式比较
6. AUTOSAR 和 CAN 与外部 ECU 通信、PMIC 控制、IR 照明控制	MCU 通道 - MCU R5 内核、MCU 专用 CAN 由于内核无响应而在与外部 ECU 通信时发生故障 消息损坏 主域中的 ASIL 功能降低导致干扰 MCU 域功能 程序执行错误	硬件机制 - MCU R5 上的 ECC、CAN 存储器、MCU R5 内核上的 LBIST、CAN 协议特定的错误检测、用于隔离的 SOC 防火墙、主域和 MCU 域之间的隔离机制。 软件机制 - CAN 消息中的 CRC、内核上的程序序列监控、使用器件上另一个内核的互惠式比较

9 LED 驱动器照明用例

DMS/OMS 应用的一个延伸是需要通过提供适当的 LED 照明控制来保证眼睛安全。ASIL-B 是面向该应用的典型安全完整性等级。通过 LED 驱动器控制 LED 的软件驱动程序代码预计在 Cortex-R5 MCU 上运行。表 8-1 中列出的面向 MCU 域的安全机制将用于为在 Cortex-R5 上运行的软件驱动程序代码提供保护。图中显示的 LED 驱动器是系统集成商提供的外部元件。该 LED 驱动器也符合功能安全标准。LED 驱动器中的故障随后可进一步报告给 MCU R5。当从诸如 LED 驱动器等外部元件报告故障（可使用 GPIO 进行故障通信），或者从 AM62A 器件内的错误信号监控器报告内部故障时，Cortex-R5 MCU 上运行的软件可以采取必要的操作。

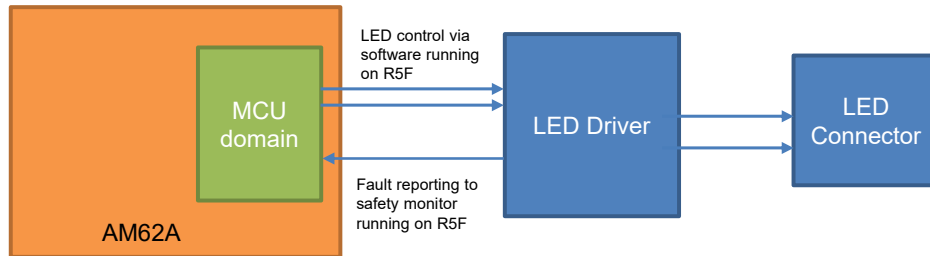


图 9-1. LED 驱动器照明用例

10 总结

本技术白皮书介绍了 AM62A 的使能特性，这些特性使其成为驾驶员和乘客监控系统的理想之选。文中概述了典型的 DMS/OMS 数据流以及关键操作如何映射到 62A IP 块。功能安全是任何汽车设计中的一项关键考虑因素，本文深入概述了 AM62A 如何满足功能安全要求。

11 参考文献

1. [AM62A3-Q1 产品文件夹](#)
2. [AM62A7-Q1 产品文件夹](#)
3. [模型分析器](#)
4. [AM62A 上的 SmartEye](#)

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