WP493 (v1.0) 2017 年 9 月 6 日

智能工业物联网边缘（Edge）平台的关键属性

作者：Chetan Khona

赛灵思 All Programmable SoC 和 7 系列 FPGA 不仅可为当今的工业物联网 (IIoT) 平台提供最广泛的功能，而且还能为未来发展提供最大的灵活性。在工业系统的整个生命周期内实现最高的投资回报以及最低的总拥有成本。

摘要

本白皮书以工业通信、网络安全和边缘计算（从简单数据优化到机器学习）为例，重点介绍赛灵思 Zynq®-7000 SoC 和 Zynq UltraScale+ ™ MPSoC 对工业物联网嵌入式系统的适用性与好处。这些器件将 ARM® 应用处理器与 FPGA 逻辑（可编程硬件）、外设及其它嵌入式模块完美结合在一起，使用户能够在他们系统的软件智能与硬件优化之间取得理想平衡。

本白皮书将探讨工业设备的生命周期及如何结合软件和可编程硬件在短期内从根本上提升提升系统的功能，同时如何在迅速变化的工业物联网市场趋势中延长系统的使用寿命。本白皮书还将介绍协助在软件和可编程硬件间分配功能的软件工具，同时说明不选用 All Programmable 解决方案带来的业务风险与成本。

IT-OT 融合方法

工业物联网 (IIoT) 指涉及边缘设备、云应用、传感器、算法、安全性、保密性、大量协议库、人机界面 (HMI) 及其它必须互操作元素的多维度紧密耦合的系统链。一些人将 IIoT 愿景描述为运营技术 (OT) 与信息技术 (IT) 的融合，但实际上目标更为深远。OT 应用的时间敏感性和 IT 应用的数据密集性要求所有这些元素融为一体，如期、可靠地执行关键任务。但与另一项关键要求（即寿命周期）会存在冲突。寿命周期可确保系统供应商及其客户的这些 IIoT 系统的投资回报。在 IIoT 系统的分析、机器学习、网络安全等一系列基础底层技术方面正取得重大进展。然而，在扩展的生命周期进行修改或升级，这种紧密集成要求会给这些系统严格的时间性造成不必要的连锁反应。

应对这一挑战的最常见方法，就是寻求一款可用作 IIoT 边缘系统核心的嵌入式电子组件 —— 其具备可用的最佳规范，能够轻松应对意外情况。边缘系统是指位于网络边缘，最贴近实体工厂及其它工业环境（如运动控制器、保护继电器、可编程逻辑控制器等类似系统）的决定性嵌入式通信与实时控制引擎。千兆赫时钟频率、内存容量加大、输入 / 输出端口数量增多、最新加密引擎，看起来可为尚未知晓的未来需求提供解决方案。但是在应对工业设备的时间尺度时，因为其关键子系统的工作时间尺度是几百毫秒（或更短），却需要在工厂内和偏远地点工作数十年，仅依靠先进的多核嵌入式处理器在 IIoT 领域的扩展，最多只能算一种想象。在最坏的情况下，这是一种短视做法，会导致一系列难度大、成本高的市场营销和工程权衡取舍，而权衡取舍的主要目的是管理性能瓶颈造成的功能时序问题。鉴于所涉时间尺度，在 IIoT 边缘亟需更高的扩展自由度。通过使用可编程硬件来增强运行在嵌入式处理器内核上的软件，可以释放这样的扩展自由度。这种一致性更高的方法，可以轻松管理确定性、时延和性能，消除 IT 与 OT 域间以及 OT 域中子系统内的干扰。

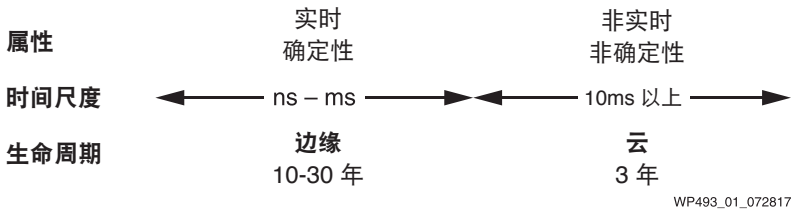

图 1： **典型 IIoT 系统的时间尺度、属性和生命周期**

通过并行方式，提供硬件虚拟化等功能的处理器能产生可持续价值，这不仅让架构师能够整合新的客户操作系统，而且还可提供所需的自动化和隔离水平。同时还提供始终有用的特性，例如像内存保护（奇偶，或最好的纠错码 [ECC]）这样永不过时的特性。采用专用硬件来增强静态处理器架构，实现劳动分

