

使用 Teledyne e2v 的 16 核 LX2160-Space 处理器运行 Klepsydra 软件应对空间 AI 图像的并行处理

2023 年 10 月



摘要

在航天器上执行星载数据处理通常需要大量的计算能力来应对边缘计算应用所需的大数据速率。这些应用可以是用于地球观测的图像处理、自动着陆以及用于躲避碎片的星载决策。这些应用越来越多地依靠人工智能而不是传统的计算来分析数据和做出决策。由于执行人工智能的高处理要求和特殊性，在计算神经网络时，不仅需要使用最快的处理器，还需要优化资源利用率。在纯计算性能之上的另一个要求是并行处理多个任务(即神经网络)的能力，以管理多个功能并为多个可能的用户服务。其实现方法是，通过多核处理器在不同的核心之间分配任务，并以智能的方式实现软件有效地共享资源(CPU 使用和内存等)。

Klepsydra 是一家瑞士的中小企业，专注于为自主嵌入式系统开发高性能边缘数据处理软件，服务于航空航天、智能移动和物联网行业的应用。Klepsydra 可提供高性能软件框架，允许在可用的星载计算机上执行必要的计算和 AI/ML 任务。

Teledyne e2v 可提供宇航级数字器件，包括处理器、存储器和处理模块，以支持空间边缘计算。LX2160-Space 是最新一代的耐辐射处理器，采用 16 核 ARM®Cortex®-A72，可提供 200,000 DMIPs / 280 GFLOPs 的惊人计算能力，以及丰富的高速接口，如 PCIe Gen3.0 和高达 100 Gb 的以太网接口，可与其他子系统连接。这些特点使 LX2160-Space 成为在飞行中执行多项人工智能任务的理想器件，并成为航天器的“大脑”。

本白皮书将讨论如何在 Teledyne e2v LX2160-Space 处理器上使用 Klepsydra 软件并实现并行 AI 图像处理。首先将介绍通用的人工智能即服务(AIaaS)方法,然后描述用于案例研究的场景,包括神经网络的细节,最后将给出关键的性能结果。



II. 人工智能即服务(AIaaS)方法

LX2160-Space 和 Klepsydra 框架的结合展示了卫星即服务范式中的独特应用场景。借助人工智能即服务(AlaaS)，客户可以轻松受益于在卫星上实施人工智能功能的新概念，并将其与共享服务方法相结合。AlaaS 为在太空中部署人工智能提供了一种新的方式。客户不需要构建、拥有、维护或升级自己的空间基础设施，也不需要特定的软件开发技能来实现空间人工智能，因为 AlaaS 涵盖了所有这些。AlaaS 的独特之处在于，客户只需要提供一个 ML 模型并执行它。

基于上述的概念，几个独立的人工智能算法被执行，并在处理器上并行运行，允许多个客户使用空间中的公共资源来执行他们的人工智能模型。卫星星载 AlaaS 以一种独特的方式利用了 Klepsydra 软件框架。它允许客户专注于提供 AI/ML 模型，而作为卫星上的服务的执行引擎可供使用。因此，客户无需使用软件框架，因为这已经在星载计算机上编译和安装了。客户需要做的，就是提供一个符合技术要求的 ML 模型。然后，模型将被上传到空间计算机上，并将在约定的时间内执行。除了易于使用之外，客户还可以利用 Klepsydra 软件框架的计算性能，无需花费时间和金钱。

AlaaS 基于 Klepsydra 软件框架和 Teledyne e2v 的多核处理器，确保了卫星上人工智能模型的高效性能。Klepsydra 框架提升了在太空中执行 AI 的可用计算能力。Klepsydra AlaaS 解决方案提供了卓越的处理性能，从而使客户能够在太空中全速运行 AI。综上所述，人工智能即服务有以下的优点：

- 有效利用现有的空间硬件
- 易于验证空间中的新应用
- 在新应用程序上允许快速迭代和快速失败的方法
- 在没有重大投资的情况下提供首次服务
- 进一步降低基于 AI/ML 的商业模式和科学的进入门槛
- 基于共享资源的新商业模式

III. 案例研究的场景

在下面的案例研究中，我们将实际应用上述的理论。三个独立的人工智能算法在强大的 LX2160-Space 处理器上并行执行和运行。案例研究的 AI 的使用将在下面的部分中进行描述。

a. 带有图像传感器的星载地理定位

地球观测卫星上的地理定位是利用卫星上传感器的数据确定地球上目标精确位置的过程。它被用于各种应用，如绘图、监测自然灾害、跟踪气候变化和协助国防行动。地理定位的准确性根据所使用的传感器、图像分辨率和处理算法而有所不同。在这个例子中，KAMnet 深度神经网络(DNN)被用来执行基于人工智能的地理定位。KAMnet 是一种深度神经网络，用于使用图像作为输入数据进行地理定位。



