

借助 Versal AI Edge 系列 在边缘提供 ACAP

Versal™ AI Edge ACAP 是专门针对边缘计算的系列器件。这些器件帮助工程人员实现更高单位功耗性能和更低时延，同时满足严格的环境和安全认证要求。

概要

本白皮书介绍 Versal™ ACAP 产品组合的 AI Edge 系列。这是一种领域专用架构 (DSA)，能够满足 7nm 芯片工艺系统提出的严苛要求。该系列专为靠近模拟-数字边界的边缘节点而优化，满足其单位功耗性能要求。在这个位置，对真实环境的即时响应受高度重视，并且众多市场领域有这样的需求。

AI Edge 系列将 Versal ACAP 的应用面，从核心网和数据中心一跃扩大到边缘。依托异构计算的效率价值，AI Edge 系列主要优势是：

- 无高速缓存存储器层级（低时延和确定性）
- 硬化但可编程的基础架构（高吞吐量、低功耗）
- 功能安全性和保密性（提供可信解决方案）
- 灵活性、可编程性（能在开发过程中，甚至在部署后实现解决方案差异化或升级）

Versal AI Edge 系列的五大架构构件

AI Edge 系列专为边缘的商业、工业等应用而开发。在边缘如何平衡性能与功耗，实现低时延、小尺寸、低发热以及安全性和可靠性，是首要任务。因此，为了满足这些要求，AI Edge 系列器件以五大架构构件为基础。这些构件是：

1. 异构处理
2. 硬化的基础设施、I/O
3. 无高速缓存存储器层级
4. 功能安全及数据保密
5. 用于实现差异化的灵活性和可编程能力

从标量引擎 (Scalar Engines)、自适应引擎 (Adaptable Engines) 和智能引擎 (Intelligent Engines) 的构成上，可以清晰地看到异构处理需要多种类型的引擎，因为单类处理器无法以最佳方式执行应用所需的全部任务。标量引擎理想适用于复杂决策和控制。自适应引擎为运行多样化的高计算要求算法增添灵活性。智能引擎专为高级信号处理而优化，例如线性代数和矩阵数学（非常适合 5G 无线系统和 AI 推断）。此外，AI Edge 系列还提供专为机器学习推断应用而优化的智能引擎。

在拥有各类型处理引擎时，获得最佳性能的前提是它们在处理数据而非在闲置。因此在任何系统里，管理 I/O 瓶颈都是关键。然而，与功能固定的 ASSP 或 ASIC 不同的是，ACAP 能够为种类繁多的不同算法和数据流提供支持。与此同时，功耗也是 AI Edge 系列的关注点，纯粹使用自适应引擎构建基础设施并不能得到最佳效果。这些要求需要一种完全不同的问题解决方法。

其中的要点之一是开发一种可以编程的硬化片上网络 (NoC)。这种可编程 NoC 与 ASSP 或 ASIC 中的典型 NoC 不同，其可以通过编程为高速 I/O 和各种引擎之间的不同数据流提供支持；同时也能在单颗芯片上针对不同分辨率优化的不同算法运行时，支持不同的吞吐量、时延乃至位宽。这种“秘密武器”是 ACAP 和 FPGA 之间的主要差别。同样值得注意的是，为了满足时延或确定性要求，在必要时也可以使用替代方法路由数据通过自适应引擎。此外，赛灵思还硬化了该基础设施的其他关键部分，如存储器控制器、PCIe® 和以太网 MAC。

与 I/O 瓶颈类似，存储器访问也是系统开发的重要考量因素，可避免系统挂起。出于这个原因，同时为了确保基于 AI Edge 的系统能够提供实时性能所需的低时延和确定性，赛灵思实现了无高速缓存存储器层级的实例化。具体如图 1 所示。不同于拥有多个非确定性高速缓存层级的 ASSP 和 ASIC，该层级结构的所有层次本质上都是共享 RAM。加速器 RAM 是 AI Edge 系列引入的新元素，目的是能在片上存储大多数数据集，以减少片外存储器访问产生的功耗和时延。

