

An industrial robot arm, primarily orange and red, is shown in a factory setting, performing a welding task. Bright sparks are visible at the point of contact between the tool and the workpiece. The background is a blurred industrial environment with blue structural elements.

AMD
XILINX

机器人自适应计算

智能工厂美梦成真

内容摘要

市场对机器人的需求一直在迅猛增长。研究机构 Statista 举例表明，到 2028 年，全球工业机器人市场将从 2021 年的 810 亿美元倍增到超过 1,650 亿美元⁽¹⁾。目前，建造机器人所需技术不但安全可靠，而且能够与人类并肩运行。不过，让这些技术协作运行是一项艰巨的任务。更为棘手的是，还需要融合人工智能，这使得满足计算需求变得更为困难。为了跟上当今快速的创新步伐，机器人专家转而求助于自适应计算平台。它们能够在模块化平台（可面向未来需求进行扩展）上实现时延更低的确定性多轴控制，而且内置功能安全与信息安全功能。





目录

第 1 章： 日益增长的机器人需求	1
第 2 章： 何为机器人？	4
第 3 章： 常见的设计挑战	8
第 4 章： 当今机器人技术	12
第 5 章： 未来机器人技术	16
第 6 章： 引入自适应计算	19
第 7 章： 面向机器人的自适应 SOM	22
第 8 章： ROS 2 机器人操作系统框架	25
第 9 章： 硬件加速 ROS	28
第 10 章： 总结	31

第 1 章

日益增长的 机器人需求

机器人用例：
由 AI 与机器人共同管理的垂直农场

借助机器人能够执行简单的人类任务，
如：看护苗圃中的植物等。



不久之前机器人还只是科幻小说作家的幻想，但是如今机器人已经无所不在。

国际机器人联合会 (IFR) 的《世界机器人 2021 工业机器人报告》指出，2020 年全球工厂工业机器人投用数量达到约 300 万台，同比增长 10% (图 1)。⁽²⁾ 2020 年专业服务机器人市场增长了 12%，达到 67 亿美元，与此同时，消费服务机器人市场增长了 16%，达到 44 亿美元。⁽³⁾

2015 年~2020 年及 2021 年~2024 年工业机器人年安装量预测
(千台)



(1): 2021 年全球机器人

图 1 - IFR 表明，截至 2020 年底全球机器人安装量已接近 300 万台。资料来源：IFR

第 1 章：日益增长的机器人需求

目前，许多机器人被用于应对人员短缺以及用于工人不愿意做的工作或者无法达到相同精度的任务。在美国，[大部分机器人](#)⁽³⁾ 被用于汽车制造、电子产品、塑料/化工以及金属制造。机器人在危险环境下或狭窄空间内能够运作自如，可以轻松处理有毒化学品、举起笨重物体和执行重复性工作。它们无需休息就能够始终如一地生产高品质且精确的产品。

近年来，工厂、农场和其他工业环境雇佣工人的难度越来越大。面对劳工短缺和供应链问题，为了维持运营，除了转而采用半自动或全自动系统，这些企业别无选择。

随着软件与机器视觉技术的不断发展以及自适应计算获得强势的发展，我们有可能在装配线和仓库看到更多机器人，用于协助保持商品供应以及推进自动驾驶、快递服务等前沿应用的发展。



图 2 - 某些机器人是在涉及人类安全问题的危险环境下工作。



第 2 章

何为机器人？

机器人用例： 工业机器人

诸如此类的工业机械臂等协作机器人可以轻松处理重复性任务，而且可以在很少或者无需人类干预的情况下与人类并肩工作。



复合系统

机器人是设计用于执行特定任务的复合系统。它是软硬件的终极组合。有些人把机器人描述为“系统集成的艺术”。机器人专家采用网络、传感器、致动器与计算资源的组合创建旨在简化人类生活的精密机器。

机器人是将多种技术融为一体的结合体。其中包括工业控制与通信、视觉、机器学习、AI、HMI、安保等。

“我们已拥有广泛可用的自适应硬件组件与系统。它们的结合会催生出一款平台，在这个平台上，用户的任何创新的且经过验证的创意都可以成功实现。” – Said Zahrai, ABB 机器人创新主管



第 2 章：何为机器人？

机器人行为

许多机器人的行为都取决于相关系统的计算图，而其数据层图用于对其机器人部件的物理分组进行建模。更简单地说，数据层图是机器人的布局，其中计算图是它的原理图。这就是机器人专家的画布。参见图 3。

由于机器人的机载输入/输出器件和计算能力有限，因此关键是为机器人系统选择理想的计算平台，不仅能够简化系统集成、满足功率需求，而且还能适应不断变化的环境。不同于以独特性而获得价值的艺术品，理想的机器人是基于开放的标准进行开发，而且目的是实现大规模量产。我们会在下文更详细地探讨这些概念。

