



Dilshan Godaliyadda, Hrushikesh Garud, Deepak Poddar, Soyeb Nagori, and Tarkesh Pande

摘要

随着车辆和机器人的自动化程度越来越高，在地图中实现精准定位变得至关重要。但是，定位是需要嵌入平台并运行的许多算法之一，因此绝对不能为了精度而牺牲效率。本应用报告描述了在 TDA4VM 器件上实施的符合这些市场要求的高效定位算法。TDA4VM 片上系统 (SoC) 是 Jacinto™ 7 系列 SoC 中的第一款商用器件，该系列 SoC 是专为汽车和类似机器人应用从零设计的。此系列 SoC 包含两个主要变体，分别是为机器人中的 ADAS 和类似认知任务设计的 TDA4x 系列，以及为云连接网关系统设计的 DRA8x 系列。此处描述的定位算法是在 TDA4x 系列的 TDA4VM 器件上实施的，因为算法的特征提取部分基于神经网络，而 TDA4VM 配备的深度学习引擎拥有出色的功效。

内容

1 引言.....	2
2 可视化定位问题.....	3
2.1 关键点提取和描述符计算.....	3
2.2 特征匹配和姿态估计.....	4
3 TDA4VM 上的可视化定位.....	5
4 可视化定位应用示例.....	6
4.1 您自己的可视化定位流水线的优化构建块.....	7
5 参考文献.....	7
6 修订历史记录.....	7

商标

Jacinto™ is a trademark of Texas Instruments.

Arm® is a registered trademark of Arm Limited (or its subsidiaries) in the US and/or elsewhere.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

在地图中准确进行自我定位是自主导航的基本要求。在 ADAS 和机器人领域中，这个问题叫做定位问题。通常，当车辆或机器人在户外时，一定程度上可以由惯性导航系统 (INS) 来处理定位，该系统使用全球定位系统 (GPS) 数据以及来自惯性测量单元 (IMU) 的测量数据来定位车辆/机器人。然而，INS 只能在与 GPS 卫星间没有阻碍的情况下与之通信，也就是面向卫星的视线 (LOS) 清晰时。当车辆或机器人处于车库、仓库或隧道中时，GPS 定位的准确性会大幅下降，因为面向卫星的视线受阻。此外，即使 GPS 可用，定位车辆的精度也仅在约 5 米的半径内 [1]。这个误差再加上 IMU 中的误差会导致定位噪声，对于高度复杂的 ADAS 或机器人任务来说可能不够准确。

可视化定位是 ADAS 和机器人领域为满足自主导航的严格定位要求而采用的一种流行方法。顾名思义，在可视化定位中，使用来自一个或多个摄像头的图像在地图中定位车辆或机器人。当然，若要实现可视化定位，则需要在定位前先构建并保存环境地图。在定位领域中，迄今为止较流行的解决方案基于激光雷达，因为激光雷达测量可靠且精确。然而，尽管基于激光雷达的定位精度很高，但对于日常车辆来说成本太高，因为高精度激光雷达的价格通常在数千美元左右。因此，提供诸如可视化定位等较便宜的替代方案是至关重要的。

在机器人和汽车领域中，定位和其他任务的计算都需要在车辆或机器人内部进行。因此，必须在车辆或机器人上安装高性能、低功耗的嵌入式处理器。TI 的 Jacinto 7 系列处理器是围绕可视化定位等应用从零设计的。Jacinto 7 系列堪称 TI 二十年汽车经验和数十年电子技术经验的结晶。这些处理器配备了功率性能比出色的深度学习引擎，以及适用于特定计算机视觉 (CV) 任务的硬件加速器 (HWA)，还有可高效执行相关 CV 任务的数字信号处理器 (DSP)。



图 1-1. 为什么要定位？

2 可视化定位问题

简单来讲，顾名思义，可视化定位问题就是通过将存储的地图中的**关键点**与从安装在车辆/机器人上的摄像头拍摄的图像中提取的**关键点**进行匹配来确定车辆或机器人的位置。**关键点**是空间中独特的或与与众不同的点，从该点可提取**描述符**。**描述符**是存储有关一个关键点的信息的一组值（一个矢量），有助于区分所述关键点与其他关键点。下一部分描述了计算这些特征所使用的方法。

定位的第一步是从图像中提取关键点。然后，需要将提取的关键点（位于 2D 图像平面上）与内存中存储的 3D 稀疏地图进行匹配。若要创建 3D 稀疏地图，需要提取特征并将其与对应的位置一起存储在某个任意但已知的坐标系中。若要实现这一任务，通常需要驾驶一辆配备高精度差分 GPS 和摄像头的车辆沿着地图上的所有路径行驶。为了确保这些特征不因当前处于一天中的哪个时间或一年中的哪一天而有偏差，请全年收集信息以优化地图。然后，当需要估计车辆/机器人的位置时，将从图像中提取的关键点与稀疏 3D 地图中的关键点进行匹配，利用点对应关系来估计车辆/机器人的姿态。下一部分将更加详细地描述此过程。