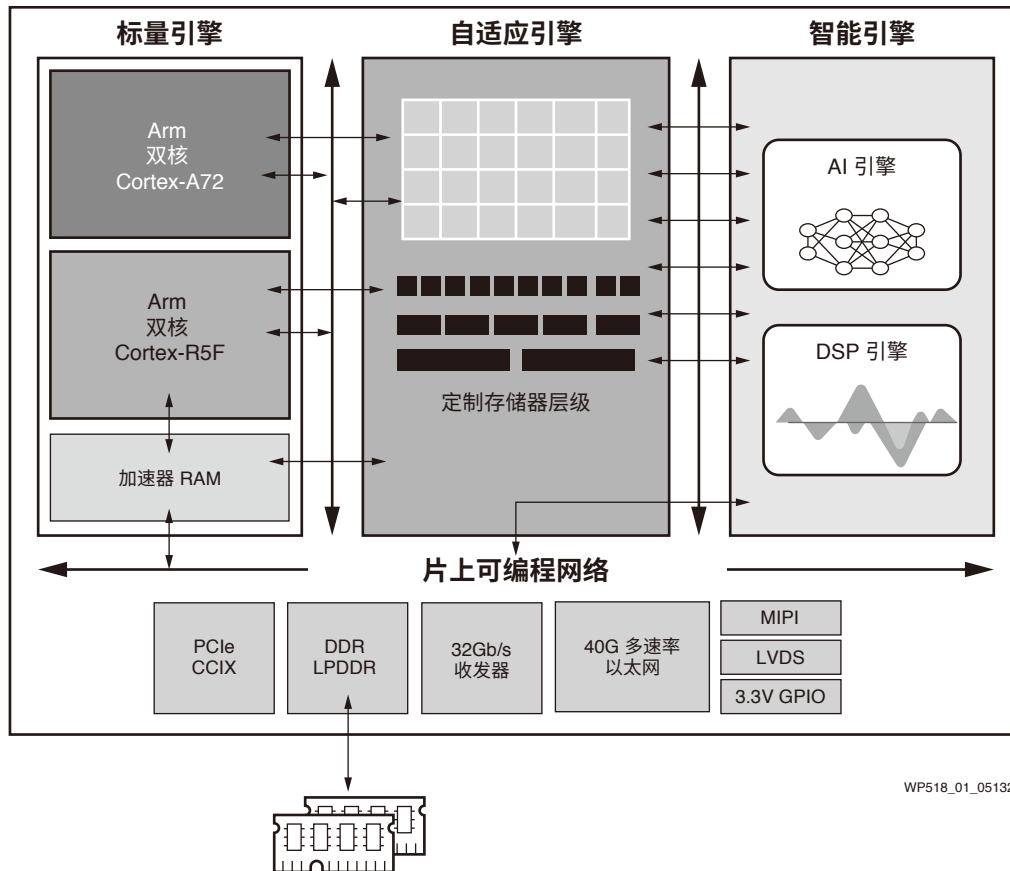


图 1: Versal AI Edge 系列无高速缓存存储器层级

因为众多边缘节点或终端（如汽车、机器人、无人机）都有严格的功能安全、信息安全、质量要求和认证要求，AI Edge 系列的设计目的是为开发需要遵循 ISO 26262、IEC 61508、DO-178C 和 DO-254 等标准的系统提供支持。以锁步方式运行处理器以及在器件各处遍布冗余等实现方案细节，确保 AI Edge ACAP 能以最高的功能安全水平支持系统。此外，ACAP 还能创建硬件可信根并提供攻击防护，以强化安全性。

第五个架构构件是灵活性与可编程能力，这有助于客户实现差异化，同时也是赛灵思与生俱来的特点。而且，对于 Versal ACAP 产品组合，赛灵思更是在原有的基础上，把这个概念更推进一步，旨在让开发者能够使用自己熟悉的工具和语言进行编程。编程 ACAP 有多种选项可供选择，其中一部分专为不熟悉 VHDL 或 Verilog 的 AI 和/或软件开发者而设计。针对这些情况下，AI 开发者可使用 TensorFlow 或 PyTorch 等机器学习 (ML) 框架并将自己的 C++ 算法和 Python 数据流指向 Versal ACAP，而无需使用传统工具编写 RTL。这种情况下不要求布局布线，只需要软件编译，从而使得开发流程迭代更快、效率更高。嵌入式软件开发者能通过 Vitis™ 软件平台使用 C 语言编程，而硬件工程人员则能继续使用 Vivado® 工具，用 VHDL 或 Verilog 编程。

将这些架构构件相结合，就相对于 ASSP、ASIC 和 GPU 实现了 Versal ACAP 和 AI Edge 系列的差异化。

Versal AI Edge 系列的设计理念

AI Edge 系列架构的开发目的是为了符合一系列严苛的设计目标，这些目标主要围绕计算性能、数据吞吐量、时延、确定性、功耗/热约束、可扩展能力、功能安全和信息保密。汽车、航空航天、工业和医疗物联网行业的相关应用尤为注重是否能够满足上述目标。

为提高计算性能而设计

AI Edge 系列由标量引擎、自适应引擎和智能引擎构成，因此适合的处理器能指向合适的任务。

标量引擎由低功耗域和全功耗域共同构成。低功耗域使用两个 Arm® Cortex®-R5F 处理器提供实时处理。当应用的功能安全要求需要符合较高水平的 ASIL 时，这些处理器在应用中能以锁步方式运行。这些处理器配备紧密耦合的存储器，用于实时任务处理。此外，它们也拥有片上 (SRAM) 存储器 (OCM)。

在同时需要较高处理性能和存储器管理单元 (MMU) 功能时，可以使用全功耗域。全功耗域有两个 Cortex-A72 核心和一个系统存储器管理单元 (SMMU)。

标量引擎通过低时延 NoC 路径与 DDR 通信。此外，标量引擎也包括 PCIe、1Gb 以太网和 CAN-FD 等专用通信组件。

自适应引擎提供可编程逻辑，将所有单元连结在一起，并允许创建专用定制块。自适应引擎包含块 RAM 和 UltraRAM，支持创建定制的存储器层级。这对于实现 ML 框架等用例很有用。存储器层级和数据传输能根据网络精准地适配。此外，自适应引擎也能够与可编程 I/O 紧密耦合，因此 Versal ACAP 能集成到雷达、激光雷达、GPS 和视觉传感器等多种传感器和接口中。

智能引擎由 AI 引擎和 DSP 引擎共同组成。AI 引擎是 VLIW 处理元和 SIMD 处理元组成的瓦片阵列 (tiled array)，为基于矢量的算法提供高计算密度。AI 引擎块包括用于定点运算和浮点运算的矢量处理器、一个标量处理器，还有专用的程序存储器和数据存储器。此外，瓦片阵列还提供 AXI 数据传输通道并提供对 DMA 和锁的支持。AI 引擎执行 6 路 VLIW 指令。这些指令是标量负载和矢量负载的混合，存储在每个周期上。AI 引擎阵列提供专用块间通信网络，并与自适应引擎建立紧密耦合的通信。这使得各应用能够无缝地为任务建立流水线，并为任务提供计算性能、数据传输能力和数据操作能力优异，存储器层级正确的完整解决方案。例如，随着自动驾驶汽车技术走向普及，为了执行复杂的任务，可能需要将多个神经网络按顺序链接起来。这加剧了依靠大批量数据的 GPU 实现方案所面临的问题。为此，赛灵思优化了 AI Edge 系列，使之能以极高效率处理小批量数据。

