

Mahmut Ciftci and Mayank Mangla

## 摘要

本应用报告总结了 TDA4VM 和 DRA829 片上系统 (SoC) [1、2] 摄像头捕捉功能和图像处理流水线功能。更多有关全套功能的信息，请参阅“Jacinto 7 技术参考手册 (TRM)” [3]。

## 内容

1 引言.....	2
1.1 Jacinto 7 成像子系统概述.....	2
2 摄像头捕捉子系统.....	2
2.1 MIPI-CSI2.....	3
2.2 视频处理前端.....	3
3 视觉预处理加速器.....	3
3.1 视频成像子系统 (VISS).....	4
3.2 镜头失真校正 (LDC).....	5
3.3 多标量 (MSC).....	5
3.4 双边噪声滤波 (BNF).....	5
3.5 摄像头传感器的软件可用性.....	5
4 用例示例.....	6
4.1 使用 MIPI 聚合器的 4 摄像头用例.....	6
4.2 通用 8 摄像头用例.....	6
4.3 ADAS 用例.....	7
5 参考文献.....	7

## 插图清单

图 2-1. TDA4VM/DRA829 摄像头捕捉子系统.....	2
图 3-1. VPAC 方框图.....	4
图 4-1. 使用 MIPI CSI-2 聚合器和数据流的 4 摄像头用例.....	6
图 4-2. 8 个 200 万像素摄像头方框图及数据流.....	6
图 4-3. ADAS 用例和数据流示例.....	7

## 表格清单

表 4-1. 此用例的总利用率.....	6
表 4-2. 此用例的总利用率.....	6
表 4-3. 此用例的总利用率.....	7

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

摄像头是工业和汽车市场中基于视觉系统的关键元件。在机器视觉、机器人技术、视频监控、高级驾驶辅助系统 (ADAS) 等工业和汽车应用中，摄像头的数量、帧速率和分辨率一直都在显著增加。对于此类应用中使用的应用处理器来说，捕捉和处理包括原始输入在内的这些摄像头输入至关重要。基于 **Jacinto 7** 的高性能异构应用处理器，包括 **TDA4VM** 和 **DRA829** [1] 和 [2]，能够提供捕捉和处理多个摄像头输入的功能，以便优化性能、功耗和内存吞吐量。

### 1.1 Jacinto 7 成像子系统概述

**Jacinto 7** 摄像头捕捉系统是德州仪器 (TI) 的第 7 代成像子系统 (ISP)，它是在 20 多年来将多个 SoC 系列部署到上百万产品的创新实践摸索中构建的。一些差异化特性包括：

- 与所有图像传感器格式兼容
- 低功耗、更高的性能、全图像流水线以及经过优化的内存吞吐量
  - 镜头阴影校正、噪声滤波器、WDR、去马赛克、色彩空间转换、图像金字塔
- 两个用于高分辨率多摄像头捕捉的高速接口
  - 每个接口多达 16 个虚拟通道。多达 32 个摄像头捕捉。
- 同时进行人类 + 机器视觉输出
  - 人类视觉 ISP 特性：
    - 140dB WDR
    - 局部自适应色调映射
    - 双噪声滤波器
    - 8b 输出
  - 机器视觉 ISP 特性：
    - 高级 CFA 插值支持所有 2x2 CFA 格式