图 2-1 中简要显示了整个定位过程。

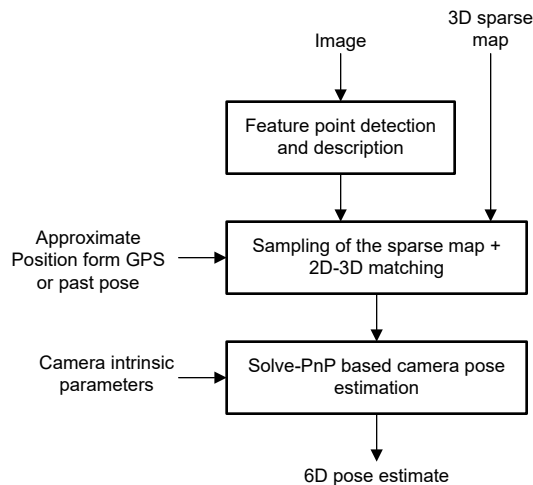


图 2-1. 有关可视化定位的简要方框图

接下来的两个部分将更加详细地描述可视化定位的实施步骤，也就是关键点提取、描述符计算、特征匹配和姿态估计。

2.1 关键点提取和描述符计算

计算机视觉领域使用各种技术来提取关键点。这些技术分为两类 - 基于传统计算机视觉的 SIFT、SURF [2]、KAZE [3] 等特征提取方法，或者基于深度神经网络 (DNN) 的特征提取方法。

基于 DNN 的关键点提取法的一个重要优势是，该过程可使用通用型深度学习加速器来执行。相比之下，基于传统 CV 的关键点提取器要么需要设计专门的硬件加速器 (HWA)，要么使用通用处理器内核。前者限制了客户可以使用的特征类型，后者的效率非常低，因此基于 DNN 的关键点提取法成为更实用的解决方案。

本文档描述了用于定位的基于 DNN 的特征提取方法。需要专门指出的是，此处所述的算法使用 DNN 以受监督的方式学习类似 KAZE [3] 的特征描述符，因此被称为 DKAZE 或深度 KAZE。使用 DKAZE 框架可提取关键点和对应的描述符，如 [3] 中所示。如需有关此算法的更多详情，请单击[此处](#)。提取关键点后，下一步是对提取的特征和存储的 3D 地图中的特征进行匹配，从而估计车辆/机器人的姿态。图 2-2 所示为 DKAZE DNN 的网络结构。

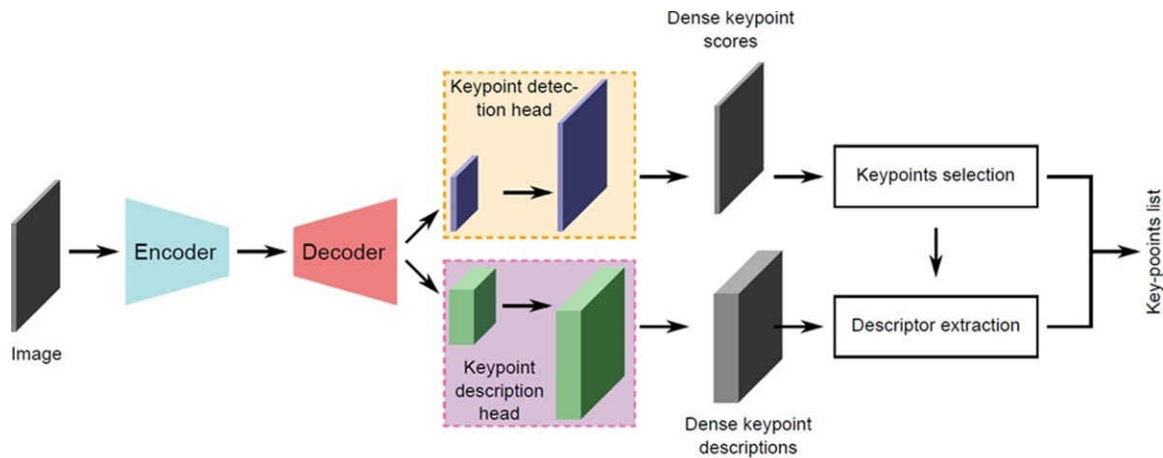


图 2-2. DKAZE 网络结构

2.2 特征匹配和姿态估计

特征匹配是图像中的 M 2D 关键点与 N 存储的 3D 关键点进行匹配的过程。两个关键点间的匹配程度是使用对应每个点的描述符计算的。在此处描述的实施方案中，使用绝对差之和 (SAD) 作为两个描述符匹配程度的指标。SAD 分数越小，匹配度越高。但是， $M \times N$ SAD 分数的计算量高得惊人，因此仅计算图像中的 M 2D 点与稀疏 3D 地图中的 $n < N$ 3D 点之间的 SAD 分数。这些 n 点是根据车辆/机器人的估计位置选择的。然后，从这些分数中，选择累积的 SAD 分数最低的对选项。