AI Edge 系列引入了用于机器学习的 AI 引擎 (AIE-ML)。这种引擎专为 ML 推断应用而进行优化。此外还对 AIE-ML 块进行了架构强化，从而显著提高了单位成本 TOPS、单位功耗 TOPS 以及 CNN、RNN 和 MLP 等 AI 和 ML 推断工作负载的吞吐量。通过在 AIE-ML 阵列中引入名为存储器块的片上共享存储器，存储器层级也得到提升。这些存储器块显著降低了 ML 应用的可编程逻辑资源需求，同时提升了总带宽和存储器容量。

DSP 引擎通过支持 58 位整数运算和单精度浮点运算，提供高计算密度和灵活性。它们适合于一切类型的信号处理任务，如图像调整、控制系统、医疗和无线应用。它们与自适应引擎紧密耦合，以构建与任务完全匹配的定制加速器。

为改善数据吞吐量、时延和确定性而设计

边缘的实时系统在处理来自多个传感器的海量数据，通常需要低时延和确定性。考虑到实时系统，例如汽车的行驶速度时，时延是特别重要的处理性能因素。当行驶速度达到 60 英里/小时，不同的 ADAS 系统在响应时间上的几毫秒差异，就会对系统的效能造成重大影响。AI Edge 系列为实现实时性能提供了多项功能，包括快速启动、可编程 NoC、硬化存储器控制器和 I/O。

平台管理控制器 (PMC) 管理器件的启动和设置，并且在器件运行过程中负责监测和报告。PMC 内部的处理由两个三模冗余 (TMR) 微控制器负责。PMC 负责功耗管理、安全、监测（电压/温度）和错误报告。

可编程 NoC 对整个器件上的所有资源提供统一的存储器映射访问。NoC 在整个器件系列上缩放。它通过设计支持所有的 DDR 存储器数据传输需求，以及器件内的高带宽数据传输。NoC 是一种数据包交换网络，用高速点对点跳频将数据传输到器件的各处。即使不利用 NoC 的内在并行性，也能提供超过 2Tb/s 的数据传输速率，当设计映射利用并行性时还能显著提高。此外，自适应引擎内的布线也能提供高带宽、低时延的数据传输，而且在耦合到内部的无高速缓存存储器层级时，还能提供确定性。

所有 Versal 器件都提供与硬化 DDR4/LPPDR4 存储器控制器结对的高性能 I/O (XP I/O)。I/O 可以用可编程逻辑直接控制，以构建软存储器控制器或高性能 I/O 接口（如 MIPI）。DDR 控制器的数量能够跨该器件系列进行缩放，以便为器件的计算资源提供合理的存储器带宽大小。

为降低功耗和加强热管理而设计

边缘设备和终端可能需要依靠电池供电运行，或满足严格的热度范围。全面利用 AI Edge 系列中的硬化 IP，例如可编程 NoC、存储器控制器和接口 MAC，是降低功耗的关键。

此外，赛灵思面向用户提供比其他处理器厂商更为丰富的芯片选项，帮助用户在低功耗与性能之间进行权衡取舍，包括：

1. 性能速度等级 -1（低）、-2（中）和 -3（高）
2. 工作电压低 (0.7V)、中 (0.8V) 和高 (0.88V)
3. 静态功耗筛选（低或标准）
4. 温度等级选项包括：扩展（0°C 至 110°C）、工业（-40°C 至 110°C）、汽车和国防（-40°C 至 125°C）以及军用级（-55°C 至 125°C）

AI Edge 器件也被分散到多个电源域，用来提供粒度更精细的电源控制。PMC 主动监测和控制器件内的电源域。

正如上文所述，有效地使用存储器层级和 I/O 也很重要，因为使用外部存储器和 I/O，特别是收发器，会显著增大功耗。这是在 AI Edge 系列中新加入加速器 RAM 的原因。

另一个降低功耗的有意思的方法是以新颖的方式在 AI Edge ACAP 中使用动态功能交换 (DFX) 功能，也就是过去所谓的部分重配置。DFX 使用同样的芯片区域提供互斥的多项功能。例如，当汽车停下且无人在内时，该器件履行安全相关功能。在汽车行驶过程中，它履行与安全和控制有关的功能。当汽车不再行驶时，则加载第三套任务集。此外，DFX 还能在系统运行时进行无线更新 (OTA)，有助于系统兼容未来。

为提供可扩展能力而设计

除了针对低功耗的一系列优化，AI Edge 系列也提供一系列尺寸小、重量轻、功耗省的器件，以通用的编程模型和平台强化代码可移植性，不仅在 AI Edge 系列内，也可以跨 Versal 产品组合。同样的开发方法既适用于在功耗 5-10W 下运行的小型传感器这样的小型器件，也适用于车载自动驾驶解决方案中功耗超 70W 的器件。针对 AI Edge ACAP 的开发，可以用 AI Core 器件立即开始，然后再移植到目标 AI Edge 器件上。参见表 1。

表 1: Versal AI Edge 系列资源总结

应用	智能传感器		边缘聚合			加速器	
器件	VE2002	VE2102	VE2202	VE2302	VE2602	VE1752	VE2802
AI 计算 (INT4)	11TOPS	16TOPS	32TOPS	45TOPS	202TOPS	101TOPS	405TOPS
AI 计算 (INT8)	5TOPS	8TOPS	16TOPS	23TOPS	101TOPS	101TOPS	202TOPS
AIE-ML 块	8	12	24	34	152	-	304
AIE 块	-	-	-	-	-	304	-
自适应引擎	2 万 LUT	3.7 万 LUT	10.5 万 LUT	15 万 LUT	37.5 万 LUT	44.8 万 LUT	52 万 LUT
处理子系统	双核 Arm Cortex-A72 应用处理单元/双核 Arm Cortex-R5F 实时处理单元						
32G 收发器	-	-	8	8	32	44	32
PCIe	-	-	1	1	-	-	-
PCIe + CCIX	-	-	-	-	1	1	1
估算功耗	6-9W	7-10W	15-20W	~20W	50-60W	50-60W	75W