## 2 摄像头捕捉子系统

**TDA4VM/DRA829** 摄像头捕捉子系统包括 2 个 MIPI CSI-2 接口和视频处理前端 (VPFE)，如图 2-1 所示。

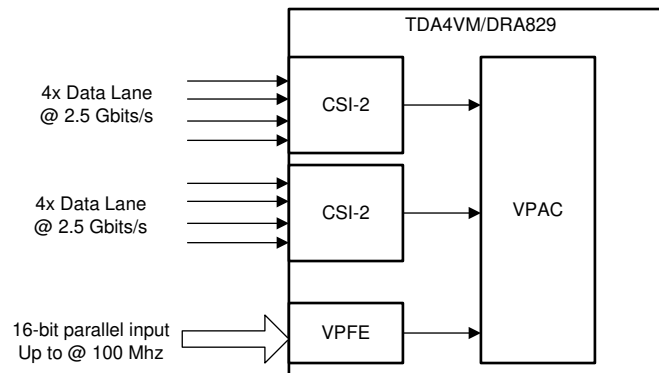


图 2-1. TDA4VM/DRA829 摄像头捕捉子系统

## 2.1 MIPI-CSI2

TDA4VM/DRA829 MIPI-CSI2 接口支持以下特性：

- 2 个 4 通道 MIPI D-PHY ( 2.5Gbps/通道 )
- 支持 8 个带解串器集线器的传感器
- 2 个摄像头适应层 (CAL)
  - MIPI CSI2 的协议栈
  - 支持所有 MIPI 支持的格式
    - RAW/DPCM/YUV
    - RAW 8、10、12、14、16 位
      - 经过压缩扩展或线性
    - 从 SDRAM 并行读取像素流
  - I/F 端口流量的实时优先级

## 2.2 视频处理前端

视频处理前端 (VPFE) 是一个输入接口模块，用于从图像传感器等外部成像外设接收原始图像/视频数据或 YUV 数字视频数据。VPFE 支持以下特性：

- 支持传统的拜耳阵列和 Foveon 传感器格式。
  - 为外部时序发生器生成 HD/VD 时序信号和字段 ID，也可以同步到外部时序发生器
  - 支持逐行扫描 ( 非隔行扫描 ) 和隔行扫描传感器
  - 支持高达 110MHz 的传感器时钟。
  - 支持 REC656/CCIR-656 标准 ( YCbCr 422 格式，8 位或 16 位 )。
  - 支持带有离散 HSYNC 和 VSYNC 信号的 8 位或 16 位 YCbCr 422 格式。
  - 支持多达 16 位的输入。

## 3 视觉预处理加速器

视觉预处理加速器 (VPAC) 子系统是一组常见的视觉基元功能，用于执行像素数据处理任务，例如：色彩处理和增强、噪声滤波、宽动态范围 (WDR) 处理、镜头失真校正、用于去扭曲的像素重映射、动态缩放生成和动态金字塔生成。VPAC 从主 SoC 处理器 ( ARM、DSP 等 ) 卸载这些常见任务，以便这些 CPU 可用于差异化的高级算法。VPAC 用于通过在时分复用模式下工作来支持多个摄像头。VPAC 可用作视觉处理流水线的前端，供 SoC 内的其他视觉加速器或处理器内核进行进一步的处理。

