



Fredy Zhang; Joey Jin

FAE

摘要

随着智能汽车的快速发展，车载摄像头和显示系统的需求日益复杂化。高分辨率摄像头、多传感器融合、低延迟视频传输以及多屏交互成为实现高级驾驶辅助系统 (ADAS) 和自动驾驶功能的关键技术。德州仪器 (TI) 的 SOC 和 FPD-LINK 高速接口技术在此背景下形成了一套高效解决方案，为汽车摄像头数据采集、处理与多屏显示提供了可靠的硬件和通信基础。

TI 的 FPD-Link 作为车载领域成熟的高速信号接口方案，已经大规模应用到国内外车载高级驾驶辅助系统 ADAS&车载信息娱乐系统 IVI 中。通过串行器/解串器 (SerDes) 技术，将多路并行数据流转换为单路或双路串行数据流进行传输，以增加高速信号长距离传输的抗干扰性及系统鲁棒性，支持主机与远端设备的双向通讯，同时可以减少线缆数量，降低系统硬件总体重量。

TI 的 Soc 系列处理器 (如 TDA4VM、TDA4VH、AM62x) 基于 Keystone III 架构，集成 Arm® Cortex®A72 内核、C7x DSP、深度学习和视觉加速器。它们能同时处理多路高分辨率视频流，执行复杂的视觉和 AI 任务，并支持多种显示输出接口 (如 DPI/RGB、MIPI DSI、OLDI/LVDS)，多个摄像头输入 MIPI CSI 和功能安全 (支持 ASIL-B)，非常适合汽车应用。

TI 的 Soc 系列处理器与 FPD-Link 技术相结合，为汽车多摄像头及多显示系统 (如数字座舱、高级驾驶辅助系统 ADAS) 提供了高性能、高集成度的解决方案。下面我将为你介绍这方面的主要应用、优势以及相关的技术考量。

内容

1 TI SoC 与 FPD-LINK 的技术优势	3
1.1 TI SoC 处理器的核心能力	3
1.2 FPD-LINK 接口的特性	4
1.3 K3 -DSS 及 MIPI 介绍	5
2 系统应用：从摄像头到多屏显示的完整链路	7
2.1 多摄像头数据采集与传输	7
2.2 数据处理与传感器融合	7
2.3 多屏显示与交互	8
3 型场景方案	11
3.1 全景泊车辅助系统	11
3.2 行泊一体解决方案	11
3.3 舱内显示方案	12
3.3.1 MST 方案参考	12
3.3.2 Super Frame 方案参考	13
3.3.3 Daisy Chain 方案参考	13
4 Serdes 技术展望	14
5 总结	14
6 参考	14

插图清单

图 1-1. TDA4VH 系统框图	3
图 1-2. SERDES 在座舱应用示意图	4
图 1-3. SERDES 在摄像头应用示意图	5
图 1-4. K3 - DSS 框图	5

图 2-1. TDA4 数据处理模块.....	8
图 2-2. 菊花链拓扑图.....	9
图 2-3. 超级帧视频处理.....	10
图 3-1. 典型全景摄像头 FPD-Link 方案拓扑图.....	11
图 3-2. 行泊一体方案拓扑图.....	12
图 3-3. MST 应用案例.....	13
图 3-4. Superframe 应用案例.....	13
图 3-5. Daisy Chain 应用案例.....	14

表格清单

表 1-1. 技术规格概述.....	6
表 1-2. 支持的显示接口.....	6
表 2-1. 汽车摄像头的种类及应用.....	7
表 2-2. 汽车 ADAS 系统推荐 Serdes 方案.....	7
表 2-3. 汽车屏端常见应用的推荐 Serdes 方案.....	8

1 TI SoC 与 FPD-LINK 的技术优势

1.1 TI SoC 处理器的核心能力

以 图 1-1 TDA4VH 系统为例，我们来看下处理器的计算架构、显示子系统、摄像头系统：

多核异构计算架构：TDA4x 集成 Arm Cortex-A72 (通用计算)、C7x DSP (高性能信号处理)、GPU (图像处理)、专用视觉加速器 (VPAC) 以及深度学习引擎 (MMA)，可并行处理多路摄像头、雷达等传感器数据。

显示子系统 (DSS)：TDA4x/AM6x 采用 Keystone 3 架构显示系统，支持高达 4K 分辨率的多屏输出，兼容 LVDS、MIPI DSI 等显示接口，能够实现仪表盘、中控屏、HUD 和后座娱乐屏的同步驱动，并支持图形与视频的实时叠加 (如 ADAS 警告标识)。

摄像头系统：TDA4x 家族集成了多个 MIPI CSI 接口，负责将"眼睛" (图像传感器) 看到的视觉信息，高速 可靠 低延迟地输送至"大脑" (域控制器)。