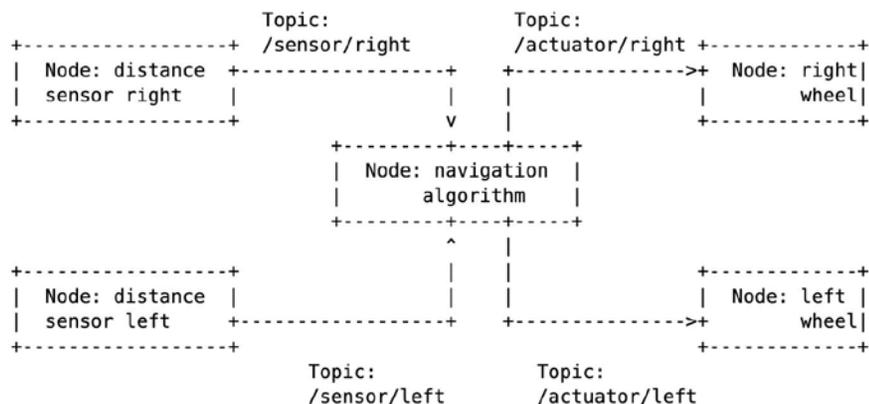


图 3 - 这个两轮机器人的示例计算图显示了机器人的预期功能与行为。⁽⁵⁾

资料来源：Victor Mayoral-Vilches, AMD-Xilinx

第 2 章：何为机器人？

机器人类型

机器人有各种形状与尺寸，而且能满足众多不同用途。下表列出了更常用的例子。

机器人类型	用途
空中机器人	更常用的名称是无人机或无人空中系统，它们用于各种增长型应用，包括精准农业、测绘/勘测、监视/监控等。
AGV/AMR 机器人	自主移动机器人 (AMR) 是采用机载传感器和处理器自主搬运货物的移动机器人。自动导引车 (AGV) 是经过预编程的机器人车辆，其依靠引导装置（如：磁带）指引路线。
协作机器人	又称为“合作机器人”，它们设计用于与人类一起工作。
配送机器人	由机器学习算法驱动，此类机器人可以在很少或者无需人类干预的情况下自动配送货物。
接待机器人	可以改善宾馆和机场的客户体验。它们可执行简单的任务，如：行李登记、客房服务、餐饮推荐等。
人形机器人	采用人类身形、特征、甚至是人类面部表情，通常用于与人类互动。
工业/直角坐标机器人	直角坐标机器人是可以沿着三个轴 (X、Y、Z) 运动的工业机器人，其协调运动由运动控制器驱动。
手术机器人	能够协助人类以更高精度完成手术。

图 4 - 机器人能够以不同精度满足各种用途需求，从完成复杂的手术到配送包裹，不一而足。

无论它们的用途是什么，大多数机器人都面临着一系列共同的技术挑战，我们将在下一章中进行讨论。

第 3 章

常见的设计挑战



机器人用例：
空中机器人

空中机器人更常用的名称为无人机，可以用于从农业到地理测绘的各种应用。



无论计划制造哪种类型的机器人，我们都需要克服一些常见的设计挑战，其中包括：

人机接口

机器人必须能够以简单、高效的方式与人类进行互动。

功能安全

机器人必须持续测绘其所处环境，能够感知周边物体与人员，并在其附近安全运行。它们必须对多轴运动进行精准的确定性控制，最好符合各种安全标准要求，其中包括关于功能安全的 IEC 61508 SIL 3。

“赛灵思的技术使我们能够快速处理雷达信号，从而实现对目标的实时跟踪。如果我们必须等到雷达数据文件脱离系统才能处理它们，那么系统的效率就会大幅降低。” – Lyman Horne, Fortem 公司 FPGA 工程师。



第 3 章：常见的设计挑战

多任务处理

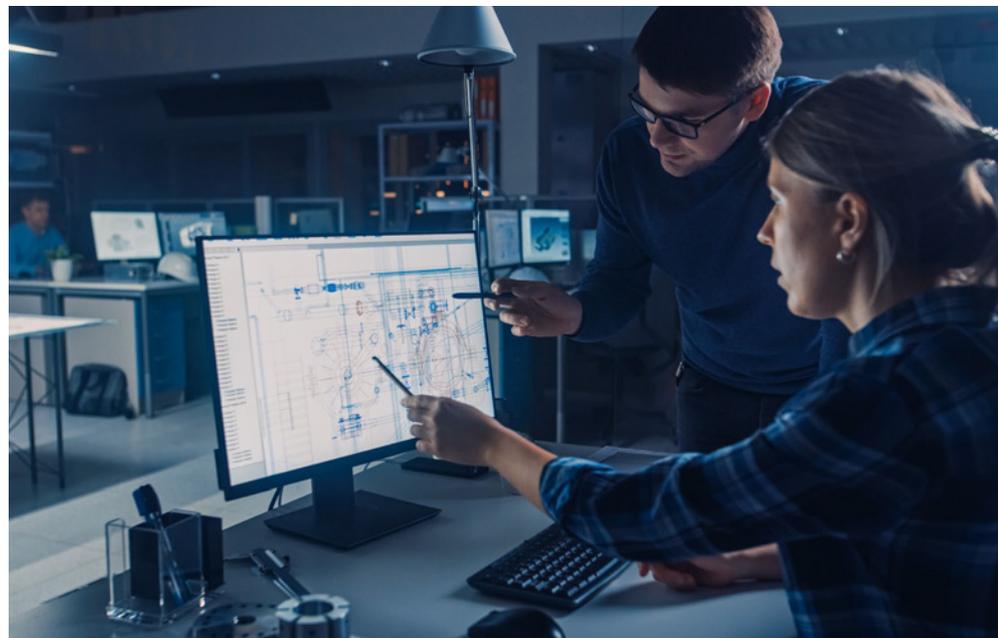
机器人必须能够同时精确处理多个任务。也就是说能够卸载时间关键型计算负载，加速计算功能，以便机器人能够同时接收、解释和响应数据，并做出更加智能的决策。