工，让各硬件各司其职，这对嵌入式电子行业来说绝非新模式。还需要注意的是，随时间自动调整任务与劳动分工。例如最新预测维护算法，其所需的传感器输入数量多于此前的输入数量。让硬件负责增量计算，可维持总体负载以及处理子系统的周期时间（这是最重要的）。对购买和安装系统的客户以及在未来数十年中从该设备获得多重增值软件服务收入流的系统供应商而言，这一灵活性能带来巨大收益。

在选择能随时间发展适应市场趋势影响的 IIoT 边缘平台的情况下，本白皮书重点研讨构成 IIoT 基础的三大关键应用领域（即连接、网络安全和边缘计算）。拥有一款具有高度灵活、可扩展、能同时处理 OT 和 IT 技术的 IIoT 平台极为重要。All Programmable SoC（即全可编程片上系统）兼具软件可编程和硬件可编程特性，是一个理想的解决方案。本白皮书还涵盖两个与 All Programmable SoC 有关的技术专题：软件定义硬件和 All Programmable SoC 与分离嵌入式处理器的辅助 FPGA 的对比。赛灵思提供的 Zynq-7000 SoC 和 Zynq UltraScale+ MPSoC 系列专门全权处理 IT 和 OT 任务。见图 2。

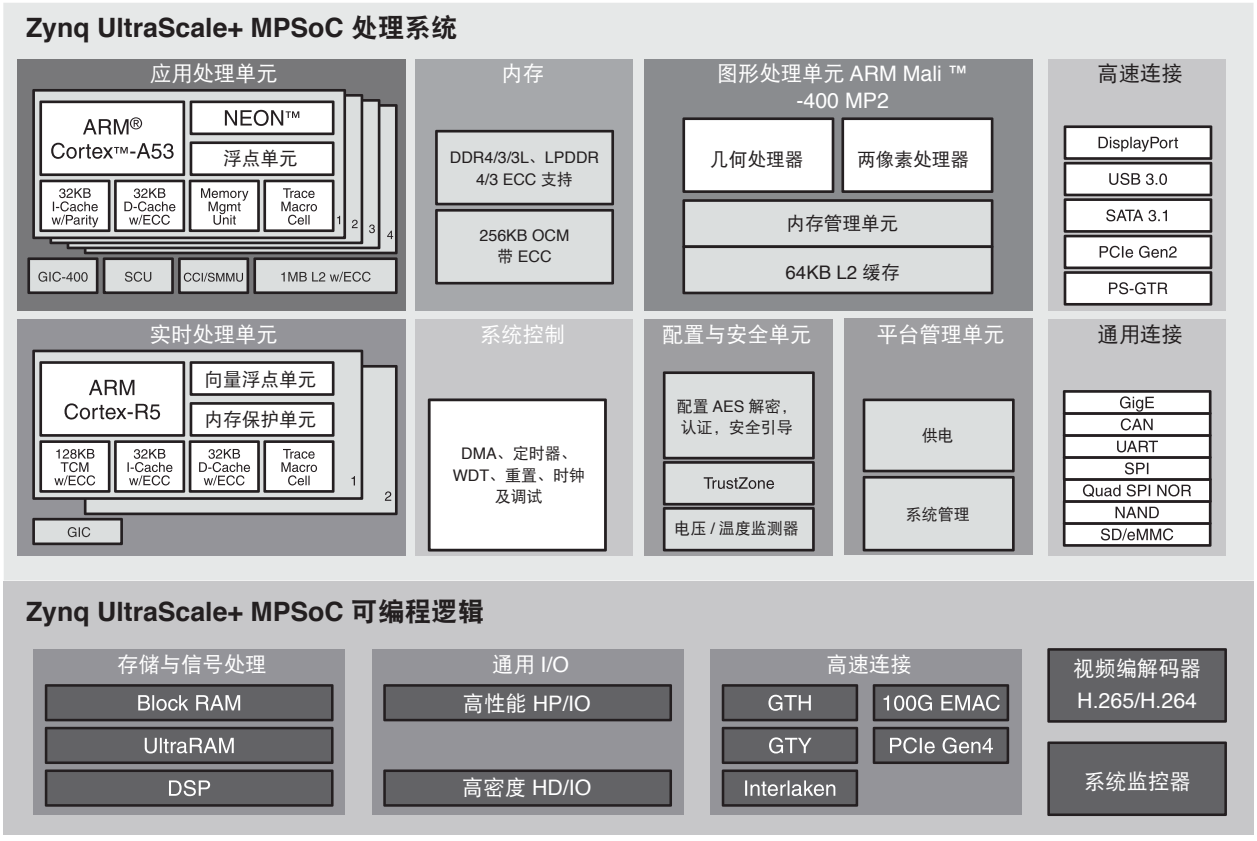

图 2： **Zynq UltraScale+ 方框图**

连接：从现有标准到未来协议