为加强功能安全而设计

对于许多边缘节点（如 AD/ADAS 器件），在满足安全级别要求的同时，还必须满足性能和功耗要求。长期以来，赛灵思技术在汽车、航空航天、卫星、工业、医疗和商业网络系统中的高可靠性、高安全性和散热受限系统中得到广泛采用。ISO 26262 规定了汽车安全完整性等级 (ASIL)。ASIL 等级通过开展风险评估予以确定。AD/ADAS 任务通常以达成 ASIL B、C 或 D 等级为目标。其中 D 是要求最高，也最难满足的等级。类似地，IEC 61508 和 ISO 13849 下的 SIL 等级适用于工业安全应用。

在 LDP 领域内，当 Cortex RPU 处理器以锁步模式运行时，AI Edge ACAP 最高能达到 ASIL C/SIL 3 等级。而不以锁步模式运行时，该处理器能达到 ASIL B 等级。其他领域下能达到 ASIL B 等级。

三模块冗余 PMC 处理器持续监测器件的安全状况。PMC 提供了器件管理与其他处理域的清晰分离。该域保有安全可信根并为功能安全履行众多芯片范围内的监测任务。

ASIL 分解

构建系统时，较高的 ASIL 等级通过使用 ASIL 分解，可以用符合较低 ASIL 等级的组件来实现。“足够独立”的架构元素与冗余组件并行地实现。例如，ASIL D 任务可以分解成两个不同的 ASIL B 实现方案。它们履行功能并交叉核对结果。

AI Edge 器件支持 AD/ADAS 任务的划分，同时以极高处理性能和功率效率达成 ASIL B 等级。这样就能创建达到 ASIL C/D 等级的稳健系统。

需要达到较高 ASIL 等级的关键控制与通信功能在与器件其余部分实现充分的功能隔离的情况下，能够在 LPD 上运行。

功能隔离

单个器件可能需要托管有不同安全等级的不同任务。器件需要有将任务彼此隔离在不同的域中。保证互相之间不受干扰至关重要。AI Edge ACAP 可提供域间和域内隔离，能满足上述需求。

功能安全挑战

实现功能安全需要解决大量难题。如果器件在构建之初未将功能安全考虑在内，不但难以满足解决方案需求，而且还会带来高昂的成本（从性能损失角度）。

AI Edge 系列是以合理性能水平解决功能安全问题的理想选择，具体理由如下：

- 在开发安全特性的最初阶段就把最终目标考虑在内。Versal 架构在每个域内按功能硬件特性分区，并用全局资源监测和消除共因失效 (CCF)。
- 通过硬件资源提供计算加速资源，减少或消除对软件测试库 (STL) 的需要。
- 安全特性包含在所有域中，并非只是在安全岛内。
- 每个器件的子系统都按独立安全单元 (SEooC) 进行认证。这为系统集成商提供了正确的起始信息，方便对系统开展安全分析。
- 安全标准覆盖整个开发流程和工具链。赛灵思开发流程和工具与此保持一致。
- 器件灵活地分区并确保免受干扰。可编程 NoC 能在芯片各处提供存储器访问控制和路由，能针对目标应用定制可靠的隔离。
- 可以按需向自适应引擎添加定制安全特性。用工具支持确定自适应引擎中的故障 (FIT) 率分布，引导用户认证其定制设计。

为加强信息安全而设计

与功能安全相似，信息安全也必须在设计最初阶段予以考虑，才能满足任务关键型系统的需求。AI Edge ACAP 为物理安全标准和网络安全标准（如 IEC 62443）提供了一套可靠的信息安全特性，包括：

- 硬件可信根
 - 启动时间固件和图像认证
 - 用于解密图像的加密图像
 - 调试安全
 - 密钥管理
 - 带有远程认证功能的安全测量启动
- 攻击保护
 - 篡改检测与保护
 - 安全攻击保护
- 运行时安全
 - 可信域和可信执行环境
 - 存储器和外设保护