车规级可靠性：符合 ISO 26262 功能安全标准，具备故障检测和冗余机制，确保系统在极端温度或电磁干扰下的稳定运行。

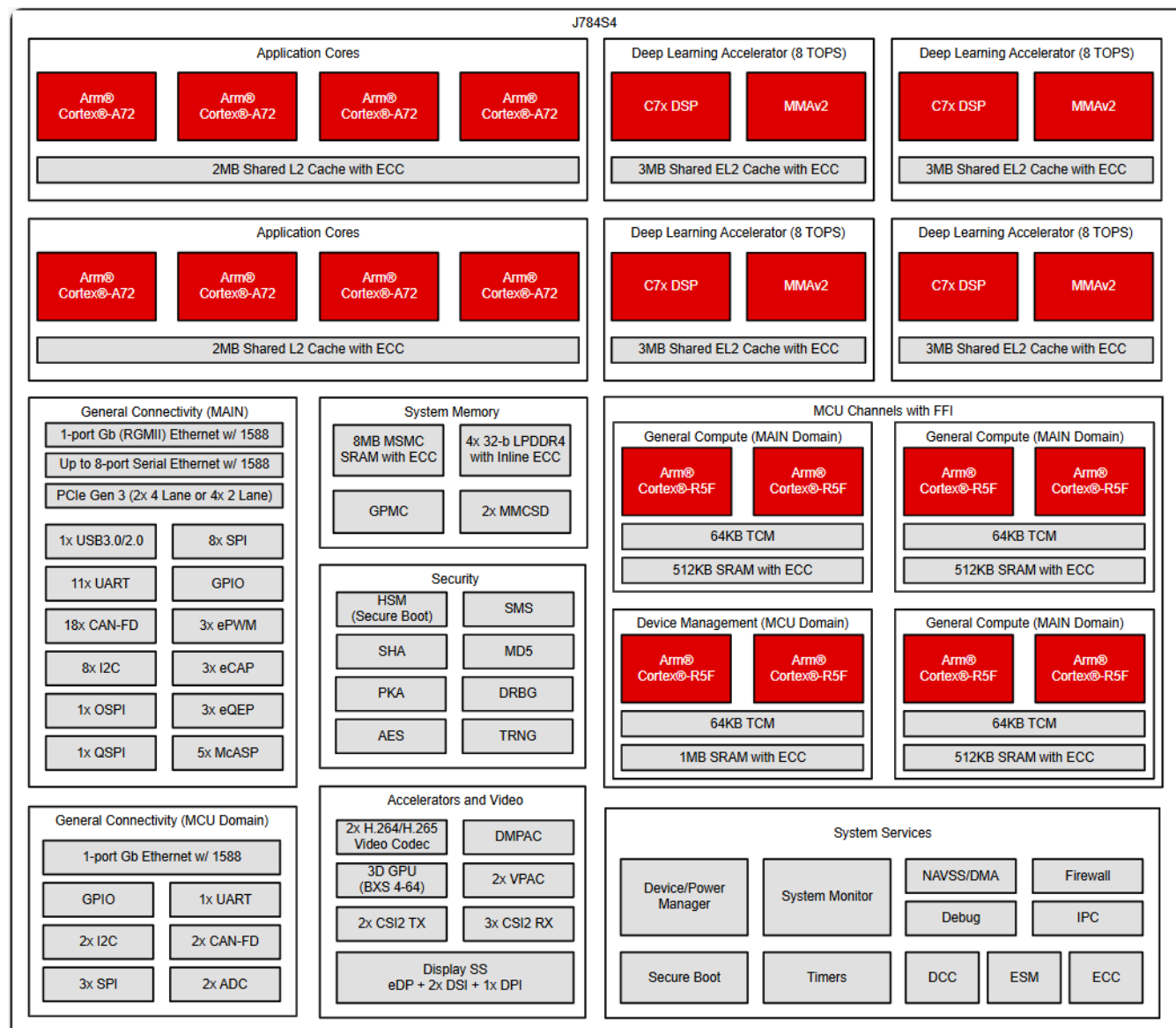


图 1-1. TDA4VH 系统框图

1.2 FPD-LINK 接口的特性

FPD-Link (Flat Panel Display Link) 是 TI 的高速串行器/解串器 (SerDes) 技术，通过单根同轴电缆或双绞线传输高分辨率视频、音频、控制数据和电源。其核心价值在于：

- 简化布线：减少线束数量、重量和连接器复杂度。
- 抗干扰能力强：依赖自有协议稳定传输音视频信号与控制信号等，更加适应汽车电子环境。
- 支持长距离传输：可靠传输距离可达 10 米-15 米。
- 实现灵活架构：支持"屏机分离"设计，将显示器与主机分置。

高速低延迟传输：FPD-LINK III/IV 支持高达 30 Gbps 的串行传输速率，可无缝传输 4K/60fps 视频数据，满足 ADAS 摄像头的高带宽需求。T

强抗干扰能力：通过差分信号传输和自适应均衡技术，能够在汽车复杂电磁环境中保证视频信号完整性，减少线缆长度对画质的影响。

简化布线设计：单线集成视频、控制信号和供电功能（如 FPD-LINK IV 支持同轴线供电），减少线束数量和重量，降低整车成本。

功能层面上：FPD-Link III 及以上版本支持在单一差分链路上进行视频、音频数据传输以及全双工控制（如 I2C、GPIO），实现了双向通信。这意味着显示屏端的触摸动作、状态信息等可以通过同一线缆回 GY2 传至主机系统。 **功能安全和 EMI**：许多 FPD-Link SerDes 芯片通过了 AEC-Q100 认证，具备适应汽车温度变化和抗电磁干扰 (EMI) 能力，并常包含自适应均衡功能，以动态补偿电缆老化和温度变化对信号质量的影响。