IIoT 时代的连接朝着精简方法发展，但这一转型带来新的复杂性。OPC 基金会的开放平台通信统一架构 (OPC-UA) 和实时系统数据分配服务 (DDS) 等边缘和系统级协议正在各自的应用领域赢得强劲的发展势头。这两者都能随着时间敏感网络 (TSN) 的兴起而大受裨益。这是一种确定性以太网传输，能够管理混合关键性流。TSN 能在整个边缘网络和 IIoT 的大部分网络中有力地落实统一网络协议愿景，因为它能伴随尽力服务流量 (best-effort traffic) 支持各种程度的流量调度 (scheduled traffic)。TSN 是一种不断发展演进的标准，在该标准的各方面以及最终市场特定状况尘埃落定之前，宣传专用芯片组（例如 ASIC 或 ASSP）的标准合规性，这种做法风险重重。类似地，通过纯软件方法试图向管理实时数据的现有控制器添加 TSN 支持，至少也会导致不可预测的时序行为。这样可能会导致中断响应、延迟内存访问时间等的劣化。最终，这不会成为一种合理的解决方案，因为 TSN 要求的是一种目前的处理器中尚不具备的时间感知形式。但即使不在同一器件中集成 TSN（以管理控制功能，如端点），如果把外部 TSN 交换机集成到系统内，与多个端点连接的交换机也很有可能能够为支持非 TSN 的控制器提供以太网向后兼容支持。目标是将 TSN 集成到端点中，在实现调度流量与尽力服务流量并行的同时，让对控制功能时序的影响最小。见图 3。