信息安全

机器人操作系统必须始终确保所收集数据的安全，同时保护自身免受潜在威胁。这包括遵守各类安全标准，如针对网络安全的 IEC 62443。

电源

因为所有机器人都是由电力驱动的，所以找到低功耗解决方案至关重要，特别是当所设计的机器人要用于恶劣或偏远的环境下，这是因为在这种环境下反复充电尤为不便。



第 3 章：常见的设计挑战

联通性

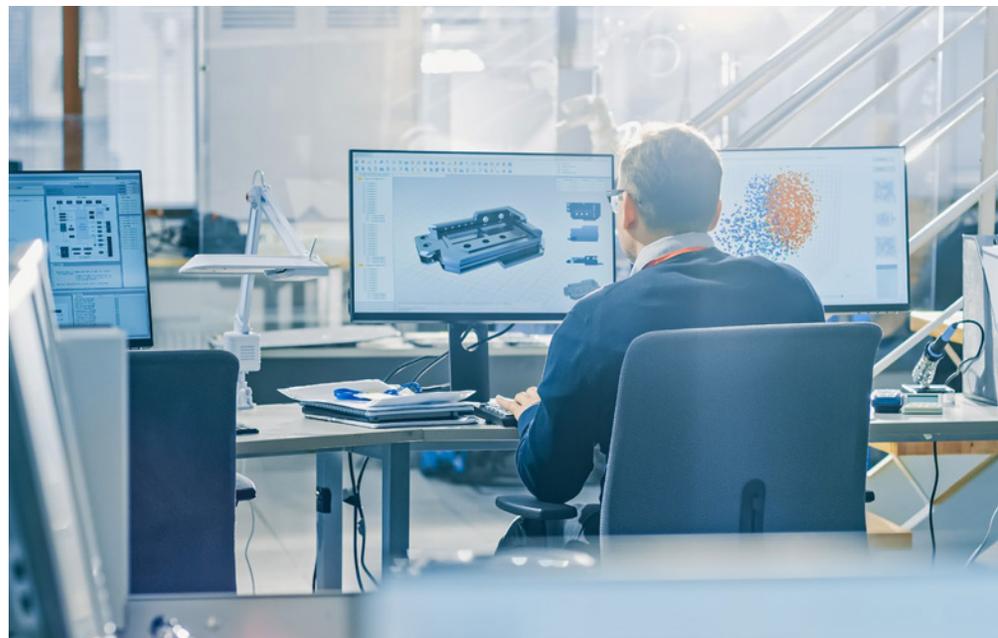
机器人需要跨多个传感器和节点进行快速（速度）、可靠（保证送达）的实时（即时响应）通信。这意味着需要能够支持多种网络标准。

复杂性

机器人需要集成复杂的软硬件。这对于许多不精通硬件语言与方法而又雄心勃勃的机器人专家来说是很难克服的挑战。

嵌入式智能 / AI

所有机器人都设计用于执行特定任务。为此，它们需要实现一定程度的嵌入式智能（不止执行常规计算的处理器），并能够支持各种传感器输入。更先进的机器人可能还需要一定形式的人工智能，以便实现实时分析、预测性维护、远程诊断等功能。很多情况下，解决上述难题归结于如何选择正确的处理器与技术合作伙伴。我们会在下一章对此进行探讨。



第 4 章

当今机器人技术



机器人用例：
手术机器人

此类手术机器人可以协助人类
以更高精度完成手术。

当今的众多专业工业与医疗机器人都配备了两种用于驱动其行为的主要技术：CPU 用于管理形成计算图的复杂数据与控制架构，以及基于 FPGA 的自适应 SoC，用于获取信号、对信号进行实时处理并将信号传输到 CPU 进行进一步处理。