FPDLINK 在汽车显示，ADAS 的应用示意图如 图 1-2，图 1-3 所示。

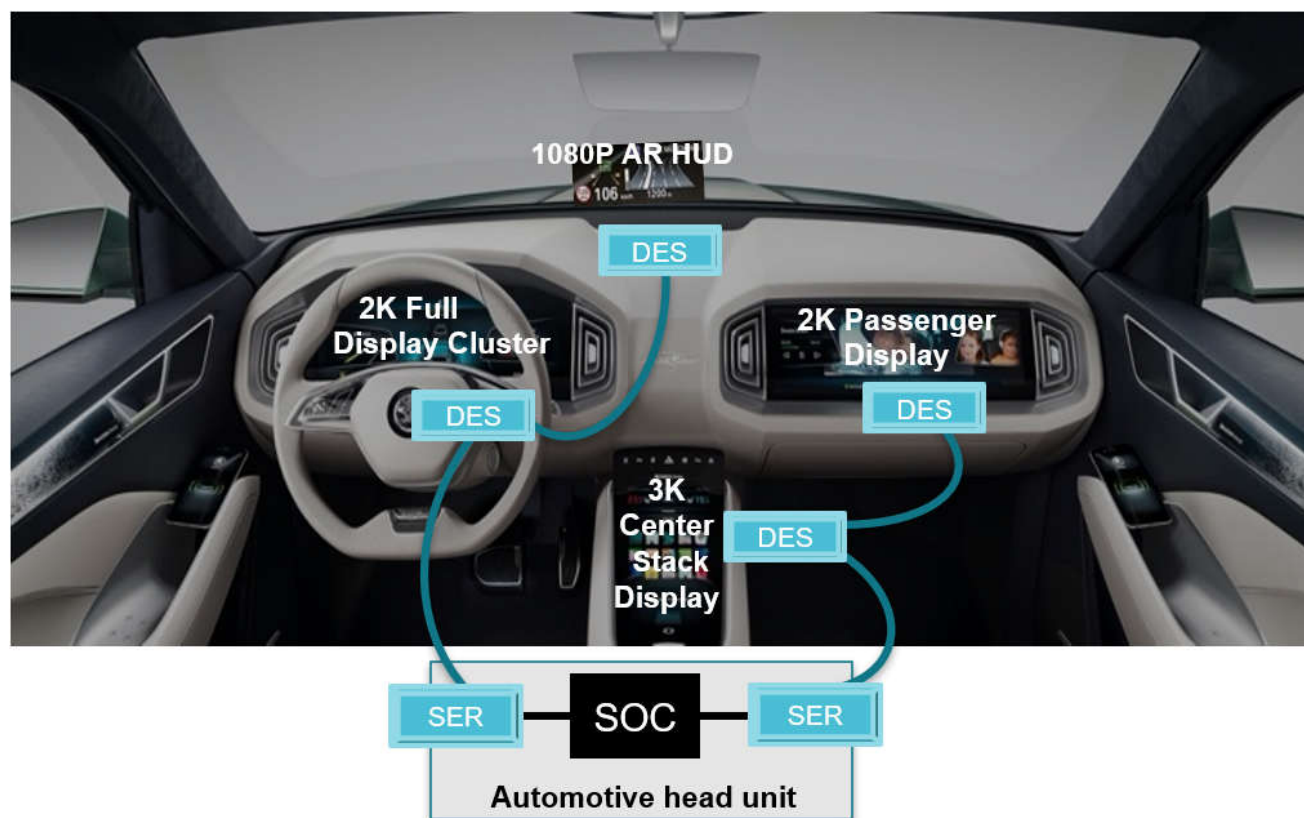


图 1-2. SERDES 在座舱应用示意图

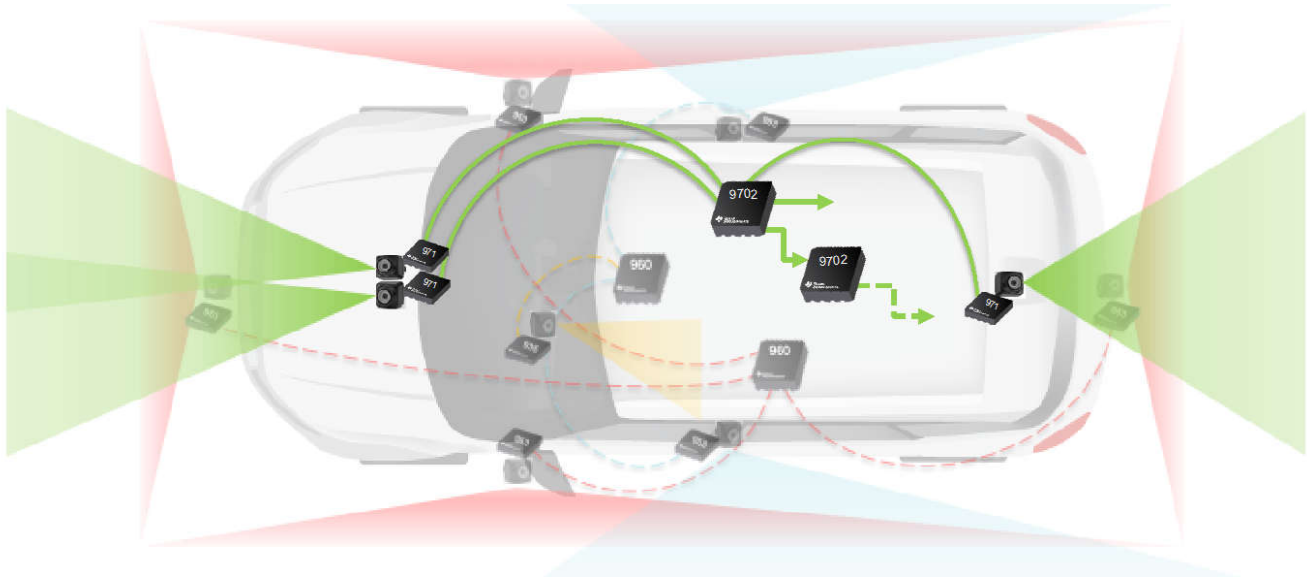


图 1-3. SERDES 在摄像头应用示意图

1.3 K3 -DSS 及 MIPI 介绍

K3 显示子系统 (DSS) 是 TI 为其 K3 架构处理器 (包括 TDA4x 和 AM62x 系列) 设计的统一、可扩展的显示控制器。其核心设计目标是提供灵活的显示输出能力，支持多种接口和格式，并优化功耗。显示子系统 (DSS) 是一个硬件模块，DSS 硬件可分为两大部分，以 图 1-4 为例：

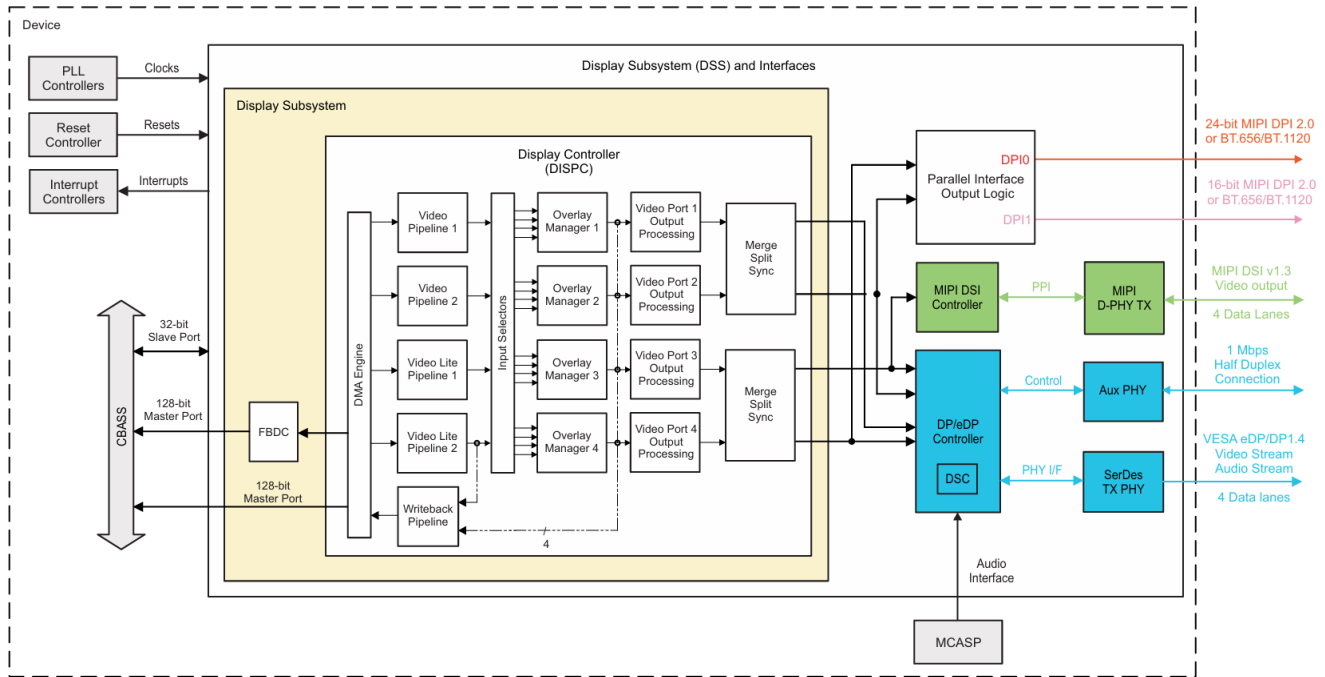


图 1-4. K3 - DSS 框图

- 显示控制器 Display Controller (DISPC)，负责获取像素数据、进行颜色转换、合成和其他像素操作；
- 外设 Peripherals，负责将原始像素数据编码为标准显示信号，例如 DPI, DP 或 DSI。支持的显示接口包括，具体内容如表 1 和表 2 所示：
 - DPI (并行 RGB 接口): 用于驱动传统的 LCD 屏幕。
 - DSI (显示串行接口): 用于连接移动行业处理器接口 (MIPI) DSI 面板，常见于更现代、更紧凑的屏幕。