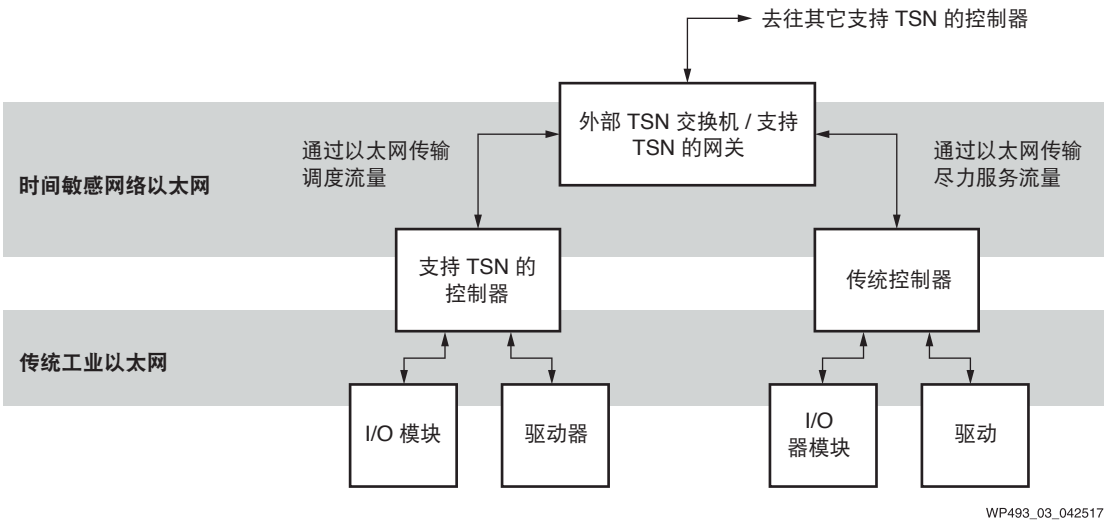

图 3： **TSN 拓扑与优势**

在控制器中集成 All Programmable TSN 实现方案，在避免对软件时序产生重大影响的情况下通过在硬件中实现带宽密集型和时间关键型功能，能最小化变更造成的影响。使用赛灵思内部开发的完全符合标准的 TSN 优化实现方案，设计人员能实现纯端点或桥接端点。不论是将采用 All Programmable SoC 设计的控制器从标准以太网升级到 TSN，还是使用不断发展演进的 TSN 标准设计新的控制器，赛灵思的 All Programmable 方法不仅能让设计人员在做出改动时尽量避免给关键时序造成影响，同时还可满足未来需求（相对于 ASIC 和 ASSP 而言）。

还值得考虑的是一种替代性，但同样常见的用例。因为 IIoT 并非是一个全新行业，它仍然需要支持这个行业以前和现在这种条块分割状态下使用的大量传统工业协议。大多数新型 SoC 对这些协议中甚至相当大的一部分不提供支持。因此，网络接口的数量可能超过大部分这些固定 SoC 的 I/O 功能。相比之下，采用赛灵思的 All Programmable SoC 创建的系统能满足客户的定制要求，例如支持传统协议及其相关的 I/O 连接。不管协议要求的是 250μs 或 64μs 周期时间，这些工业通信控制器采用完全封装和硬件卸载实现方案后，能避免额外器件带来的成本，且不会造成软件方法可能导致的对主流软件和固件的副作用。

不论是使用 TSN、传统工业协议，还是最常见的新旧混用的情况，赛灵思都提供具有设计确定性的任意连接。

网络安全：硬化的和适应未来威胁的能力

对广义的网络安全课题，IIoT 思想领袖采用“深度防御”方法。深度防御是一种多层安全形式，始于供应商的供应链，直至最终用户的企业和云应用软件，甚至延伸到软件可能连接的物。在本部分将介绍用于部署在 IIoT 边缘的嵌入式电子装置的信任链。随着网络延伸至模拟 - 数字边界，数据只要进入数字域就必须得到安全保障。深度防御安全要求强有力的硬件信任根，能通过硬件、操作系统和软件隔离以及安全通信实现安全与测量启动操作及运行时间安全。通过可信远程认证服务器、认证中心等独立核实证书的操作应通过该链部署。

在预期网络安全攻击频率增多的情况下，安全绝非静态不变，而是处在不断演进中。例如自 1995 年以来，已对传输层安全 (TLS) 安全消息协议做过五次重大修改，还有更多改进即将做出。IIoT 系统供应商及其客户需要知道如何减轻长期安全风险，同时最大化高成本资产的寿命和利用率。奠定 TLS 等协议的加密算法一般实现在硬件中，但随着 IT-OT 融合的发展，这些 IT 侧的变化会给时间关键 OT 性能造成不利影响。为减轻这种影响，如管理程序等部分软件架构工具以及其它隔离方法现已经开始问市。产品实地部署多年后，也可以将这些软件概念与使用可编程硬件卸载和支持目前尚未定义的全新加密功能的能力相结合。这一方法提供更强有力的风险规避计划，可避免高成本的召回、补丁和可能的立法威胁。

软件定义的硬件

“网络安全：硬化的和适应未来威胁的能力”一节中曾提到，硬件卸载获得的不只是 All Programmable SoC 可编程硬件的支持。实现整个愿景需要能优化这一技术的软件自动化功能。像 SDSoC ™ 开发环境这样的工具能让用户编写 C/C++/OpenCL 及其它日益增多的语言，将功能的全部或部分分区到可编程硬件或软件中。SDSoC 开发环境还能在处理器和可编程硬件间生成数据移动引擎和基础架构。2015 年，

SDSoC 工具结合使用高级加密标准 (AES)-256 算法，在将算法部分移到可编程硬件时，显示性能提升高达 4 倍提升。《Xcell 软件刊》中的“使用 SDSoC 加速 AES 加密”一文。