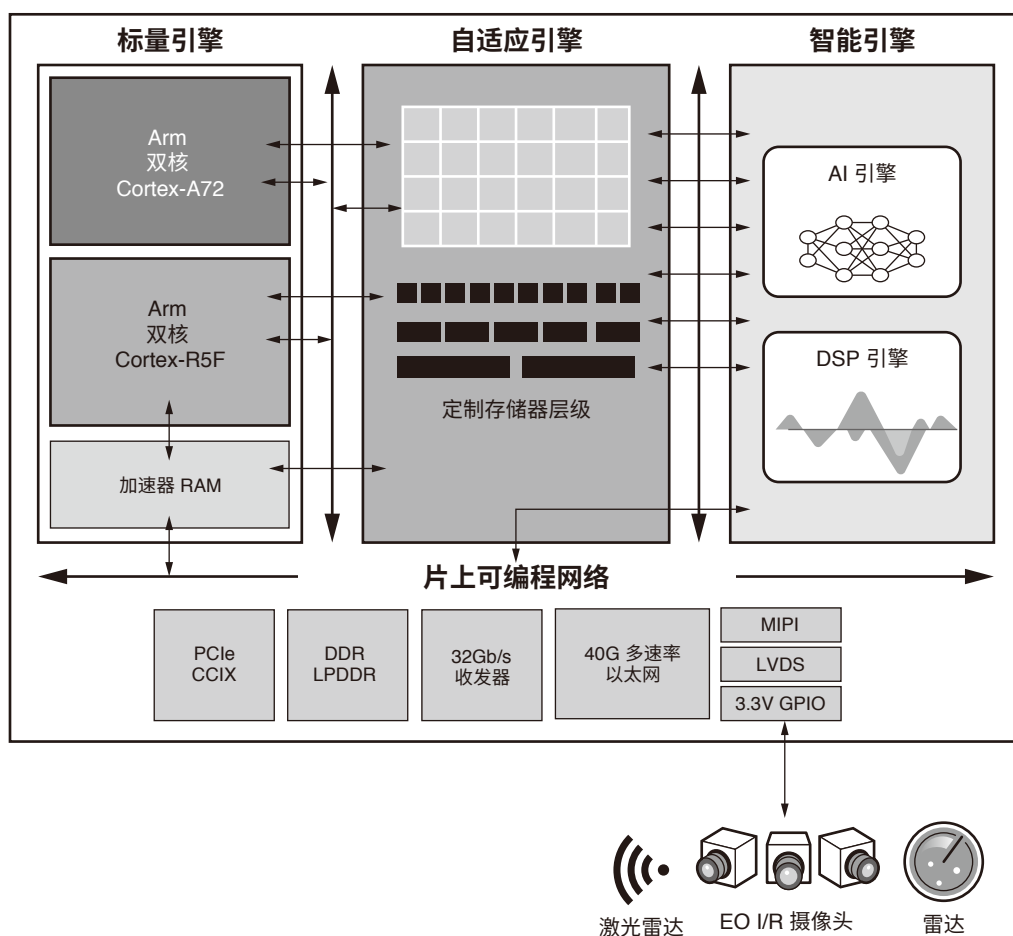
Versal AI Edge 系列用例

AI Edge 系列设计用于汽车、工业、视觉、医疗与科研 (ISM)、航空航天与国防市场的关键应用，同时也广泛适用于需要较高单位功耗性能的应用，包括汽车前视摄像头、无人机、机器人等传感器融合与 AI 相结合且占板面积小的应用。

汽车用例

在过去，赛灵思 FPGA 和 SoC 车用系列器件提供无与伦比的可扩展能力和单位功耗性能，以便客户为自己的 ADAS 与自动驾驶平台“量身定制”处理能力和成本。AI Edge 系列延续这一传统。为说明这一点，请参见如图 2 所示的智能前视摄像头（边缘计算）用例。

汽车前视摄像头代表一系列着重为驾驶人员提供整套便利和安全特性的产品。这些特性包括自适应巡航控制 (ACC)、车道偏离预警 (LDW)、自动紧急制动 (AEB)、交通标识识别 (TSR) 和交通拥堵辅助 (TJA) 等。地区性的新车评估计划 (NCAP) 指导方针正在进一步加快前视摄像头产品的广泛采用。



WP518_02_051321

图 2：前视摄像头 Versal AI Edge 架构

图 2 所示的是前视摄像头用例的典型架构和功能划分。AI Edge 器件内的 I/O 可支持摄像头优选的 MIPI 接口。必须注意的是，I/O 的可编程能力意味着 MIPI 通道的数量和相关的通道数量仅受 I/O 引脚的数量限制，因为它们并不是 ASSP 器件上的那种专用 MIPI 接口。这意味着基于 AI Edge ACAP 的前视摄像头平台能为单幅成像处理支持单个成像器，为立体成像处理支持两个成像器，为各种视野 (FOV) 和分辨率支持多个成像器。

典型的视觉处理流水线包括 ISP、计算机视觉分析（如光流和对象检测）和对象分类。此外，视觉数据还可以与来自雷达/激光雷达等其他前视传感器的数据合并/融合。这些传感器的接口通常是 CAN/CAN-FD 或以太网。AI Edge ACAP 为支持这些接口提供硬化外设。系统设计人员可以选择用软 IP 核心（可以在自适应引擎的架构中）扩展接口数量。所有视觉处理、融合和对象检测/分类功能都在 ACAP 的自适应引擎域和智能引擎域内加速。

特别值得关注的是用于对象分类和场景分割的 CNN 处理加速。自适应引擎可用于融合来自多个传感器的数据，同时操作/调节数据，为 AI 引擎负责执行的 CNN 计算处理创建输入特征图。为高效利用 AI 处理核

创建输入特征图。为高效利用 AI 处理核心、NoC、UltraRAM/块 RAM 架构和加速器 RAM 存储器，应根据性能需求和具体的网络需求实现高效的数据路径。

最后，ACAP 的标量引擎运行在整个系统应用软件上，以编排器件的其余部分并进行必要的评估以及属于前视摄像头功能的车辆控制/告警决策。Cortex-R5F 核心组能以锁步方式运行，支持安全关键型决策和车辆通信。

工业、视觉、医疗和科研用例

机器人是工业自动化系统的终极表达。精准控制、确定性通信、机器视觉、响应性 AI、网络安全和功能安全都是在构建协作式机器人、医用手术机器人、医用助手机器人和工厂与仓库自动导向车辆 (AGV) 以及其他工业和医疗应用时的关键技术考量点。此外，这些种类繁多的技术需要无缝地融合并实现互操作，才能组成一整套紧凑的系统。Versal AI Edge ACAP 提供通用的嵌入式软硬件平台。这种平台可重复使用、可扩展，能大幅加快上市进程、缩小外形尺寸、降低总体拥有成本，同时最大化这些产品的智能与灵活应变能力，从而为机器人实现一种模块化方法。具体而言，AI Edge 系列能够：