- DP (显示穿行接口): 用于更高分辨率的屏幕。

表 1-1. 技术规格概述

显示接口	使用管脚	带宽	应用	备注
DPI	RGB 24 8 bits/color 4x clock	24 bits x 165MHz = 3.96GB/Sec	低分辨率显示应用	DPI (24 位 RGB 并行接口) : 60fps 时高达 1920 x 1080 (165MHz 像素时钟)
DSI	data pairs and 1 clock pair	4 x 1.5 GB/Sec = 6 GB/Sec	中分辨率显示应用	MIPI® DSI : 具有 4 通道 MIPI® D-PHY , 在 60fps 下支持高达 3840 x 1080 (300MHz 像素时钟)
eDP	Up to 4 data pairs	Up to 4 x 8.1 Gbps = 32.4 Gbps	高分辨率显示应用	1 个 eDP/DP 接口, 具有多显示器支持 (MST)。

表 1-2. 支持的显示接口

器件	DPI	DSI	OLDI/LVDS	EDP
AM62Lx	✓	✓	x	x
AM62x	✓	x	✓	x
AM62Ax	✓	x	x	x
AM62Px	✓	✓	✓	x
AM64x	x		x	x
AM67x/TDA4VEN	✓	✓	✓	x
AM68x/TDA4VE	✓	✓	x	✓
AM68Ax/TDA4VM	✓	✓	x	✓
AM69x/TDAVPE	✓	✓	x	✓
AM69Ax/TDA4VH	✓	✓	x	✓

2 系统应用：从摄像头到多屏显示的完整链路

TDA4 处理器内置的显示子系统 (DSS) 通常包含多个显示控制器 (Display Controller, DC)，每个 DC 可独立配置和输出视频流至不同的显示接口 (如并行 RGB、MIPI DSI)。为实现多路显示，TDA4 的显示输出接口 (如 DPI/RGB、MIPI DSI) 可以连接多个 FPD-Link 串行器 (Serializer)。串行器将并行视频数据转换为高速串行信号，通过单根电缆传输。在显示屏端，FPD-Link 解串器 (Deserializer) 接收串行信号，将其恢复为并行视频数据 (如 OpenLDI/LVDS、RGB) 驱动显示屏。

TDA4 处理器强大的处理能力允许其同时生成多个独立的视频流，并通过不同的接口输出，再借助 FPD-Link 串行器传输到物理分散的显示屏。

2.1 多摄像头数据采集与传输

随着汽车越来越智能，汽车内的摄像头也越来越多，依据现在市场主流车型的摄像头应用，摄像头种类及作用如下表所示：

表 2-1. 汽车摄像头的种类及应用

摄像头种类	安装位置	主要作用	视野特点	典型应用场景
前视摄像头	前挡风玻璃内侧后视镜附近	感知前方道路环境,实现主动安全功能	单目/多目：窄视野 (用于识别远处物体)、广角 (用于交通标志、车道线)	自适应巡航 (ACC)、自动紧急制动 (AEB)、车道保持辅助 (LKA)、交通标志识别 (TSR)、行人/车辆碰撞预警
环视摄像头	车辆四周：通常位于前格栅、左右后视镜下方、后备箱门把手处	提供车辆 360°鸟瞰俯视图，消除盲区	超广角鱼眼镜头，畸变较大，需要通过算法校正拼接	360°全景影像、泊车辅助、透明底盘 (通过算法合成)
后视摄像头	后备箱门把手或车牌附近	辅助倒车，观察后方盲区	广角，部分带动态轨迹线	倒车影像、后方交通穿行提示 (RCTA)
侧视摄像头	左右后视镜下方或前翼子板	监测侧后方盲区，辅助变道和转弯	广角	盲区监测 (BSD)、变道辅助 (LCA)、在转向灯开启时显示侧方影像 (替代传统后视镜)
车内摄像头	驾驶舱内：A 柱、方向盘后方、车内后视镜等	监测驾驶员和乘客	红外或普通 RGB 镜头	驾驶员状态监测 (DSM)：疲劳驾驶、分心提醒；乘客监测；车内物品遗留提醒；手势识别；视频通话

针对各种场景，各个种类摄像头，摄像头的的数据需要远距离传输，TI FPD-Link 为摄像头的的数据传输提供了解决方案，针对不同数据，其解决方案参考如下：

表 2-2. 汽车 ADAS 系统推荐 Serdes 方案

摄像头分辨率	接口类型	推荐串化器型号	推荐解串器型号	解串器最大支持摄像头数量
1M	DPI	DS90UB933-Q1	DS90UB934-Q1	1
	CSI-2	DS90UB935-Q1	DS90UB936-Q1	2
	CSI-2	DS90UB935-Q1	DS90UB962-Q1	4
2M	CSI-2	DS90UB935-Q1	DS90UB936-Q1	2
	CSI-2	DS90UB935-Q1	DS90UB962-Q1	4
3M	CSI-2	DS90UB953-Q1	DS90UB954-Q1	2
	CSI-2	DS90UB953-Q1	DS90UB960-Q1	4
8M	CSI-2	DS90UB971-Q1	DS90UB9722-Q1	2
	CSI-2	DS90UB971-Q1	DS90UB9702-Q1	4

2.2 数据处理与传感器融合

摄像头的的数据经过处理和其它传感器的数据进行融合，之后采用送到屏端显示。以 TDA4 处理器为例，摄像头数据经过 TDA4x 的 VPAC 模块可对原始视频进行畸变校正、并通过 MMA 加速深度学习模型 (如障碍物分类)，生成环境感知结果。除摄像头数据外，也可与超声、激光雷达信息结合，构建车辆周围的 3D 环境模型，为自动泊车或 L3 级自动驾驶提供决策依据。图 2-1，展示了 Soc TDA4 数据处理的模块。