该基准测试的重点是探索软件智能与可编程硬件优化的最佳平衡。不过这个工具也能将该功能完整地卸载到可编程硬件。与此相似，通过硬件加速引擎，马达控制环路收敛时间与纯软件实现方案相比，能将性能提升 30-40 倍。见图 4。

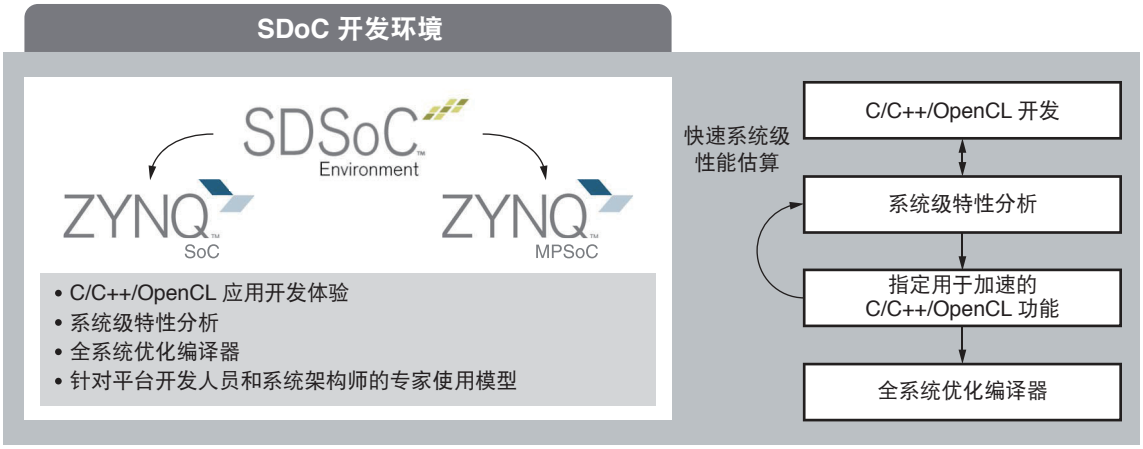

图 4： **SDSoC 设计环境 设计流程**

边缘计算：可扩展、低成本与实时

如同通信和安全，边缘计算正朝向超多个方向演进。云的计算能力运行在之前无法访问的系统所释放的数据流上，为用户提供了前所未有或无法理解的可执行的洞察力。这就建立起一套可用作新基线的预期或桌面筹码。正如依靠 GPS 实时导航系统会让大部分高速公路地图过时，工业设备的购买者和使用者对来自他们的 IIoT 系统的反馈有着不同的期望。目前在下列三大因素的推动下，趋势是把这些洞察的生成从云端推向边缘：

- 在从边缘到云端的往返环路中以尽量快的速度应用洞察
- 发送（在许多情况下）大数量数据到云端的成本
- 发送数据到云端的安全、可靠性和隐私问题

有些行业趋势不应该看得那么绝对。对解决部分此类安全和隐私问题，即便只是在本地预处理数据，然后把优化后的混淆数据发送到云端，也能带来巨大的好处。最简单的例子是把低通或平均滤波器应用到负责控制机器的控制器上的时间序列数据。结果是既减少发送到云端的数据点数量，也抑制了离群数据。

通过可编程硬件，您能将这些优化功能在数据流出机器时应用到数据上。与使用复杂内存事务相比，能实现最高效的数据处理。这是因为内存事务会影响根据数据制定任何可能决策的响应时间。这个例子可以表达为来自单个传感器的单数据流，但实际上许多工业系统是由数百个乃至数千个并行数据流组成的。连接的数量放大了问题，以及可编程硬件通过各种传感器融合技术和片上分析提供的解的值。