它通过学习从图像的二维空间到地理位置的三维空间的非线性变换，可以准确地确定图像的地理位置。图 1 显示了一个执行示例，比较了实际位置和估计位置之间的差异。

在实际实现中，神经网络从 1000km² 的区域中获取 224x224 幅灰度图像，并提供图像中心的估计纬度和经度。它使用的网络是带有顺序回归的卷积神经网络 (CNN)，共有 7 层，如下：

- 2 个带有 ReLU 激活的卷积层
- 2 个 Maxpool 层
- 3 个 Gemm 层

在这个任务中，LX2160-Space 分配了 4 个内核来执行推理，以及另外的 2 个内核用于地图渲染以显示结果。ZMQ 通信将数据从网络传输到地图渲染引擎。



图 1：基于图像传感器的地理定位的例子

b. 星载云图像检测

云探测是对地观测中的一个关键环节，用于识别和遮罩卫星图像中的云。这是非常必要的，因为云层会阻碍对地球表面的观察，使准确解释和分析数据变得困难，或者因为下载“无用”的图像而浪费带宽。本案例研究中使用的云检测人工智能算法是由巴塞罗那超级计算中心和 ESA 共同开发的。该算法在名为 Cloud95 的开源数据集上分段进行云检测。U-Nets 已经成为一种分段任务的标准方法，并且在云筛选任务中被证明是有效的。然而，U-Nets 在星载处理中的应用存在一些限制，如参数量大、计算成本高等。在最后的实现中，我们取得了计算复杂性/内存占用和预测精度之间的良好平衡。图 2 展示了实现的云检测示例，其中构建了云覆盖的灰度图。

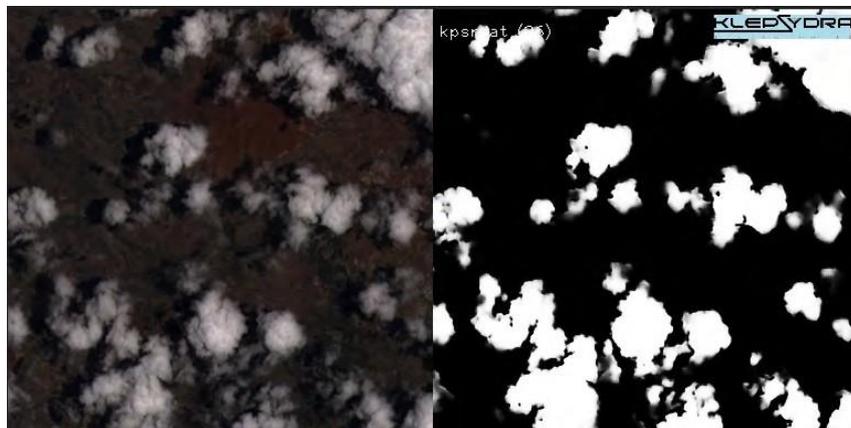


图 2：云检测的例子



DNN 采用 384x384 4 通道图像(红、绿、蓝、近红外)作为输入。每个通道(“颜色”)分别存储在磁盘上,因此有一个将所有 4 个图像合并为一个图像的预处理步骤,然后发送到网络。网络生成一个 384 × 384 的灰度图像蒙版,其中白色对应云层覆盖,黑色对应无云区域。测试数据集是由 Landsat 8 场景图像及其人工提取的像素级地面真实数据准备的,以用于云检测。这些场景的整个图像被裁剪成多个 384*384 的小块。该网络采用 UNet 架构,在 LX2160-Space 的 4 核上实现了 31 个主要层。

- 18 个卷积层与整流线性单元(ReLU)激活
- 4 个转置卷积层
- 4 个 Maxpool, 4 个 Gemm 和 1 个 Sigmoid 层

c.日冕物质抛射探测

日冕物质抛射(CME)是太阳日冕向日球层释放等离子体和伴随磁场的重要现象。在空间态势感知(SSA)的背景下,对空间天气事件(如太阳耀斑或日冕物质抛射(CME))的星载探测可以减少关键信息到达最终用户的系统延迟。ESA 开发并优化了两种面向空间天气应用的基于 ANN(人工神经网络)的机器学习应用:星载日冕物质抛射检测和用于星载辐射清洗的光学成像仪的辐射扰动检测。这个案例研究实现了日冕物质抛射检测应用程序,该应用程序估计可估计其发生的概率,如图 3 所示。