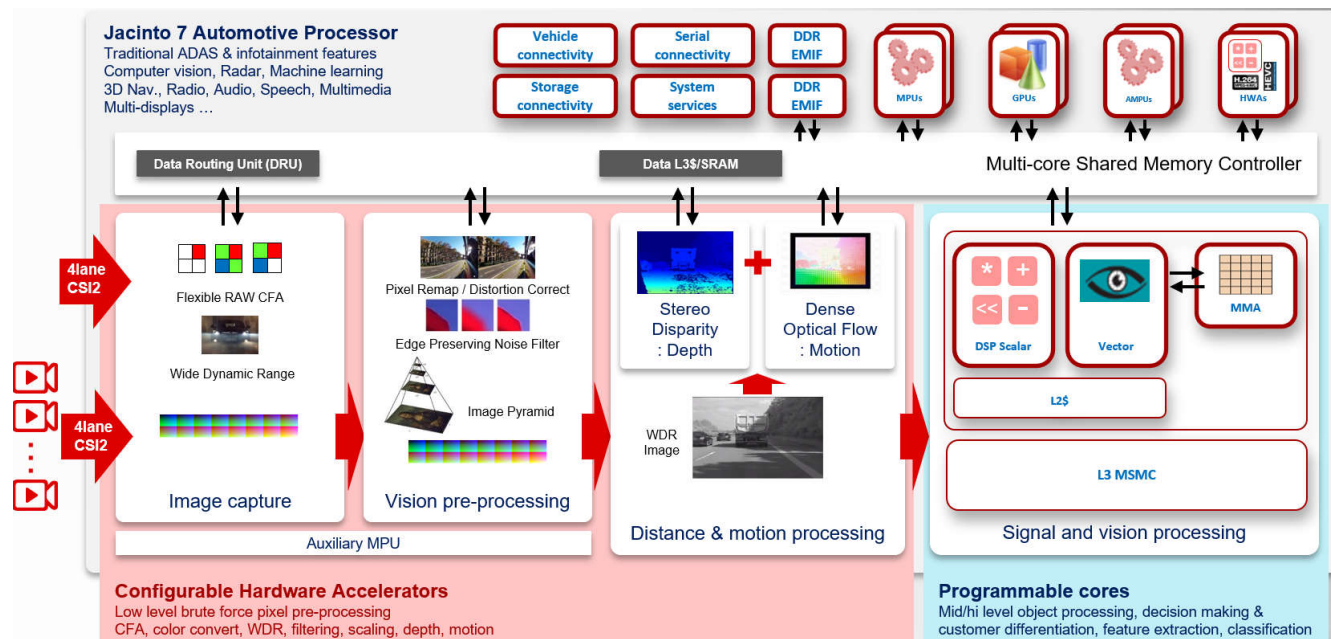


图 2-1. TDA4 数据处理模块

2.3 多屏显示与交互

汽车舱内越来越多已经配置了多个显示屏，这些屏也便捷了不同驾乘成员的操作，也提升了驾乘体验。比如新一代的仪表盘、HUD、中控屏、后排娱乐屏等。在仪表盘与 HUD：DSS 子系统将融合后的环境模型（如车辆轨迹、障碍物标注）渲染到驾驶员的视线范围内，确保关键信息的低延迟呈现。在中控屏与后排娱乐屏：通过 GPU 加速实现导航界面与视频内容的 3D 渲染，并支持多屏独立显示或内容同步（如后排乘客操控中控菜单）。若某个摄像头或显示屏失效，系统自动切换至冗余信号源或简化界面，保障基础驾驶功能不受影响。

在汽车的处理中，DPI、DP、OLDI 或 DSI 等显示接口广泛被使用，通过这些接口地不同技术可以有效提供多种显示地方案，表 4 列举了汽车屏端常用的 SERDES 方案。

- **DPI** 可以支持 RGB 的接口，同时 DPI 也可以支持 BT565/BT601 等 YUV 的图像。作为比较基础的接口，这种借口传输距离短，抗干扰能力较弱，多用于小尺寸屏幕。推荐 FPD-link 方案：串化器 DS90UB925-Q1，解串器 DS90UB926-Q1。
- **OLDI/LVDS** 接口将高速信号编码为差分信号机型传输，抗干扰能力大大提升，支持的屏幕尺寸与分辨率有了一定提升。推荐 FPD-link 方案：串化器 DS90UB947-Q1，解串器 DS90UB948-Q1。
- **DSI**：由 MIPI 联盟制定，在物理层也使用与 LVDS 类似的低压差分信号，协议更加复杂。DSI 可以在传输视频信号时，可以在高速和低功耗模式间切换，降低功耗。SOC 与 FPD-Link 器件均支持 DSI Single link 和 Dual Link。推荐 FPD-link 方案：串化器 DS90UB941AS-Q1，解串器 DS90UB948-Q1；或串化器 DS90UB981，解串器 DS90UB988-Q1(支持超级帧)。
- **DP**：由 VESA 协会推出，此接口是现阶段及未来车载高分辨率视频的主流接口。DP 接口支持更高带宽，可以支持 4K 甚至 8K 高分辨率与高刷新率。同时，DP 接口支持 MST 传输技术，方便实现多视频传输。推荐 FPD-link 方案：串化器 DS90UB983AS-Q1，解串器 DS90UB984-Q1。

表 2-3. 汽车屏端常见应用的推荐 Serdes 方案

屏幕分辨率	SOC 接口类型	TOCN 接口类型	推荐串化器型号	推荐解串器型号	串化器与解串器的 port 数量
720P/1080P	OLDI	OLDI	DS90UB947N-Q1	DS90UB948-Q1	1(720p),2(1080p)
	DSI	OLDI	DS90UB941AS-Q1	DS90UB948-Q1	1(720p),2(1080p)
2K	DSI	OLDI	DS90UB681-Q1	DS90UB688-Q1	1
	DP	DP	DS90UB943A-Q1	DS90UB944-Q1	1

表 2-3. 汽车屏端常见应用的推荐 Serdes 方案（续）

屏幕分辨率	SOC 接口类型	TOCN 接口类型	推荐串化器型号	推荐解串器型号	串化器与解串器的 port 数量
3K	DSI	OLDI	DS90UB981-Q1	DS90UB688-Q1	1
	DP	DP	DS90UB943A-Q1	DS90UB944-Q1	2
	DP	DP	DS90UB983-Q1	DS90UB984-Q1	1
4K	DP	DP	DS90UB983-Q1	DS90UB984-Q1	2

在 SERDES 显示的过程中，也有多种技术使用（Superframe, Daisy-Chain, MST 等），通过这些技术的组合可以非常方便地提供多个多屏显示方案。

- **Daisy Chain**：现代汽车，尤其是新能源车和高端车型，通常配备多个屏幕，在多显示屏系统中，菊花链是比较重要的应用。菊花链可以支持 SOC 单接口输出，驱动多个显示器或音频处理模块。同时解决了每个屏幕都用独立线缆与主机相连导致线束复杂、沉重、昂贵的问题。其拓扑图如图 2-2 所示：