图 3-1 展示了 VPAC 简要方框图。

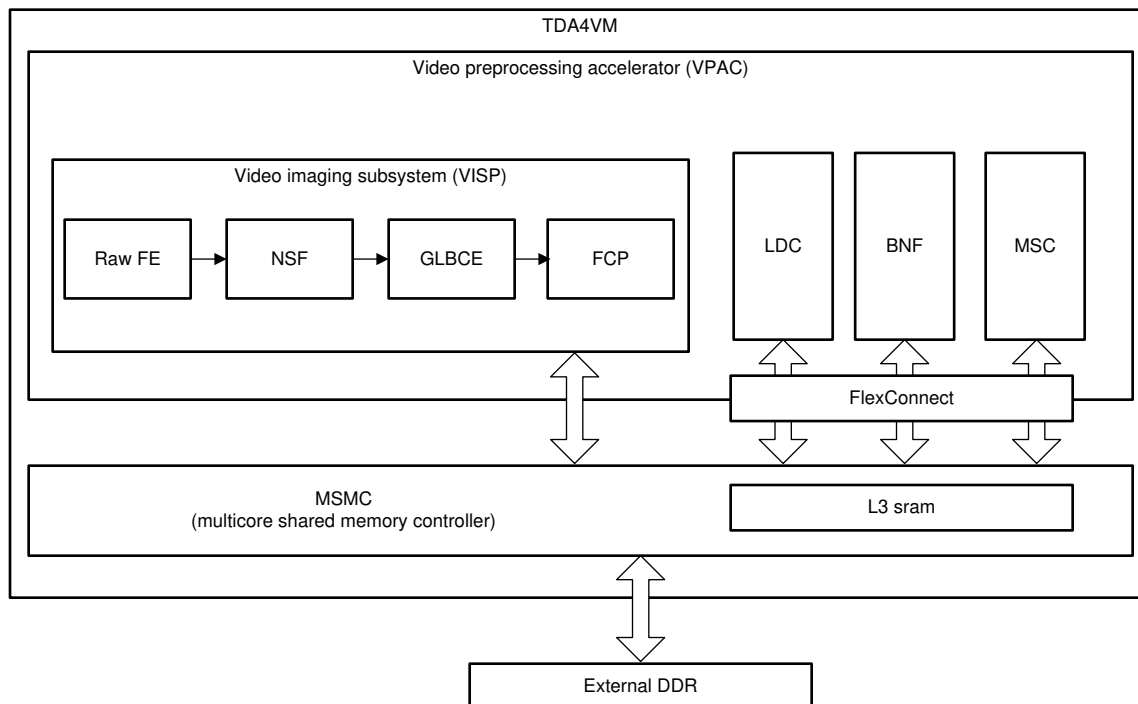


图 3-1. VPAC 方框图

VPAC 由以下主要部分组成：

- 视频成像子系统 (VISS)
- 镜头失真校正 (LDC)
- 双线性噪声滤波器 (BNF)
- 多标量 (MSC)

### 3.1 视频成像子系统 (VISS)

VISS 对原始数据进行图像处理，然后输出 RGB 和/或 YUV 图像。视频成像子系统 (VISS) 包括以下组成部分：

- 原始前端 (Raw FE)，用于实现：
  - 宽动态范围 (WDR) 合并
  - 缺陷像素校正 (DPC)
  - 镜头阴影校正 (LSC)
  - 分解
  - 3A 统计
  - 白平衡
- 噪声滤波器 (NSF)
  - 拜耳域空间噪声滤波器
- 用于自适应局部色调映射的全局和局部亮度对比度增强 (GLBCE)
- Flex 颜色处理 (FCP)，它支持
  - 去马赛克、色彩校正、色彩空间转换和伽马转换

VISS 流水线能够以每周期 1 个像素的速度来处理数据。在 TDA4VM 上，VISS 系统的时钟频率可以达到 720Mhz，从而实现 72000 万像素/秒的处理能力。

### 3.2 镜头失真校正 (LDC)

LDC 模块通过应用透视变换/单应矩阵，将像素从失真的输入空间重新映射到未失真的输出空间。LDC 支持以下特性：

- 镜头失真校正、立体整流、通用像素重映射
  - 可提高图像质量的多区域模式
  - 高级校正模式 - 基于查找表的反射射方法
  - 使用双三次插值的亚像素精度
  - DDR 黑白优化的架构
    - 支持的格式：
  - YUV 420 (NV12/NV21)
  - 高达 12 位/元件
    - 插值类型：
  - 双三次 ( 2 个周期/像素 )
  - 双线性 ( 1 个周期/像素 )

### 3.3 多标量 (MSC)

MSC 可使用多种缩放比例，从给定输入生成多达 10 个经过缩放的输出。MSC 支持以下特性：

- 多缩放能力：来自 1 个或 2 个输入平面的 10 个同时缩放的输出
- 每个缩放引擎都可以配置为执行金字塔或倍频程间的缩放生成
- 支持 1 至 0.25 倍之间的缩放比例
- 每个倍频程之间有 7 个缩放比例 → 1.09 倍
- 单个周期/像素性能

### 3.4 双边噪声滤波 (BNF)

BNF 采用了双边滤波，以去除噪声，它支持以下功能：

- 双边和通用滤波
- 滤波器尺寸高达 5x5
- 真正的 2D 双边滤波
- 可编程静态权重的滤波器尺寸高达 5x5
- 1 个周期/像素性能
- 支持的格式：
  - YUV 42, 12 位
  - 可以使用 LDC/定标器支持 8 位格式
  - 基于线路的输入和输出

### 3.5 摄像头传感器的软件可用性

有关可用的摄像头传感器驱动程序，请参阅 Jacinto 7 Processor SDK 成像发行说明 ([https://software-dl.ti.com/jacinto7/esd/processor-sdk-rtos-jacinto7/latest/exports/docs/imaging/imaging\\_release\\_notes.html#ImageSensor\\_Support](https://software-dl.ti.com/jacinto7/esd/processor-sdk-rtos-jacinto7/latest/exports/docs/imaging/imaging_release_notes.html#ImageSensor_Support))。