在这里描述的示例中，智能嵌入在控制器中，对时间敏感反馈项进行本地调整，将时间关键性较低的数据以压缩格式推送到云端。这是边缘和云端相互补充的最好例证。这种对嵌入式智能和边缘 - 云端协作的描述也能适用于边缘上的机器学习，这是 IIoT 领域重要性不断上升的一个课题。机器学习 — 其中包括基于神经网络的机器学习推断和部署，以及回归和其它经典方法，极其适合可编程硬件构成的高能效、可定制和大规模并行计算架构。出于这个原因，基于可编程硬件的加速卡在云中得到广泛使用。同一 All Programmable 技术可供在边缘使用，为多传感器机器学习应用提供最低时延、功耗与成本。由于 All Programmable 技术既能高效支持 IT-OT 融合的所有基本方面，同时又能为新兴领域提供一流功能，该技术单个器件可以覆盖最广泛的 IIoT 应用。比如将马达控制、机器视觉、网络通信、功能安全、网络安全等应用与边缘分析和机器学习相结合，是 All Programmable 技术在 IIoT 中的预期用例。通过使用附带支持库的 SDSoC 开发环境等工具，用户只需占用最小型 All Programmable 器件的一部分资源，就能把大量算法实现在器件中。见图 5。

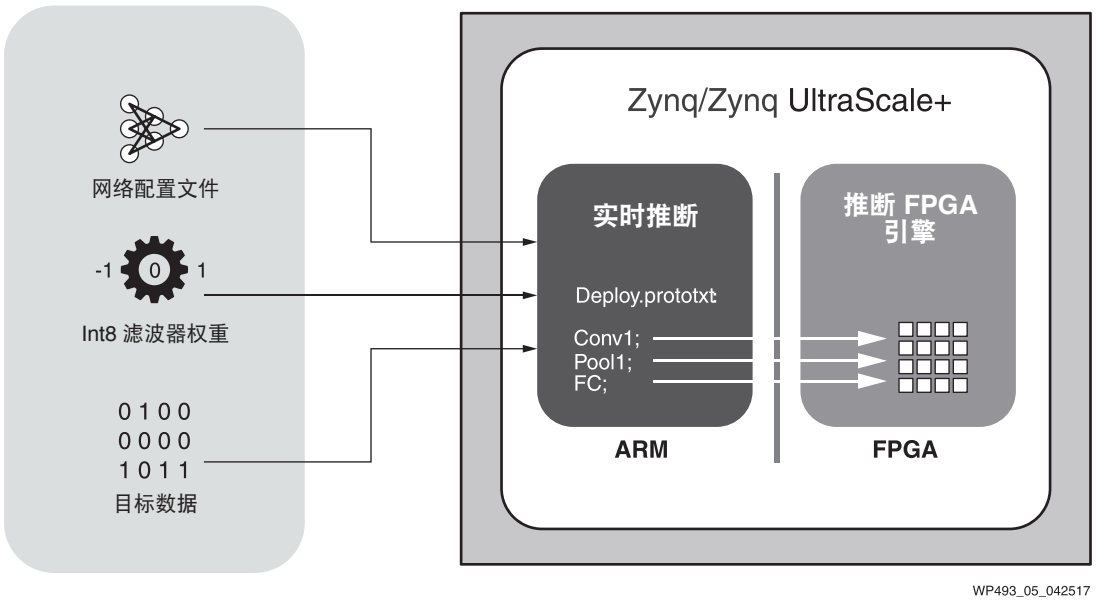

图 5： **Zynq-7000 和 Zynq UltraScale+ SoC 的机器学习推断流程**

传统处理器的辅助 FPGA

要实现宽泛的 IT-OT 功能，IIoT 边缘平台首选 All Programmable SoC。这些器件可提供前面描述的集成优势，同时还可降低功耗和成本。在已经有之前的架构存在的现实环境中，比如说存在专门用于传统嵌入式处理器的传统代码的情况，此时还有另一个选择。在这种情况下，通过使用称为 FPGA 的纯可编程硬件器件，仍可发挥上文介绍的部分优势。FPGA 作为能与主嵌入式处理器方便接口的辅助器件运行。这些 FPGA 发挥主嵌入式处理器的协处理器的作用，提供实现紧凑的微处理器或微协处理器（例如赛灵思 MicroBlaze ™）的选项。这些软处理器（用可编程硬件构建）支持多种操作系统和实时操作系统。使用这些选项，在传统系统环境中也能卸载不断演进的或时间关键的功能。FPGA 和 SoC 等赛灵思 All Programmable 产品组合不仅能实现可在更大温度范围内使用的生命周期长、可用性高的芯片，而且还能够对整个或部分器件进行重配置，即便在运行中也能如此。同时在共享封装兼容的情况下提供多 FPGA 选项，便于采取平台化措施。双芯片方法与 All Programmable SoC 相比，处理器与 FPGA 之间缺乏高带宽。这种高带宽和单芯片 SoC 内的连接数量，有助于软硬软件之间的动态劳动分工（即之前的示例的前提条件），这种特性是双芯片解决方案无法媲美的。即便有这些局限性，可编程硬件的价值也大到足以让越来越多的嵌入式处理器在它们的数据集中推广专用 FPGA 接口（一般根据 PCIe、SPI、QSPI 等标准构建）。