日冕物质抛射探测装置使用 LX2160-Space 的 4 个核心。它需要 2 张 512x1024 的灰度图像作为输入,并提供发生物质抛射的概率。数据以 HDF5 格式存储,预处理包括在转换为图像之前解析 HDF5 文件。该神经网络是基于 CNN 的顺序分类网络,共 6 层:

- 4 个卷积层
- 1 个 Gemm 层和 1 个 Sigmoid 层

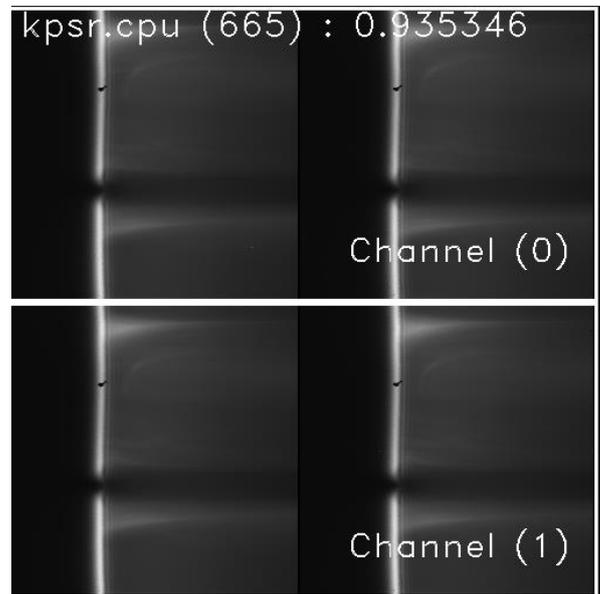


图 3:日冕物质抛射检测的例子

IV.实现和性能

我们在 LX2160-Space 开发板上实现了前文所提出的场景,以验证实际目标上的性能。LX2160-Space 的工作频率为 2GHz,并配有 16GB DDR4,速度为 2666MT/s,加载并执行 Klepsydra 软件。表 1 总结了测试用例、分配的资源 and 获得的性能:



表 1 : LX2160-Space 上 Klepsydra 软件人工智能算法性能综述

	地理定位	云检测	日冕物质抛射探测
神经网络类型	基于 CNN 的顺序回归网络 - 7 层: <ul style="list-style-type: none"> • 2 个卷积层 • 2 个 Maxpool 层 • 3 个 Gemm 层 	UNet 架构 - 31 层: <ul style="list-style-type: none"> • 18 个卷积层 • 4 个转置卷积层 • 4 个 Maxpool 层, 4 个 Gemm 层, 1 个 Sigmoid 层 	基于 CNN 的顺序分类网络 - 6 层: <ul style="list-style-type: none"> • 4 个卷积层 • 1 个 Gemm 层 • 1 个 Sigmoid 层
网络大小	117MB	17MB	370kB
输入	224x224 灰度图	384x384 RGB + 近红外图	512x1024 2 通道灰度图
输出	估算的经度和纬度	384 x 384 灰度云覆盖图	物质抛射的可能性
分配的资源	4 个核心用于网络 2 个核心用于地图渲染引擎	4 个核心用于网络	4 个核心用于网络
处理速率	2Hz (500ms 图像处理时间)	0.5Hz (2s 图像处理时间)	12.5Hz (80ms 处理时间)

Klepsydra 软件框架与 Teledyne e2v 的 LX2160-Space 处理器相结合，可以在太空中进行并行 AI 图像处理。前两种深度神经网络(地理定位和云检测)的复杂性很大，性能表现良好。正如预期的那样，日冕物质抛射探测由于较小，因此运行得更快。

V. 结论

本白皮书介绍了人工智能即服务(AIaaS)的概念，以及如何将 Klepsydra 框架与 Teledyne e2v 的宇航级多核处理器相结合，在 LX2160-Space 处理器上实现了针对多个应用并行执行人工智能处理的案例研究。该案例研究展示了 Klepsydra 人工智能软件和 Teledyne e2v 处理器同时执行多个人工智能算法的卓越能力，重点介绍了用于地球观测应用的高性能图像处理案例，该方法也可用于其他应用。

这个系统支持卫星即服务模式，允许从相同的成像传感器数据中寻求不同信息的多个用户共享卫星载处理资源。



更多信息，请联系:

Thomas Porchez
应用支持
数据处理解决方案

thomas.porchez@teledyne.com



更多信息，请联系:

Thomas Guillemain
市场和业务发展
数据处理解决方案

thomas.guillemain@teledyne.com



更多信息，请联系:

Dr Pablo Ghiglino
CEO 和创始人

pablo.ghiglino@klepsydra.com