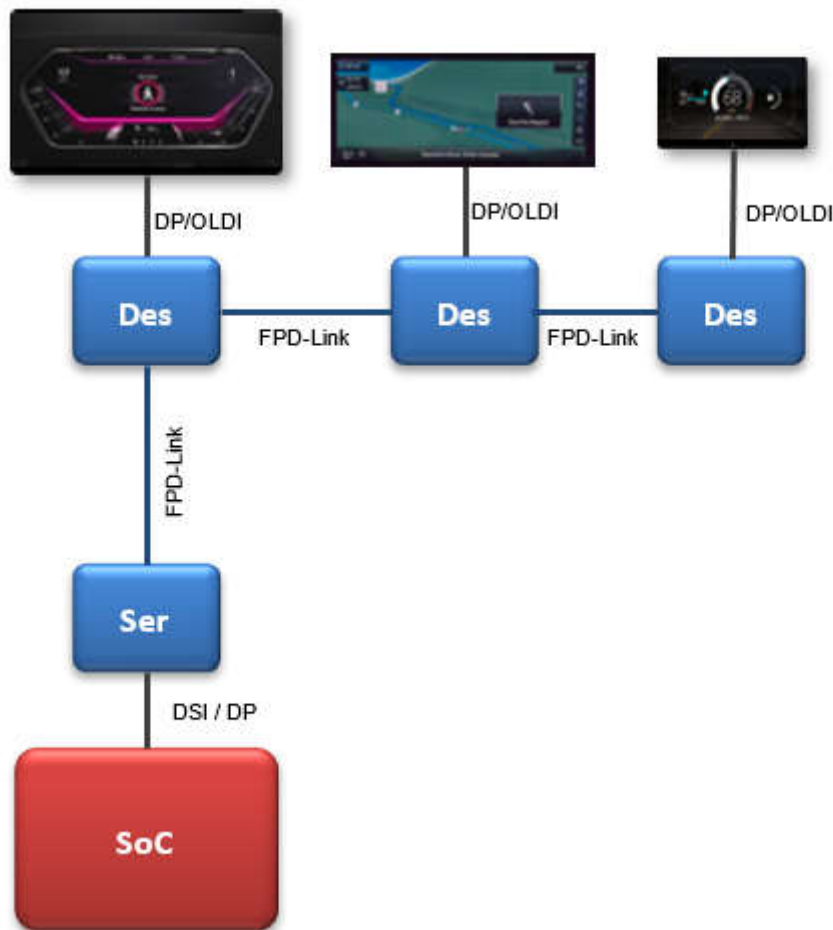


图 2-2. 菊花链拓扑图

- **MST**：在 DP 1.2 及以上接口协议中，支持 MST 功能。MST 可以同时传输不同分辨率，不同色深，不同帧率的视频图像。传输效率高且稳定，可以搭配菊花链使用。
- **Superframe（超级帧）**：除了 DP 接口的 MST 功能以外，超级帧往往是另一种常见的多视频图像传输方法。利用 SOC 的视频处理功能，把不同分辨率的视频图像，通过插入纵向 Blanking 的方式使得两个视频图像行程标准矩形视频流后进行传输，然后通过串化器内部的 Video processor 将多视频流还原，输出到各个屏幕，最终实现使用较少的 SOC 视频接口，传输更多数量的视频图像。



图 2-3. 超级帧视频处理

3 型场景方案

在这一个章节中，我们会使用典型使用场景举例来展示我们的 SERDES 的方案及其中使用的技术。

3.1 全景泊车辅助系统

如 图 3-1 所示，通过 FPD-Link 接收 4 路环视摄像头输入，利用 GPU 进行图像拼接和透视变换，生成鸟瞰图并实时显示在中控屏。同时，结合超声波雷达数据，叠加距离提示线和障碍物告警，辅助驾驶员安全泊车。

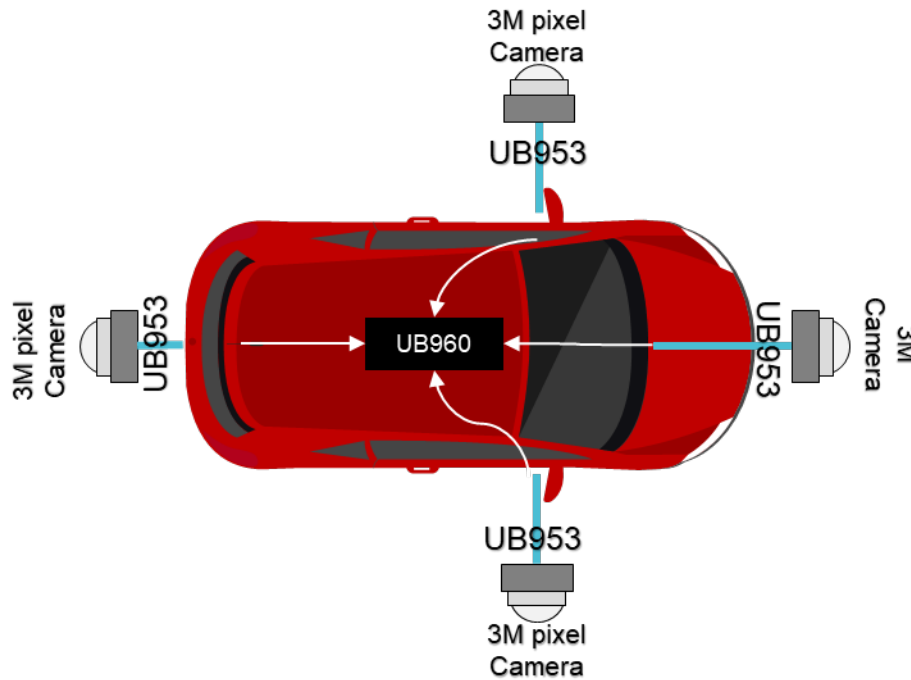


图 3-1. 典型全景摄像头 FPD-Link 方案拓扑图

3.2 行泊一体解决方案

如 图 3-2 所示，在 L2+/L3 级自动驾驶中，处理器接收来自通过 SERDES 传输的视频信号（这里 4 个 SRV 摄像头+4 个侧视摄像头+3 个前视摄像头+1 个后视摄像头组成一个经典的 12V 的方案），将融合后的感知结果（如车道线、交通标志、行人位置）通过 DSS 子系统同步到仪表盘和 HUD，并叠加 AR 导航箭头。此外，系统可将原始摄像头视频流分发给后排娱乐屏，供乘客查看实时路况。