## 4 用例示例

下面显示了一些常见的摄像头用例示例，假设原始摄像头输入为每像素 12 位。

### 4.1 使用 MIPI 聚合器的 4 摄像头用例

图 4-1 展示了一个简要方框图，其中 4 个 200 万像素 @30fps 摄像头输入通过使用 MIPI CSI-2 聚合器和数据流直接连接至 TDA4VM。

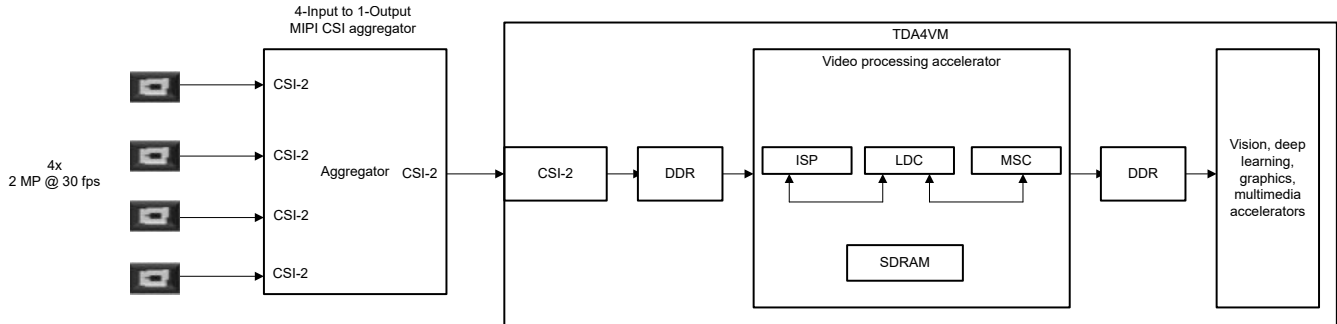


图 4-1. 使用 MIPI CSI-2 聚合器和数据流的 4 摄像头用例

表 4-1 总结了此用例的总利用率。

表 4-1. 此用例的总利用率

IP	最大吞吐量	利用率	利用率 (百分比)
CSI-2	10Gb	2.88Gb	28.80%
VPAC	720MP/s	240MP/x	33.33%

### 4.2 通用 8 摄像头用例

图 4-2 展示了通过 FPDLink 串行器和解串器远程连接的 8 个 200 万像素 @30fps 摄像头输入的简要方框图及数据流。

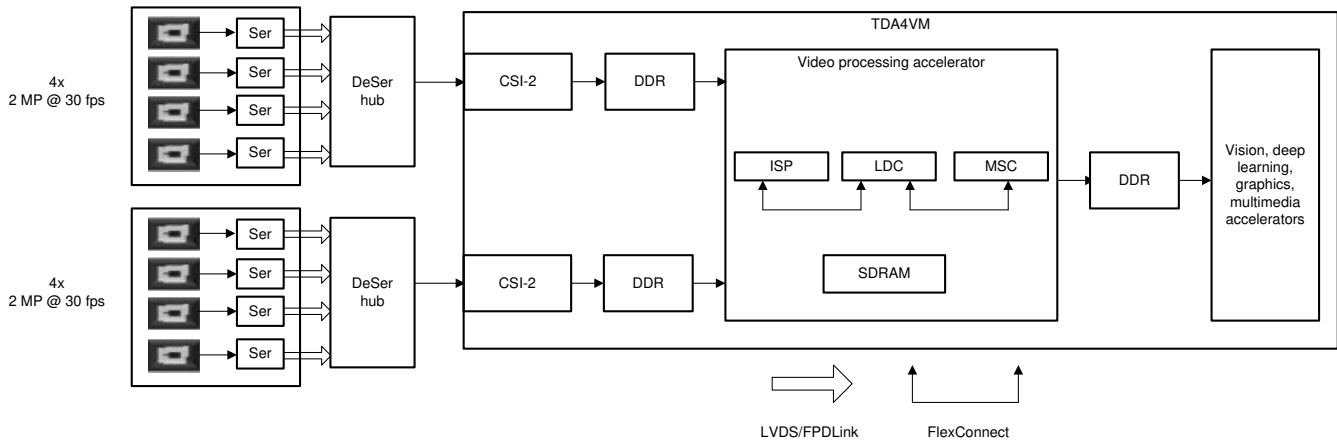


图 4-2. 8 个 200 万像素摄像头方框图及数据流

有关基于 FPDLink 的多摄像头设置，请参阅 [5]。

表 4-2 总结了此用例的总利用率。

表 4-2. 此用例的总利用率

IP	最大吞吐量	利用率	利用率 (百分比)
CSI-2 (第 1 个实例)	10Gb	2.88Gb	28.80%
CSI-2 (第 2 个实例)	10Gb	2.88Gb	28.80%

表 4-2. 此用例的总利用率 (continued)

IP	最大吞吐量	利用率	利用率 (百分比)
VPAC	720MP/s	480MP/x	66.66%

### 4.3 ADAS 用例

图 4-3 展示了常见 ADAS 用例的简要方框图，其中

- 1 个 800 万像素 @30fps 摄像头用于前置摄像头
- 1 个 100 万像素摄像头用于 DMS，以及
- 4 个 200 万像素 @30fps 摄像头用于 3D SRV。