- 并行地处理控制环路，在不影响周期时间的情况下为数量可缩放的运动轴提供精准、确定性的控制
- 跨越多种彼此不兼容的工业物联网标准实现连接，包括通过时间敏感型网络 (TSN) 支持 OPC UA 和 DDS
- 支持数量庞大的异构传感器输入（如 RGB、红外、飞行时间、加速计、激光雷达和环境），实现传感器融合和高级传感器技术
- 通过实时分析和 ML 支持预测性维护、模型预测控制、远程诊断、数字孪生和更多边缘智能用例
- 作为嵌入式软件基础设置，为混合式关键应用和信息技术/运营技术 (IT-OT) 融合提供行业领先的支持
- 符合 IEC 61508 SIL 3 和 ISO 13849 PLe CAT4 功能安全标准
- 符合 IEC 62443 网络安全标准，支持带有远程认证功能的安全测量启动
- 以最高集成度缩小物理外形尺寸并降低功耗
- 为实时运动规划提供片上加速，从而最大限度提高效率与安全性，减少连接外部工业 PC 的需要

AI 引擎助力实现并简化了众多新用例。例如，将 AI 引擎与两个运行 Linux 的 Cortex-A72 处理器相结合，能提高机器人操作系统 (ROS) 的响应能力，在处理此类框架所需的复杂数学问题时，响应能力可提高 10 倍。AI 引擎让 ROS 的运行性能堪比极高响应性的系统，从而实现速度和精准度都大幅提升的运动。此外，专有机人框架也能从 Cortex-A72 处理器与 AI 引擎间的无缝集成中获益，从而加快响应速度。

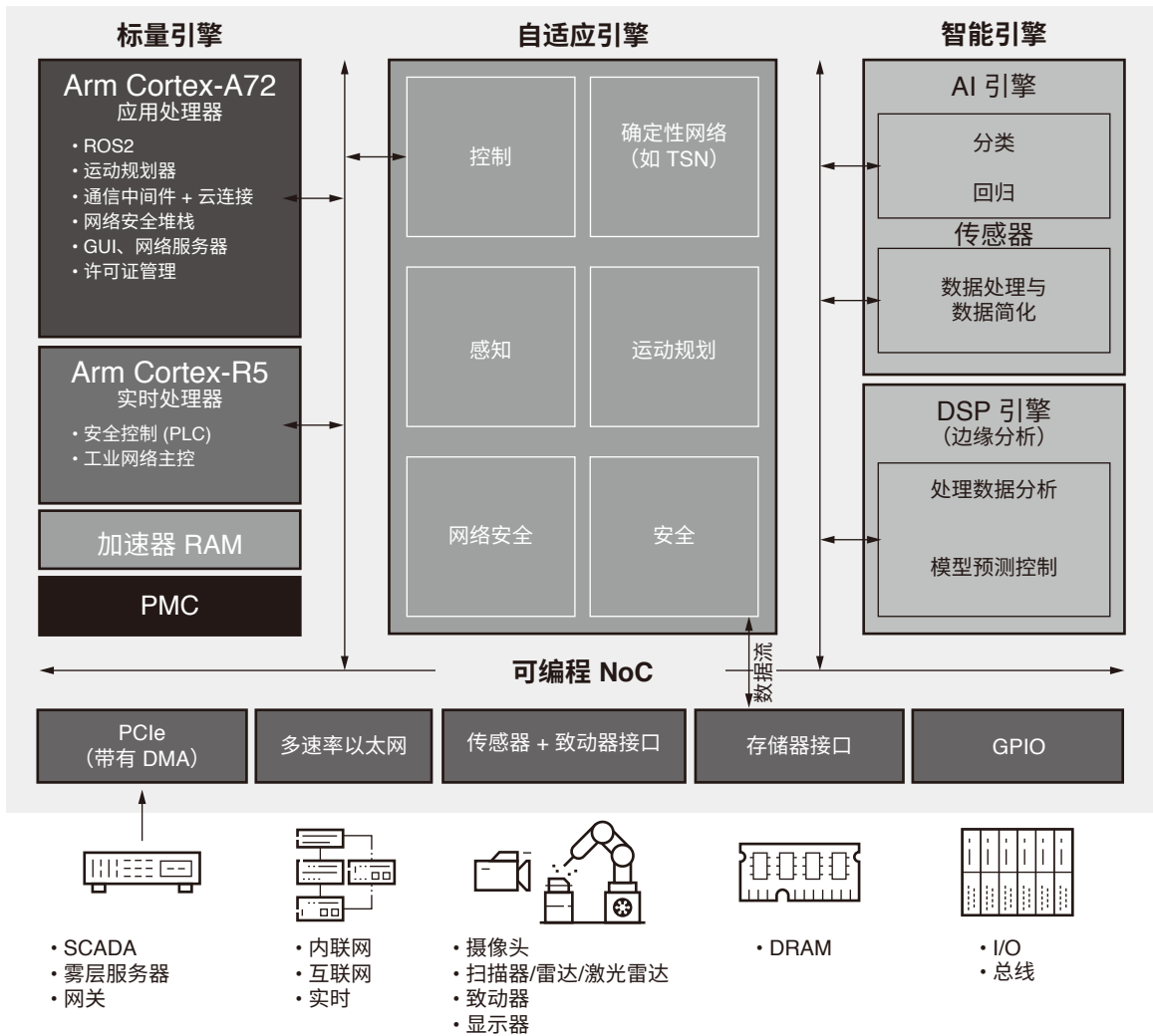
在 Cortex-A72 处理器支持的 1 类程序管理器技术和能缓存着色的 XEN Linux 内核的共同辅助下，整个 Linux 系统的预测能力增强。

Numpy、Scipy 和 Matplotlib 等 Python 库能与 AI 引擎交互使用。与纯粹使用 Cortex-A72 处理器的情况相比，Numpy 数学性能可以成数量级地加快。这有利于将来自多个传感器和来自网络的多个机器数据流处理并转换成可执行的本地信息，避免传递到云端计算系统和本地计算系统的不必要的数据传输。

AI 引擎和 Cortex-A72 核心提供的本地化高性能处理也有利于信息安全。例如，敏感数据无需以原始形态离开车间或手术室，避免系统暴露在可能的数据窃听或数据挖掘下。