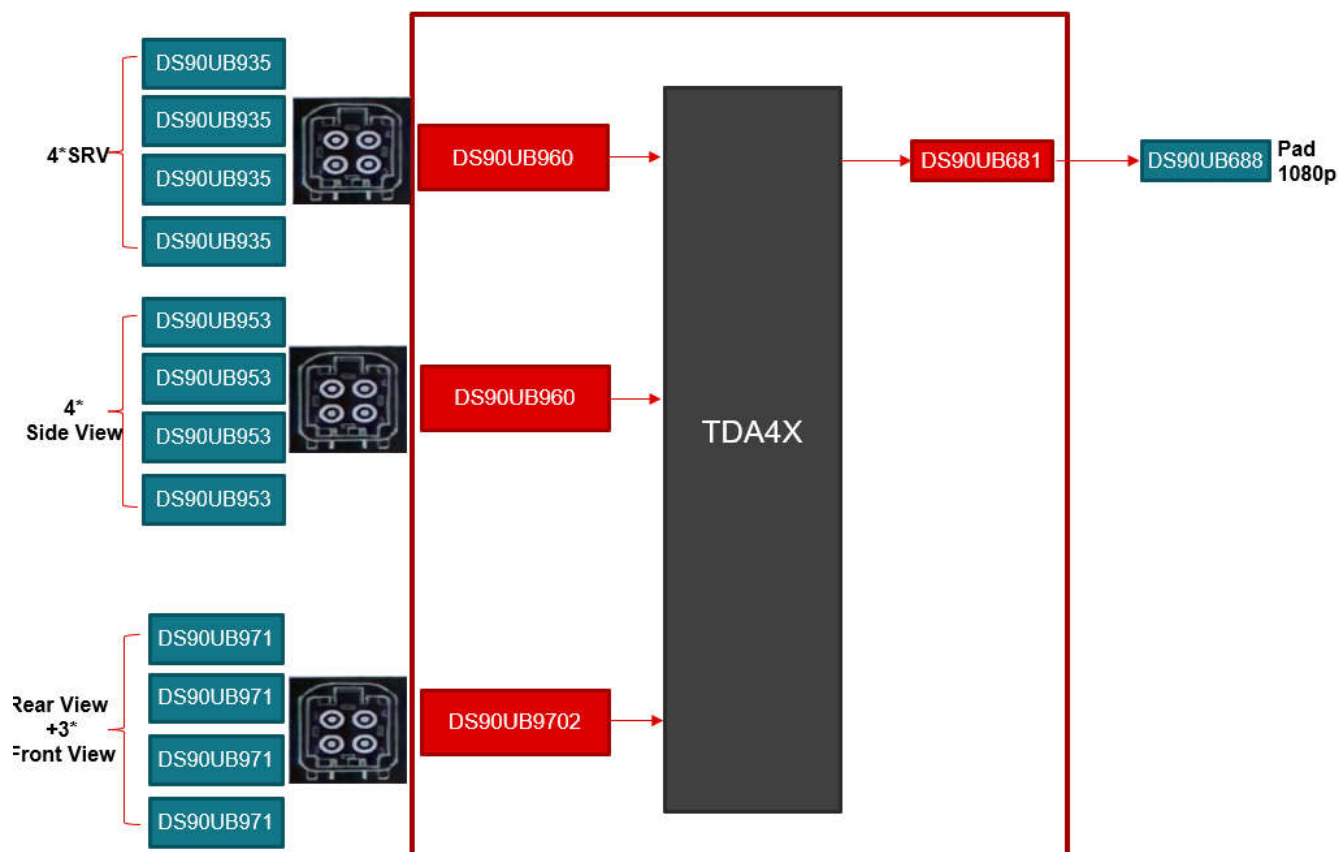


图 3-2. 行泊一体方案拓扑图

3.3 舱内显示方案

随着舱内的屏幕越来越多，单个 Soc 需要支持的屏幕变多，通常 Soc 的接口数量有限。因此，采用 Serdes 的 Daisy Chain/Super Frame/MST 技术可以有效扩展我们的显示方案。

3.3.1 MST 方案参考

利用 DP 协议 MST 功能的灵活性，在多个屏幕的应用中，可以在每个 DP 端口中自由搭配不同视频流，实现有限 DP 端口数量支持多视频流的方案。参考图 3-3 MST 的应用案例。该案例中，每个 DP 口输出两个数据流，UB983 将两个数据流通过 UB984 送到不同的屏幕。另一路也是类似的。

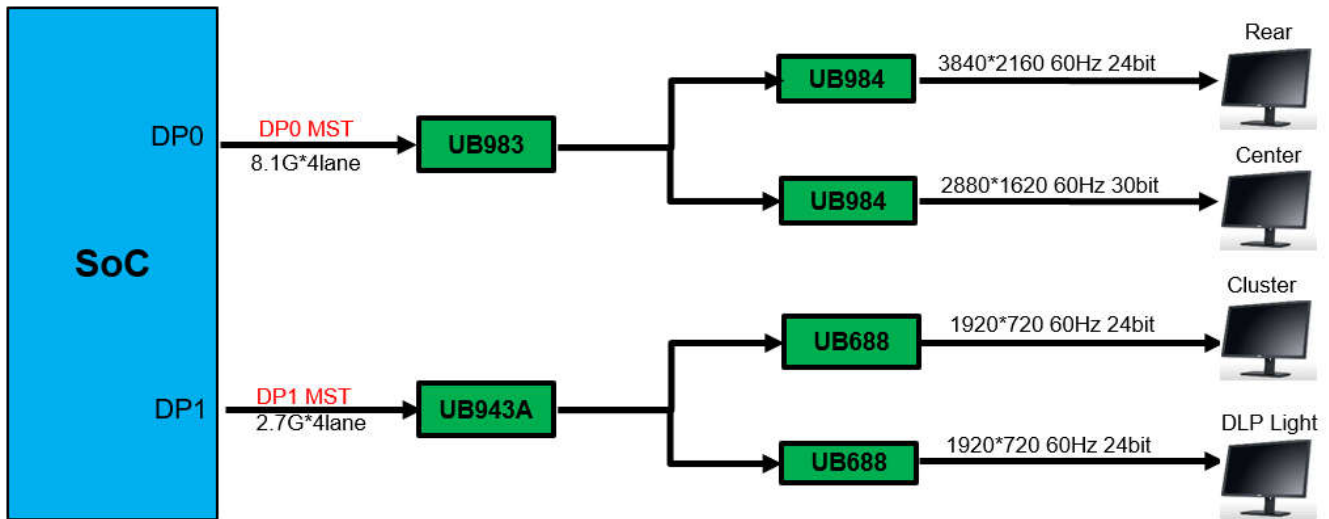


图 3-3. MST 应用案例

3.3.2 Super Frame 方案参考

在使用 DSI 接口时，没有 MST 功能，如果视频流的 timing 不同，可以通过 SOC 对不同视频流图像进行插入纵向 blanking 使得两个或多个视频流图像 Vertical 方向达到一致，然后通过串化器处理后，获得原始分辨率的视频流图像，向后级解串器传输。如 图 3-4 所示，这里一个图像通过 UB681 后，将一个大图分成了两个图分别送到了 UB688，然后到屏幕进行显示。