这些摄像头通过 FPDLink 串行器和解串器远程连接。

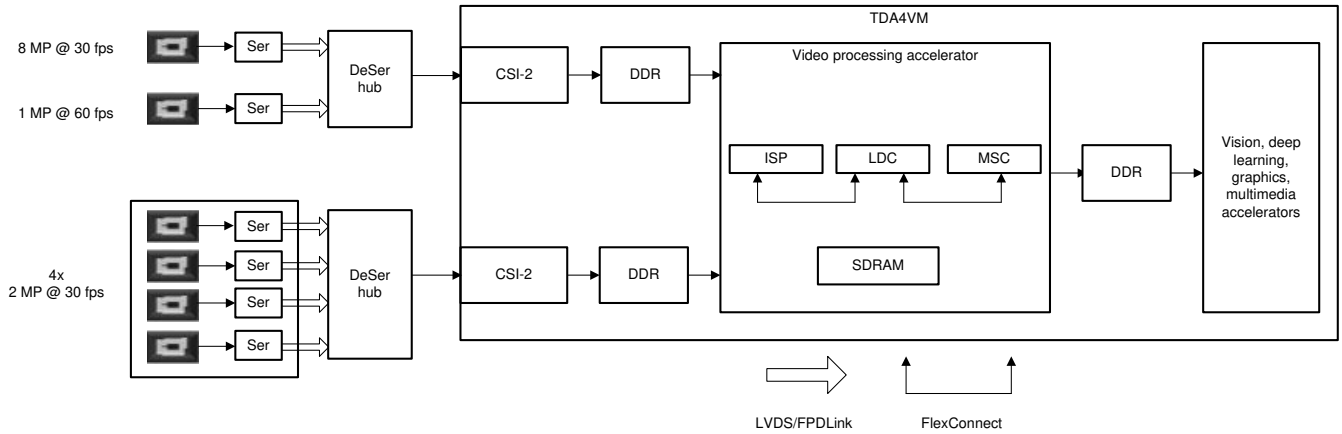


图 4-3. ADAS 用例和数据流示例

有关基于 FPDLink 的多摄像头设置，请参阅 [5]。

表 4-3 显示了此用例的总利用率。

表 4-3. 此用例的总利用率

IP	最大吞吐量	利用率	利用率 (百分比)
CSI-2 (第 1 个实例)	10Gb	3.6Gb	36%
CSI-2 (第 2 个实例)	10Gb	2.88Gb	28.80%
VPAC	720MP/s	480MP/x	66.66%

### 5 参考文献

1. [TDA4VM 产品页面](#)
2. [DRA829V 产品页面](#)
3. 德州仪器 (TI) : [DRA829/TDA4VM/AM752x 技术参考手册](#)
4. [适用于 TDA4VM/DRA829 Jacinto 处理器的软件开发套件](#)
5. [TDA4VM/DRA829 评估模块](#)

## 重要声明和免责声明

TI 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安全、安保或其他要求。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 (<https://www.ti.com/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com](https://www.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。

邮寄地址: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2021, 德州仪器 (TI) 公司



## 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