计算特征对选项后，下一步是计算车辆/机器人的姿态。在此实施方案中，计算 6D 姿态，其中 roll 表示旋转，X、Y、Z 分别表示俯仰、偏摆、平移。此实施方案专门使用多点透视成像 (PnP) 方法来估计姿态。PnP 问题是指在给定现实中的一组 n 3D 点及其在图像平面中对应的 2D 投影后估计校准相机的姿态。在此实施方案中，随机样本一致性 (RANSAC) 框架 [5] 中使用了 P3P 方案 [4]。概括来讲，这是一个迭代过程，每次迭代中随机选择点对选项以优化姿态估计。

在下一部分中，构成可视化定位算法的子任务映射至不同的组件 TDA4VM SoC，以显示可通过 SoC 实现的无缝映射。

3 TDA4VM 上的可视化定位

此部分描述了构成本文所述可视化定位算法的每个子任务如何无缝映射至 TDA4VM 器件。此应用包含三个主要步骤：图像预处理、DKAZE 特征提取和定位。TDA4x 系列器件是以此类应用为核心设计的，因此每一个子任务都可以映射到器件中的专用硬件，以确保高效和准确地执行任务。客户可用的第一个 TDA4x 系列变体 TDA4VM 器件的图解显示在图 3-1 中。

下方图 3-1 所示的方框图详细说明了构成 TDA4VM SoC 的关键组件。其中包括一个耦合到 C7x DSP 的深度学习硬件加速器、几个通用 Arm® 内核、一个视觉预处理硬件加速器和专为某些广泛使用的 CV 任务而设计的硬件加速器。接下来，构成算法的子任务映射至图 3-2 中的不同 SoC 组件。