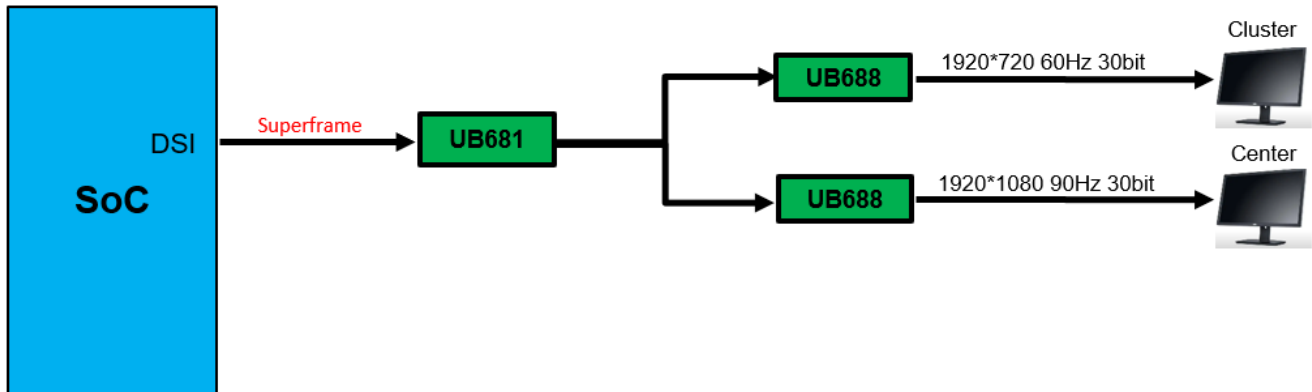


图 3-4. Superframe 应用案例

3.3.3 Daisy Chain 方案参考

如下 图 3-5 所示 Daisy Chain 的应用案例，多个视频流经过 SOC DP 口输出后，经过串化器分解后，再使用解串器"级联"的方式，向后级依次输出。注意，FPD-Link III 解串器可以作为最终菊花链最后一级，菊花链的中间级必须使用 FPD-Link IV 解串器，因为 FPD-Link III 解串器只有接收功能，没有向下一级解串器发送功能。

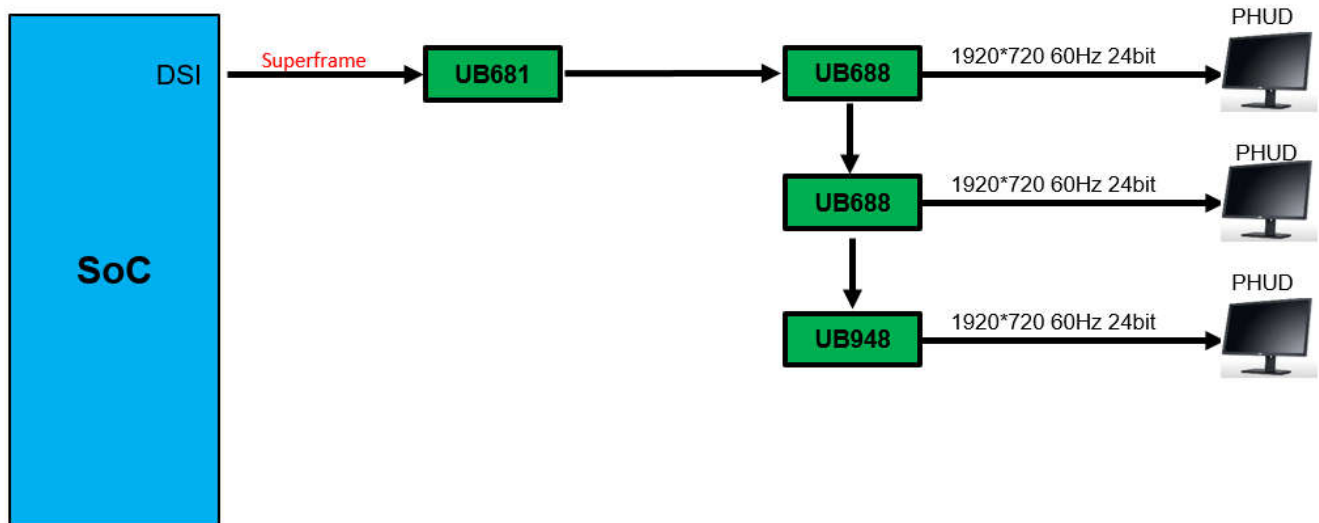


图 3-5. Daisy Chain 应用案例

4 Serdes 技术展望

当前技术车载 Serdes 的技术发展迅速。向着更高阶的 ADAS 系统，更高分辨率的车载娱乐系统，更高需求的系统功能安全，以及更加智能的功耗管理等方向发展：

- **更高分辨率与带宽**：支持 8M+摄像头和 30 Gbps 音视频及雷达数据传输，为 L3/L4 级自动驾驶提供更精细的环境感知能力。
- **功能安全升级**：结合 ASIL-D 级安全芯片，实现摄像头、传输链路与处理器的全栈功能安全监控。
- **智能电源管理**：动态调节 FPD-LINK 与 TDA4x 的功耗模式，延长新能源汽车的续航里程。

5 总结

TI Soc 处理器与 FPD-LINK 技术的结合，不仅解决了汽车摄像头系统的高带宽、低延迟传输需求，还通过强大的异构计算能力和多屏显示支持，为智能座舱和自动驾驶提供了端到端的解决方案。未来，随着传感器数量和分辨率的提升，这一技术组合将持续推动汽车电子向更安全、更智能的方向演进。

6 参考

1. <https://manpages.debian.org/experimental/weston/weston.1.en.html>
2. [Top Five Design Considerations for Smart](#)
3. [Display Interfaces: A Comprehensive Guide to Sitara MPU](#)
4. <http://software-dl.ti.com/processor-sdk-linux/esd/docs/latest/linux/index.html>
5. [TDA4VM 处理器 器件版本 1.0、1.1 和 2.0 data sheet](#)
6. <https://www.ti.com/lit/pdf/sszt401>

重要通知和免责声明

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、与某特定用途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、安保法规或其他要求。

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月