此外，AI 引擎能执行模型预测控制 (MPC) 等先进控制算法与基于机器学习的算法或传统算法，提供本地化的预测性维护。

产生的成效切实可见，如提高性能、优化生产力、最大化设备运行时间。而且从长期来看，还能延长设备的使用寿命，大幅降低总体拥有成本。参见图 3。



WP518_03_051221

图 3: 使用 Versal AI Edge 架构的视觉引导协作机器人

在机器视觉场景下（图 3），AI 引擎能以比过去更高效（单位功耗性能）的方式实现对象检测、识别、分类、再识别、感兴趣区域等任务以及大量新兴的算法。

AI 系统不仅需要是安全的系统，而且 AI 引擎也要能用于增强传统上僵化的功能安全控制，实现更加动态的基于情景的执行。与人交互十分密切的协作机器人 (Collaborative robots) 受益最大，因为 AI Edge ACAP 的安全认证、先进的传感器、视觉和基于雷达的环境意识，以及可预测且快速的反应时间，能让协作变得极为安全和高效。

AI Edge 器件不是受制于传统约束的工业或医疗物联网边缘器件。相反，它们能在最贴近模拟-数字边界的地方求解涉及计算的问题，是数字孪生新概念的最理想选择。在大多数工业和医疗场景下，系统的运行周期时间一般在 1ms 或更快，这就需要边缘智能。无论是哪一种情况，只要是需要实时响应或者是需要卸载到云计算，赛灵思都能为用户解决实际问题的挑战提供所需的灵活性。

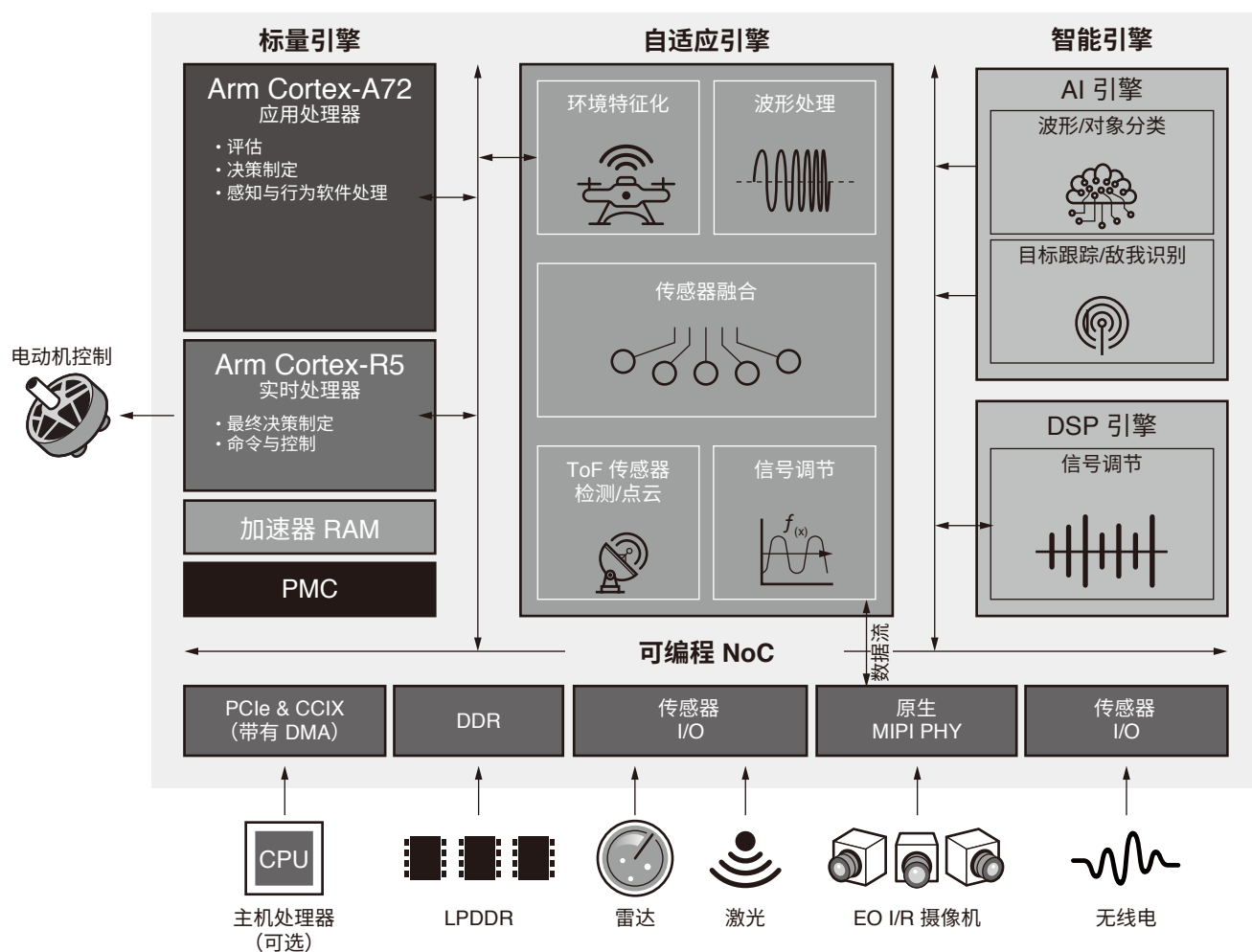
航空航天用例

赛灵思在这个行业有超过 30 年的成功历史记录，包括提供国防级、军用温度、耐辐射、抗辐射能力增强的器件和通过 DO-178C 和 DO-254 的系统级安全认证。AI Edge 系列以小尺寸、轻重量、低功耗 (SWaP) 器件延续这一传承，专为要求在最严苛环境下实现实时高性能的应用进行优化。