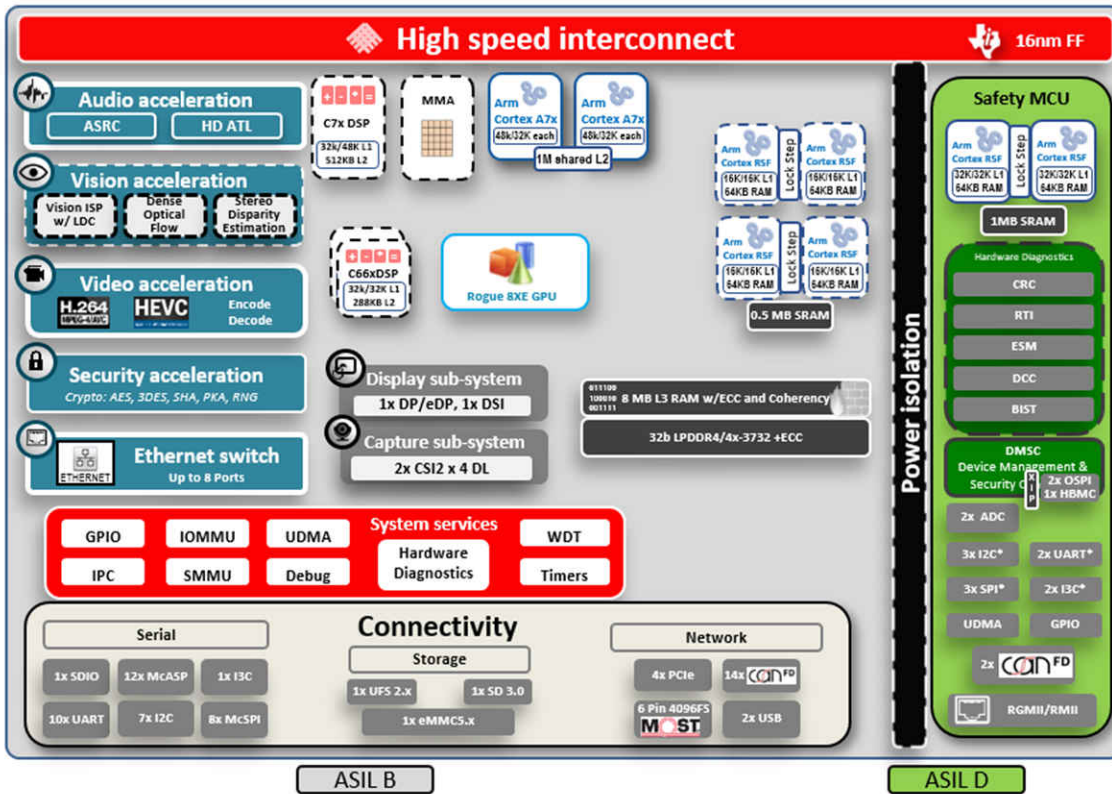


图 3-1. TDA4VM 方框图

第一个子任务是图像预处理，可以完全在片上视觉预处理加速器 (VPAC) 上执行，VPAC 包括一个图像信号处理器 (ISP)。此模块通过 CSI-2 接口从摄像头获取图像，并在进一步处理之前执行必要的预处理步骤。TDA4VM 上的 VPAC 模块包含原始前端 (RFE)、双噪声滤波器、全局和局部色调映射模块、灵活的颜色处理模块、镜头失真校正和缩放引擎。如需更多有关 VPAC 的信息，请单击[此处](#)。

下一个子任务是 DKAZE 特征提取，可使用片上 DNN 硬件加速器 C7x/MMA 执行。C7x/MMA 是为了加快常用深度学习操作而专门设计的 HWA。C7x/MMA 由具有数十年经验的工程师围绕汽车和工业应用而设计，是目前市场上功效卓越的深度学习加速器之一。C7x/MMA 模块的功率与 TOPS 比率在当今市场中表现出色。如需更多有关 C7x/MMA 的信息，请单击[此处](#)。

最后，可视化定位子任务在 SoC 上一个可用的 DSP (C7x 或 C66x) 上执行。

下面图 3-2 中的流程图显示了从可视化定位算法到 TDA4VM 器件的子任务映射。

4.1 您自己的可视化定位流水线的优化构建块

请务必注意，上面描述的可视化定位应用是端到端优化的。但是，如果有人想要构建自己的定位流水线，可利用该流水线中包含的优化构建块来执行自己的流水线中的某些计算繁重任务。下面列出了 TIADALG 组件封装中提供的优化构建块：

- **双向描述符匹配** - 可使用此 API 在 2 组描述符之间进行双向匹配。
- **稀疏上采样** - 此模块可对以较低分辨率生成的特征进行上采样。例如，此功能对 DKAZE 以 1/4 原始分辨率生成的特征进行上采样，使其恢复到完整的图像分辨率。
- **递归非最大间距 (NMS)**。这是清理定位领域内的重复特征的递归方法。
- **多点透视姿态估计，又叫 SolvePnP** - 在计算 2D-3D 对应项后，此 API 可解决 PnP 问题以估计 6D 摄像头姿态。

如需了解更多详情，请单击[此处](#)。

5 参考文献

1. <https://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/>
2. Rublee, Ethan, et al."ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF."2011 International conference on computer vision.IEEE, 2011.
3. Alcantarilla, P.F., Bartoli, A. and Davison, A.J., "KAZE features" .In European Conference on Computer Vision, pp. 214-227, 2012.
4. Gao, X.-S., Hou, X.-R., Tang, J. and Cheng, H.F., "Complete Solution Classification for the Perspective-Three-Point Problem." IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.Volume 25, Issue 8, pp. 930 - 943, August 2003.
5. M.A. Fischler, R.C.Bolles, Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography, Commun.ACM 24 (6) (1981) 381 - 395.

表 5-1. 其他重要链接

参考文献名称	链接
TDA4VM 产品信息：	https://www.ti.com.cn/product/cn/TDA4VM
评估板购买/申请	常见板： https://www.ti.com.cn/tool/cn/J721EXCPXEV TDA4VM 处理器 SOM： https://www.ti.com.cn/tool/cn/J721EXSOMXEV
下载 SDK	https://www.ti.com.cn/tool/cn/PROCESSOR-SDK-DRA8X-TDA4X
SDK 文档	https://software-dl.ti.com/jacinto7/esd/processor-sdk-rtos-jacinto7/latest/exports/docs/psdk_rtos/docs/user_guide/index.html
Jacinto 7 视频培训系列	https://training.ti.com/jacinto7-platform
E2E 处理器论坛的技术支持：	https://e2e.ti.com/support/processors/f/791
PTK API 指南 (第二个应用中使用的库)	https://software-dl.ti.com/jacinto7/esd/processor-sdk-rtos-jacinto7/latest/exports/docs/perception/docs/ptk_api_guide/index.html

6 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision * (April 2021) to Revision A (April 2021)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式。.....	2
• 对节 3 进行了更新。.....	5

重要声明和免责声明

TI 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、某特定用途方面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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务, TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 TI 的销售条款 (<https://www.ti.com/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com](https://www.ti.com) 上其他适用条款/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。

邮寄地址: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2021, 德州仪器 (TI) 公司

重要声明和免责声明

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、某特定用途方面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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/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。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司