大量计算性能依赖 CPU，其可以处理来自传感器与机械致动器的多个请求。但是，随着计算图复杂性的增加与类型的增多，CPU 即时响应时间关键型事件所面临的难度也会提高。此时，效率会开始下降，最终随着 CPU 时延增加而导致机器人性能降低。这对机器人来说非常糟糕。而且通过增加 CPU 数量来降低时延并不能解决问题。

自适应 SoC 可以在三个方面提供帮助：卸载时间敏感型计算负载、加速硬件中的部分计算功能从而恢复计算与响应时间之间的平衡，以及降低并行执行计算的总功耗。

ASIC 等其他技术可能可以用于改善响应时间和缓解计算负载，但是机器人系统的特定特性要求具备现场硬件适应性，以应对不同的环境条件并提高网络攻击抵抗能力，而这不是一次软件升级所能做到的。

“过去在更新原始视频处理子系统时，我们希望为外科医生引入多窗口视频源，方便他们在手术过程中监控关键的患者数据。随着我们开始采用赛灵思器件，我们发现它是非常理想的设计平台，甚至于后续平台经过演进发展已经在所有主要的系统组件中采用了数十个赛灵思 FPGA。” – David Powell, Intuitive Surgical 公司视频处理解决方案首席设计工程师



机器人专家可以通过三种方式中的任何一种来使用 FPGA：

芯片级从头设计 (Chip-down design) 方法

这种方法是将片上系统 (SoC) 集成到定制 PCB，以满足应用需求。这对于成本优化的大批量处理而言是一种理想方法。

模块化系统 (SOM)

此类经过预装配和预测试的电路板可以插入定制板，而且可以帮助工程师加快产品开发，因为工程师可以专注于如何增加系统的价值，而无需在集成、测试与认证上费心。

全装配电路板

此例中可以把众多外设预集成到插件板。这对于具有大量计算操作的应用是一种理想选择。

机器人采用的另一种处理是自适应计算。自适应计算可以实现硬件加速，从而可以加快计算时间、降低功耗并实现更多确定性行为。借助适当的加速工具，机器人专家能够设计出可以针对相关应用对硬件资源进行优化的计算架构。我们将在第 6 章更详细地探讨自适应计算。



图 5 - 众多计算方法均可以满足机器人市场需求，不过，由 AI 推动的对更高性能的需求正在为自适应计算模型创造机遇。



第 5 章

未来机器人技术

机器人用例：
仿生体

此类先进的机器人经过训练可以
辅助或者模拟人类运动。



机器人的未来会在边缘需要更多 AI 处理。多传感器分析与机器学习应用（包括预测性维护与故障检测）会采用 AI 在本地做出即时决策，而无需依赖基于云的传感器数据处理。

与此结合的是数字孪生机器人，其可以获取机器人运动并对其进行虚拟仿真。利用这项技术，机器人专家便可以分析指令动作与实际机器人运动之间的差异，从而促进预测性分析、AI 训练与决策制定。

另一个趋势是 5G 无线技术与时间敏感网络 (TSN) 的交汇。5G TSN 子系统可以通过促进机器人系统之间的连接而推动低时延、确定性时间敏感型工业与汽车应用的融合。关键应用包括工厂自动化、智能能源、交通运输、ADAS 与车载信息娱乐系统。

第 5 章：未来机器人技术

除了上述趋势以外，面向自主机器人系统的持续不断的开源技术的引入，特别是自适应硬件组件与系统的发展在将来会为机器人行业创新带来更多机遇。我们有望在模块化机器人领域看到更多创新，为执行不同任务，可以改变机器人组件的自身形状或者对其进行重新编程。



图 6 - 5G TSN 子系统可以通过促进机器人系统之间的连接而推动信息娱乐与 ADAS 低时延汽车应用的发展。



第 6 章

引入自适应计算

机器人用例：
配送机器人

由机器学习算法驱动的配送机器人
广泛应用于运输与物流用途。



第 4 章介绍了机器人专家必须应对的众多挑战以及自适应 SoC 如何解决此类挑战。虽然自适应 SoC 可以提供提高确定性与可预测性的方法，但是自适应计算能够带来促进机器人向自主性发展的附加功能。除了助力实现可扩展的模块化机器人系统（有助于加快机器人在主流领域的发展）的更快、更高效的开发以外，自适应计算还可以为人工智能与数字信号处理提供更多的计算资源，而且还提供应对机器人所处理的大量数据所需要的高数据带宽。

自适应计算将多核 CPU（以高度优化的实时处理器及应用处理器集群组织而成）等功能模块与可编程逻辑、网格处理器及智能引擎结合在一起，从而在最理想的架构中实现了机器人工作负载的分配。如此强大的算力辅以功能安全能力，为机器人带来了更加安全可靠的运行优势，有助于避免数据泄露（降低机器人完整性并使其易受攻击）。机器人是控制路径与数据路径的混合体，它们通过对外部事件（如视觉或传感器刺激等）进行响应而做出动作。自