AI Edge 系列的航空航天用例的典型示例如无人机的多任务态势感知有效载荷。这种多任务性的内容包括用于通信数据链路的无线电、用于目标跟踪的雷达、敌我识别 (IFF)、用于目视侦察的光电传感器和其他传感器融合。态势感知可从用于信号智能 (SIGINT) 的后处理和 AI 算法中获得。

虽然在严格的功耗预算下汇总并处理所有传感器数据的难度极大，但 AI Edge 系列是唯一适用于这个任务的器件。它拥有大量可编程 I/O，能够支持来自无线电、雷达、摄像头和其他传感器的传感器输入。高效地传输这些数据，需要可编程 NoC 和低功耗 DDR 存储器控制器等硬化基础设施。自适应引擎非常适用于所有数据的传感器融合，它也适合完成可能需要的信号调节。

无高速缓存存储器层级能够确保以确定性方式快速地访问所有数据。智能引擎（特别是 AI 引擎）非常适用于采集所有数据并从中获取洞察。它们能使用各种神经网络开展波形和/或对象分类以及目标跟踪和 IFF。随着算法的演进发展，它们也能实现无线更新。标量引擎最适合开展评估与决策制定，以及命令与控制。如 Cortex-R5F 处理器以锁步模式运行和三模块冗余 (TMR) 等任务关键型安全功能。鉴于战场上使用的无人机有大有小，AI Edge 系列器件借助可扩展能力，可满足各类无人机的不同约束条件，提供最优化的 SWaP 性能。参见图 4。



WP518_04_051221

图 4：多任务态势感知无人机有效载荷的 Versal AI Edge 架构

正如图 4 所示，Versal AI Edge 器件可以作为多任务态势感知无人机有效载荷的唯一“大脑”，是提供最优化 SWaP 处理性能的绝佳处理解决方案，能支持当今和未来的所有任务关键型需求。

结论

本白皮书概述了将 Versal ACAP 架构用于 AI Edge 系列器件带来的优势。该系列既有功耗小于 10W 的智能边缘器件，也有功耗超过 100W 的车载或本地超算系统或有效载荷用器件。

这种架构用灵活的资源为整个应用加速。无论子任务是低时延推断、传感器融合，还是/或是管理一系列接口需求，AI Edge 系列都能根据任务的不同进行调整。这种灵活应变能力有助于最充分地利用可用的功耗预算。

此外，功能安全与信息安全在该系列设计之初就纳入考虑，确保了 AI Edge ACAP 能通过系统级安全认证。

如需了解有关赛灵思 Versal AI Edge 器件的更多信息，请访问：<https://www.xilinx.com/products/silicon-devices/acap/versal-ai-edge.html>

鸣谢

下列赛灵思员工参加了本白皮书的写作或为本白皮书的成文做出了贡献：

Rehan Tahir, 赛灵思芯片市场营销高级产品线经理；

Manuel Uhm, 赛灵思芯片市场营销总监

Paul Zoratti, 赛灵思汽车解决方案总监

相关阅读

1. 赛灵思网站, [通过汽车认证的 Zynq UltraScale+ MPSoC 系列](#)
2. 赛灵思白皮书 [WP505](#), 《Versal: 首个自适应计算加速平台 (ACAP) 》
3. 赛灵思白皮书 [WP506](#), 《赛灵思 AI 引擎及其应用》

修订历史

下表列出了本文档的修订历史。

日期	版本	修订描述
2021 年 6 月 9 日	1.0	赛灵思初始版本。

免责声明

本文向贵司/您所提供的信息（下称“资料”）仅在对赛灵思产品进行选择和使用参考。在适用法律允许的最大范围内：(1) 资料均按“现状”提供，且不保证不存在任何瑕疵，赛灵思在此声明对资料及其状况不作任何保证或担保，无论是明示、暗示还是法定的保证，包括但不限于对适销性、非侵权性或任何特定用途的适用性的保证；且 (2) 赛灵思对任何因资料发生的或与资料有关的（含对资料的使用）任何损失或赔偿（包括任何直接、间接、特殊、附带或连带损失或赔偿，如数据、利润、商誉的损失或任何因第三方行为造成的任何类型的损失或赔偿），均不承担责任，不论该等损失或者赔偿是何种类或性质，也不论是基于合同、侵权、过失或是其他责任认定原理，即便该损失或赔偿可以合理预见或赛灵思事前被告知有发生该损失或赔偿的可能。赛灵思无义务纠正资料中包含的任何错误，也无义务对资料或产品说明书发生的更新进行通知。未经赛灵思公司的事先书面许可，贵司/您不得复制、修改、分发或公开展示本资料。部分产品受赛灵思有限保证条款的约束，请参阅赛灵思销售条款：<http://china.xilinx.com/legal.htm#tos>；IP 核可能受赛灵思向贵司/您签发的许可证中所包含的保证与支持条款的约束。赛灵思产品并非为故障安全保护目的而设计，也不具备此故障安全保护功能，不能用于任何需要专门故障安全保护性能的用途。如果把赛灵思产品应用于此类特殊用途，贵司/您将自行承担风险和责任。请参阅赛灵思销售条款：china.xilinx.com/legal.htm#tos。

关于与汽车相关用途的免责声明

如将汽车产品（部件编号中含“XA”字样）用于部署安全气囊或用于影响车辆控制的应用（“安全应用”），除非有符合 ISO 26262 汽车安全标准的安全概念或冗余特性（“安全设计”），否则不在质保范围内。客户应在使用或分销任何包含产品的系统之前为了安全的目的全面地测试此类系统。在未采用安全设计的条件下将产品用于安全应用的所有风险，由客户自行承担，并且在适用的法律法规对产品责任另有规定的情况下，适用该等法律法规的规定。