新工业时代针对寿命的软硬件可编程性

采用电气化工业控制系统问世已有百余年时间。正如有些人将 IIoT 称为第四次工业革命一样，不仅可用的技术和所需完成的任务发生了改变，整个行业的发展速度也随着变革的速度加快。目前，IT-OT 任务随着时间不断深化和扩展，IIoT 边缘平台的构建块新技术应运而生，使其基本上能够很好处理这些任务。与前二三十年使用的传统嵌入式架构构建块相比，Zynq-7000 和 Zynq UltraScale+ 器件等 All Programmable SoC 运用软件和硬件可编程性保持资产长期有用。那种针对每个端点产品使用不同嵌入式处理器，而毫不考虑其连接的是同一云基础设施的方法，是一种行将失败的方法，因为 IIoT 系统开发中大约 75% 的成本都与云和嵌入式软件开发息息相关。对系统供应商来说，最重要的是通过软件服务让他们投入的研发时间和资金创造价值，而不是再开发通信接口、安全基础架构、控制环路时序、数据分析算法等。FPGA 方法为那些必须处理传统处理器的供应商提供了众多这种优势。All-Programmable SoC 方法有助于最大化可用选项，是面向工业系统供应商及其客户增加投资回报的关键。

结论

总之，本白皮书重点介绍赛灵思 All Programmable SoC 和 FPGA 如何通过下列途径为系统供应商及其客户最大化投资回报 (ROI)：

- 赛灵思 All Programmable SoC 和 FPGA 的长期可用性与它们内在的软硬件可编程性结合，实现现场更新，避免不能遵循 IIoT 新标准和趋势的风险。
- 通过多个赛灵思器件系列为系统供应商平台提供可扩展性，以综合性产品系列降低总拥有成本
- 集成来自 IT 域和 OT 域的多重 IIoT 功能到单个高灵活性、低时延、高能效器件中

入门

赛灵思是可扩展综合性 IIoT 边缘平台的领先解决方案供应商，继续携手 IIoT 行业的其他领先公司，共同提供越来越多的网络研讨会录像、应用指南、参考平台和评估套件。示例包括

（但不限于）工业以太网连接、马达控制、用于硬件信任根的安全与测量启动、机器学习等。尤其是安富利工业物联网入门套件和赛灵思 All Programmable 工业控制系统 (APICS) 融合从边缘到云端的多种技术，体现了这种集成的优势以及 All Programmable SoC 的强大功能。

如需了解有关 IIoT 中 All Programmable SoC 和 FPGA 的更多信息，敬请访问：
https://china.xilinx.com/applications/megatrends/industrial-iot.html

修订历史

下表是本文档的修订历史：

日期	版本	修订描述
2017 年 9 月 6 日	1.0	赛灵思首次发布

免责声明

本文向贵司 / 您所提供的信息（下称“资料”）仅在选择和使用赛灵思产品时供参考。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。赛灵思产品不旨在也不打算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：http://china.xilinx.com/ legal.htm#tos。

汽车应用免责声明

汽车产品（产品部件号中标识为“XA”）不保证用于安全气囊的开发或用于影响车辆控制的应用（“安全应用”（除非在该赛灵思产品中具备故障安全保护或者额外功能，符合 ISO 26262 汽车安全标准（“安全设计”）。为安全起见，客户应在使用或分销任何集成有该产品的系统之前，对这些系统进行全面测试。在没有安全设计的安全应用中使用产品的风险完全由客户承担，仅受有关产品责任的适用法律和法规限制。