第 6 章：引入自适应计算

适应计算使它们能够为正确的计算单元分配正确的计算负载。结合相关硬件可以实现全面的设计方案和运行时软件，也就是说能够为打造高度灵活和高效的系统提供独一无二的平台。

简而言之，对于自适应计算，您可以针对相关应用设计定制硬件，它能够轻松适应工作负载或标准的演进发展。

“Zynq 器件一直是高度灵活的解决方案，能够根据不同的电压、接口与协议要求运行。它提供了很大的灵活性，支持进出 NI 盒的不同类型的输入与输出路径。” Derek Curd, *Up a Creek Robotics* 与 *FIRST Robotics* 团队顾问

A photograph of two men in a workshop setting. One man is holding a drone, while the other looks on. The scene is dimly lit with a warm, orange glow from the top left. The drone is a professional-grade model with a camera attached. The men are focused on their work, suggesting a technical or engineering environment.

第 7 章

面向机器人的 自适应 SOM

机器人用例：
自适应机器人

在颠覆性自适应计算技术的驱动下，自适应机器人能够在现场改变功能，同时为基于人工智能的实时决策提供处理能力。



第 6 章介绍了自适应计算如何帮助机器人系统达到最佳产品状态。

机器人专家希望获得随时可用的系统，以便集中精力解决具体任务，而且他们也依赖机器人的硬件平台。通过将自适应 SoC 与行业标准接口及组件融为一体，自适应模块化系统 (SOM) 便可以提供制作就绪的现成机器人解决方案，从而机器人专家只需很少或者无需硬件专业知识就能够即时使用自适应平台。对熟知硬件知识的机器人专家而言，自适应 SOM 可

以实现无需定制 PCB 的高度定制化，从而机器人设计人员只需关注定制机器人所需要的传感器与致动器。

自适应 SOM 的优势并不局限于硬件。软件开发者也可以利用面向自适应 SoC 的预置配置（如添加人脸识别算法）来加快设计周期。自适应 SOM 可以提供完整的固件基础架构，以便采用 Python、C++ 等大家熟知的软件开发语言以及 TensorFlow、PyTorch 等深度学习框架，通过简单的现成加速通道运行机器人应用。

第 7 章：面向机器人的自适应 SOM

由于机器人是嵌入式系统，因此其开发过程始终多多少少存在一些硬件纠结。依托软件工具、库和框架方面的最新发展，一些设计团队现在可以在不麻烦硬件工程师的情况下轻松部署自适应计算技术。总之，自适应 SOM、工具和库有助于缩短开发周期。



第 8 章

ROS 2 机器人 操作系统框架

机器人用例：
商用机器人

基于开放标准，ROS 平台日益在
商用机器人应用中得到普及。



来自 Open Robotics 的机器人操作系统 (ROS) 已经成为面向机器人应用的行业标准软件开发平台。ROS 平台于 2007 年进入学术界，并日益在商用机器人应用领域得到普及。

ROS 包括用于开发机器人应用的开源软件库（如用于运动规划与控制）与工具（如仿真、测试、调试），因此吸引日益增多的机器人专家为其开发与支持提供助力。其最新版本被称为 ROS 2，它把 ROS 从研究导向型项目转变成更加工业化的应用。

第 8 章：ROS 2 机器人操作系统框架

ROS 2 框架提供了用于将自身部署到嵌入式系统的合理架构，这与 ROS 有所不同，后者采用工作站作为执行平台。它包括现用的调试与可视化工具、库与通信框架。大部分功能适用于所有支持的操作系统（包括 Ubuntu、MacOS 与 Windows）、通信协议、采用多种实现方案的传统 DDS（eProsima Fast DDS、RTI Connext DDS 与 Eclipse Cyclone DDS）、以及编程语言客户端库（采用 C++ 与 Python）。

对于机器人专家来说，要想在不破坏机器人或不损害周边环境与人员的情况下测试机器人，仿真就显得至关重要。因此，ROS 集成了被称为 Gazebo 的流行开源仿真工具，其中包括物理场引擎、可靠的图形功能、用于提供众多机器人真实模型的编程接口、以及有助于用户加快产品上市进程的逼真的虚拟环境仿真功能。

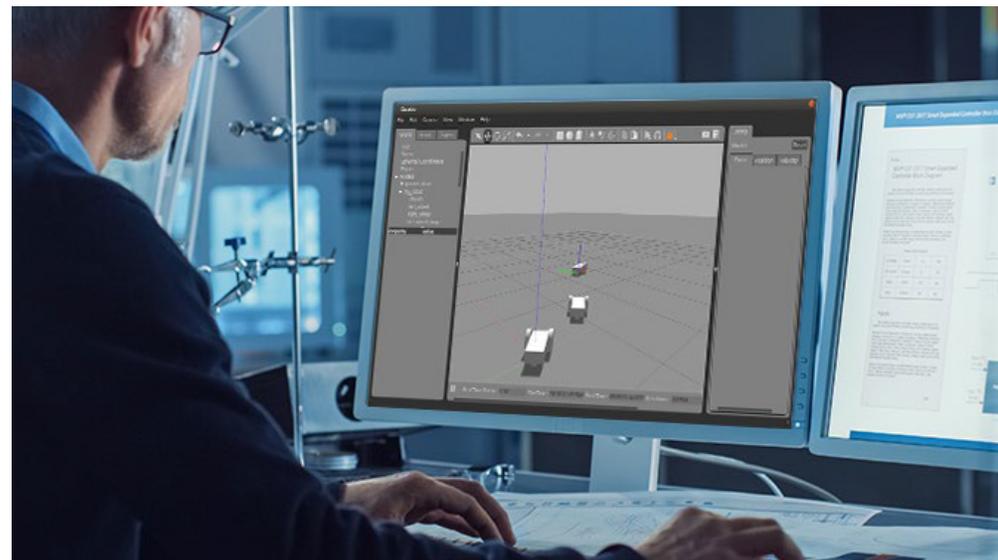


图 7 - Gazebo 等仿真工具可以帮助机器人专家在将机器人投用之前测试其性能。资料来源：Open Robotics

An industrial robot arm, primarily orange and grey, is shown in a factory environment. The arm is extended horizontally, with a black spherical sensor or camera at its end. Blue cables are connected to the arm. The background is blurred, showing other industrial equipment and lights.

第 9 章

硬件加速 ROS

机器人用例：
自适应机器人

自适应计算可以加速 ROS 环境，同时可以将部分 ROS 计算图卸载卸载到可编程逻辑，从而消除通信瓶颈。



人工智能能够提高机器人在决策任务中的自主性，特别是 AI 推理（采用经过训练的 AI 模型进行预测的过程）能够完善标准算法，以获得更理想的结果，但是这对当今机器人系统的硬件提出了巨大的需求。而且机器人行为是可以组合的，也就是说就像一套乐高积木，我们可以采用计算图组合成不同功能。大多数固定功能的处理器和加速器缺乏满足这种可组合性需求的计算效率。

不过，自适应计算能够提供领域专用架构 (DSA)，这允许自适应硬件以最高效率运行，从而可以在组合计算图的过程中保持所需的灵活性。自适应计算不但可以加速 ROS 环境，而且还能够将部分 ROS 计算图卸载到可编程逻辑并消除通信瓶颈。

第 9 章：硬件加速 ROS

到目前为止，在 ROS 工作流程中集成自适应计算的大多数尝试都是从硬件工程师的角度出发。但是，许多机器人专家并非熟悉嵌入式流程与硬件流程的专家。在将自适应计算直接集成到 ROS 生态系统之后可以为机器人专家提供其熟悉的用户体验。

图 8 表明自适应计算如何通过像处理所有其他 ROS 包一样处理加速内核而简化加速内核的创建。这样机器人专家就能够集中精力改进计算图，而不是努力成为硬件专家。

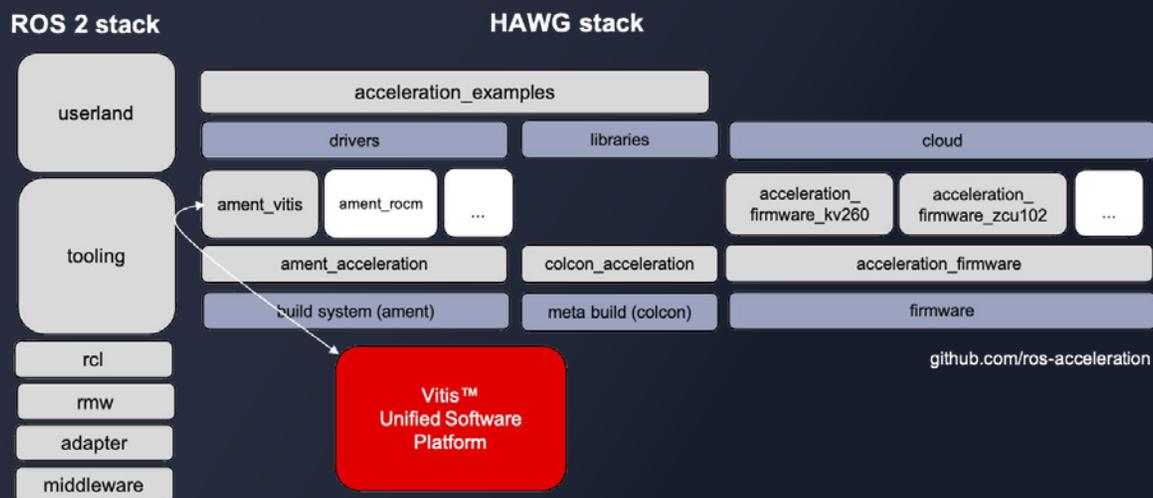


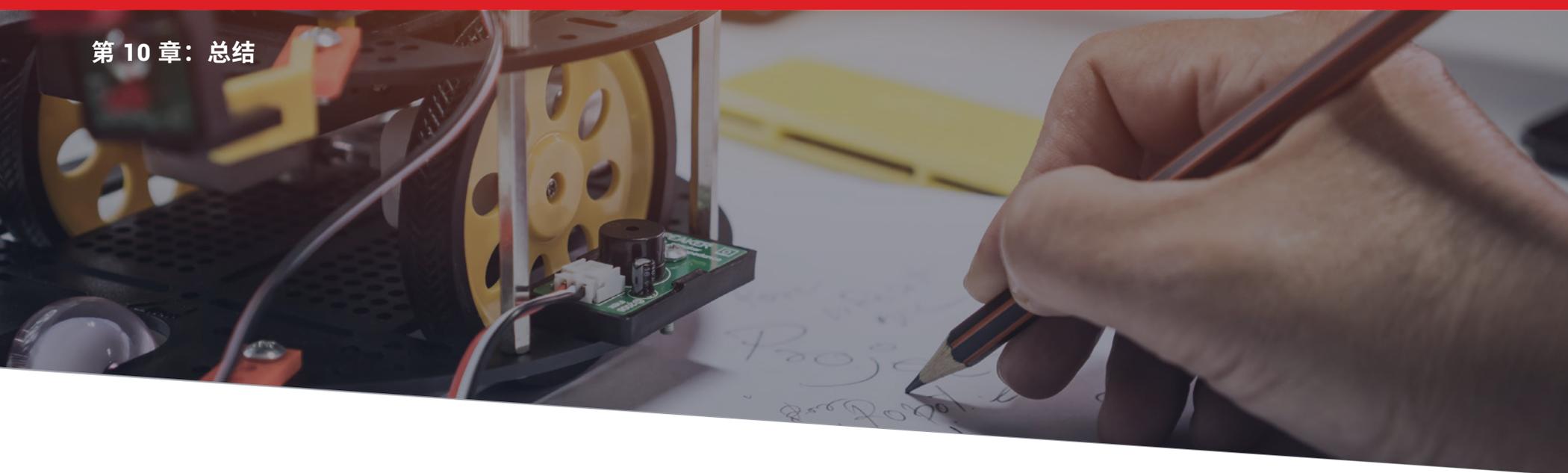
图 8 - 硬件加速工作组的 ROS 2 初始架构表述。

第 10 章

总结

机器人用例： 自适应机器人

诸如来自 AMD-赛灵思的Kria™等自适应 SOM 可以为机器人专家提供性能、灵活性与快速开发时间的独特组合。



机器人领域对人工智能及 AI 推断的需求日益增长，推动了边缘应用对加速高性能计算的需求。

自适应计算能够在具有“未来可扩展性”的自适应平台上处理此类复杂的工作负载。在同时具备软硬件适应性的情况下能够达到接近 100% 的峰值硬件利用率。此外，自适应计算还可以通过将部分 ROS 计算图卸载到可编程逻辑并消除通信瓶颈而加速 ROS 环境。

“FIRST Robotics 项目的学生为他们社区的一个孩子设计并制作了一个专用轮椅。土耳其的一个团队开发了一款可以帮助救治小狗的机器人。这些孩子的所作所为真的让人大受鼓舞。” – Kate Pilotte, FIRST 成套部件高级主管



第 10 章：总结

诸如来自 AMD-赛灵思的 Kria™ 等自适应 SOM 可以为机器人专家提供性能、灵活性与快速开发时间的独特组合。用户可以创建软件定义的硬件，而且可以打造单位功耗性能更高、安全而且高能效的自适应解决方案。此外，他们还可以访问赛灵思应用商店，在此可以下载预先构建的容器化应用，以评估和快速部署加速应用。

应当在机器人专家所熟悉的环境中为其提供硬件加速功能。Kria 机器人协议栈 (KRS) 是基于 ROS 2 开发的一整套集成机器人库与实用工具，其可以利用自适应计算技术加快工业级机器人解决方案的开发、维护与商业化。



KRS 可以为 ROS 2 用户提供实现硬件加速的简便、可靠的方法。它助力 ROS 2 机器人专家开发生产力更高、更安全的定制计算架构。它利用 AMD-赛灵思技术将 Kria SOM 产品组合定位于为机器人提供低时延（真正高速）、确定性（可预测）、实时（准时）、安全性与高吞吐量。KRS 自身与 ROS 紧密集成，同时组合利用现代 C++ 与高层次综合 (HLS) 语言以及可供机器人专家用于启动其项目的参考开发板与设计架构。总之，KRS 可以利用机器人加速生产方法为 Kria SOM 提供支持。

借助 KRS 与 ROS 2，AMD-赛灵思自适应计算加速器可以实现超过 Nvidia Isaac ROS GEM (AGX Xavier) 八倍以上的单位功耗性能，超过 Nvidia Isaac ROS GEM (Nano) 六倍以上，从而使其成为机器人应用的理想选择，参见图 9。



图 9 - 自适应计算技术与竞争解决方案在机器人领域的性能及生产力优势对比。

第 10 章：总结

此外，AMD-赛灵思还提供了 Kria KR260 机器人入门套件，它是一种开箱即用型平台，适用于 AI 驱动机器人、机器视觉以及工业通信与控制，助力实现高性能、低时延与更快速的部署。

进一步了解自适应计算如何赋能机器人应用，请访问 AMD-赛灵思 Kria SOM 机器人页面：

<https://www.xilinx.com/products/som/kria.html>。



图 10 – Xilinx KR260 机器人入门套件

关于 AMD-赛灵思

AMD-赛灵思致力于提供自适应平台。我们的自适应 SoC、加速器卡与 FPGA 助力前沿企业自由地实现快速创新与部署。我们携手客户打造从云端到边缘的可扩展、差异化智能解决方案，同时积极参加行业工作组并为开源社区做出积极贡献，以促进技术进步。身处变革不断加速的世界，越来越多的创新者信赖 AMD-赛灵思可以帮助他们加快产品上市进程并且实现最高效率与性能。如需了解更多信息，请访问：china.xilinx.com。

尾注：

- (1) Placek, Martin, "Size of the market for industrial robots worldwide from 2018 to 2020, with a forecast through 2028," Statista.com, <https://www.statista.com/statistics/728530/industrial-robot-market-size-worldwide/>; February 17, 2022.
- (2) World Robotics 2021, "Annual Installations of Industrial Robots 2015-2020 and 2021*-2024*," International Federation of Robotics, <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/robot-sales-rise-again>
- (3) World Robotics 2021, "World Robotics 2021 - Service Robots Report Released," International Federation of Robotics, <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/service-robots-hit-double-digit-growth-worldwide>, November 4, 2021.
- (4) Dizikes, Peter; "How Many Jobs do Robots Really Replace?," MIT News; <https://news.mit.edu/2020/how-many-jobs-robots-replace-0504>; May 4, 2020
- (5) Mayoral-Vilches, Victor, et. al. "Adaptive Computing in Robotics: Leveraging ROS 2 to Enable Software-Defined Hardware for FPGAs;" https://www.xilinx.com/content/dam/xilinx/support/documentation/white_papers/wp537-adaptive-computing-robotics.pdf; AMD-Xilinx; 2021.

ADDITIONAL SOURCES

- World Robotics 2021; "World Robotics 2021 - Service Robots Report," International Federation of Robotics, <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/service-robots-hit-double-digit-growth-worldwide>; November 4, 2021.
World Robotics 2021; "The World Robotics 2021 Industrial Robots Report," International Federation of Robotics, <https://ifr.org/P6>; October 28, 2021.

进一步了解:

[Kria 机器人](#)

[工业机器人](#)

[手术机器人](#)

[自适应计算](#)

附加阅读:

[白皮书](#)

联系我们!

sales@xilinx.com

公司总部
Xilinx, Inc.
2100 Logic Drive
San Jose, CA 95124
USA
电话: 408-559-7778
www.xilinx.com

欧洲
Bianconi Avenue
Citywest Business Campus
Saggart, County Dublin
Ireland
电话: +353-1-464-0311
www.xilinx.com

日本
Xilinx K.K.
Art Village Osaki Central Tower 4F
1-2-2 Osaki, Shinagawa-ku
Tokyo 141-0032 Japan
电话: +81-3-6744-7777
japan.xilinx.com

Asia Pacific Pte. Ltd.
Xilinx, Asia Pacific
5 Changi Business Park
Singapore 486040
电话: +65-6407-3000
www.xilinx.com

印度
Xilinx India Technology Services Pvt. Ltd.
Block A, B, C, 8th & 13th floors,
Meenakshi Tech Park, Survey No. 39
Gachibowli(V), Seri Lingampally (M),
Hyderabad -500 084
电话: +91-40-6721-4747
www.xilinx.com

© Copyright 2022 年超威半导体公司版权所有。保留所有权利。赛灵思、赛灵思标识、AMD、AMD Arrow 标识、Alveo、Artix、Kintex、Kria、Spartan、Versal、Vitis、Virtex、Vivado、Zynq 及本文提到的其它指定品牌均为超威半导体公司的商标。本文中使用的其它产品名称仅用于识别目的，可能是其各自公司的商标。AMBA、AMBA Designer、ARM、ARM1176JZ-S、CoreSight、Cortex 与 PrimeCell 均属于 ARM 在欧盟和其他国家和地区的注册商标。“PCI”、“PCIe”和“PCI Express”均为 PCI-SIG 拥有的商标，且经授权使用。

在美国印刷。WW4-27-22

AMD
XILINX