面向四足机器人的基于计算机视觉的葡萄园导航

Lee Milburn动态足式系统实验室 意大利理工学院热那亚，意大利
lee.milburn@iit.it

Juan Gamba动态足式系统实验室 意大利理工学院热那亚，意大利
juan.gamba@iit.it

Claudio Semini动态足式系统实验室 意大利理工学院热那亚，意大利
claudio.semini@iit.it

arXiv:2301.00887v1 [cs.RO] 2 Jan 2023

摘要——**现代葡萄园面临熟练劳动力严重短缺的问题。Vinum 项目正在开发一种移动机器人解决方案，使机器人能够自主穿行于葡萄园中，完成冬季葡萄藤修剪工作。为此，需要为修剪葡萄园的机器人构建一套自主导航系统。Vinum 项目采用四足机器人 HyQReal。本文介绍了一种四足机器人架构，使其能够通过识别并接近待修剪的葡萄藤，在葡萄园中自主移动。高层控制采用状态机，在搜索目标位置、自主导航至这些位置以及停车以完成任务之间切换。目标点通过基于掩膜的区域卷积神经网络（Mask-RCNN）进行实例分割，识别葡萄藤树干来确定。这些检测结果会经过滤波器处理，以避免重复并剔除噪声检测。上述功能的结合构成了所提出架构的基础。**

索引词—**农业机器人技术、计算机视觉、葡萄园导航、四足机器人控制**

I. 引言



图 1：葡萄园中的 HyQReal。

世界各地的葡萄园都面临严重的劳动力短缺。葡萄园依赖季节性劳动力，而在许多情况下，这些劳动力来自国际劳工群体。季节性劳动力短缺始于新冠肺炎疫情期间，并延续至今[1]。为应对劳动力短缺，葡萄园开始探索将季节性工作自动化。

Vinum 项目基于 HyQReal 四足机器人开发，该机器人旨在自主完成葡萄藤的冬季修剪，见图 1 [8]。为此，Vinum 机器人必须能够自主穿行于葡萄园，到达每一株需要进行冬季修剪的葡萄藤旁。本文扩展摘要介绍了一种基于计算机视觉的四足机器人导航架构。此前的葡萄园导航研究描述了机器人如何沿着每一行前进，并使用激光传感器持续移动，直至该行中不再有葡萄藤[7]。其他导航栈也采用沿行移动的方式，但使用激光扫描仪进行感知[2]。我们提出的导航栈会通过搜索葡萄园行来初始化，并选择从左侧还是右侧开始。它利用计算机视觉检测葡萄藤，并使用滤波器对检测结果取平均以消除噪声。其他论文曾使用实例分割识别葡萄藤主干 [5]。我们使用 RGB-D 实现了类似的传感器导航控制，以进行葡萄藤主干图像分割。因此，我们使用 Mask-RCNN 检测葡萄藤主干，该模型是在一个自建的、包含 100 张图像的数据集上训练的。高层控制与葡萄藤检测相结合，构成了 Vinum 导航栈的基础。

这篇扩展摘要的贡献在于提出了一种导航方法，使四足机器人能够在葡萄园行间移动并实现精准定位。这种方法能够让机器人在葡萄园内精准定位，为构建理想的机器人作业空间提供支持，进而使机器人能够在葡萄园内执行有针对性的逐株任务自动化。我们使用 Aliengo 机器人开展了一系列实验。结果表明，该方法实现的定位与目标位置之间的平均距离为 3.36 cm，标准差为 2.19 cm，满足自动化任务的要求。

II. 技术现状

迄今为止，人们已经开发出不同的机器人和车辆，能够在葡萄园中自主移动。这些机器人要么沿葡萄园行间持续移动，要么并非四足机器人。欧盟BACCHUS项目的机器人是一种正在开发中的轮式车辆，用于采收葡萄和照料葡萄园。BACCHUS机器人通过对葡萄园树干进行语义分割来实现定位[5]。我们提出的导航架构采用相同的分割方法，但用途是识别机器人需要步行前往的位置。欧盟CANOPIES项目旨在开发一种人机协作范式，用于

[1]https://www.winemag.com/2021/12/07/wine-industry-labor-supply/

葡萄园中的采收和修剪[1]。该项目采用一种在葡萄园行间作业的轮式机器人。ViTiBOT Bakus 是一种类似的自主行间作业机器人，通过清除除草剂并采用精准喷洒来改善葡萄园管理。这种方案不需要在每株葡萄树旁停下。YANMAR 的自主行间作业机器人 YV01 执行类似任务，可自主喷洒葡萄园行间，无需在特定葡萄树旁停下[2]。一种用于精准农业的轮式机器人 Agri.q02，旨在与无人机协作，在非结构化环境中作业 [6]。研究人员为精准农业中的轮式阿克曼车辆创建了导航栈，可进行从一个位姿到另一个位姿的路径规划 [3]。Echord++ GRAPE实验展示了自主导航：该实验使用轮式机器人绘制葡萄园地图，并让机器人前往地图上的位置执行任务 [1]。这些自主机器人都是轮式的，而且大多数无需在葡萄园中的精确位置停下。本文提出的导航架构是一种四足导航方案，基于先前用于定位的技术，以寻找精确位置，从而执行冬季修剪和葡萄采收等自动化任务。

III. 导航架构

导航架构由高层控制和目标检测组合而成。高层控制将根据检测到的葡萄藤树干，决定机器人在葡萄园行间的移动路径。目标检测通过使用 Detectron2 [9] 训练 Mask-RCNN 实现。

A. 高层控制

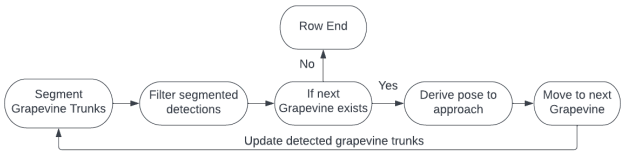


图 2：导航流程。

高层控制是一个状态机，用于控制机器人在葡萄园行间移动，如图 2 所示。首先，机器人会进行初始搜索，以确定行间两侧的起始线。用户可以预先设置机器人向行间左侧或右侧移动。初始检测结果会经过一个滤波器，以计算每个检测结果的滚动平均值。根据滤波后的检测点，控制系统将确定葡萄园行间的起始线。

机器人必须与葡萄藤平行靠近，才能正确修剪。为了找到合适的目标点，机器人首先通过计算一行葡萄藤的向量来确定接近方向。这个向量根据初始搜索中找到的点列表得出。机器人沿着这一行移动时，会针对葡萄藤可能出现的偏差更新该向量。随后，机器人会以所需距离与葡萄藤平行靠近，该距离取决于机器人的尺寸和机械臂的工作空间。

机器人到达葡萄园中确定的位置后，会将该葡萄藤从待接近的葡萄藤列表中移除。接下来，控制器会选择距离机器人最近的葡萄藤作为下一个目标。它会持续采用这种方法，直到一行中没有需要识别的葡萄藤为止。

B. 葡萄藤识别

使用 Mask-RCNN 进行实例分割，以检测葡萄园中的葡萄藤树干。神经网络在 Detectron2 中使用 100 张经过人工标注的盆栽葡萄藤图像进行训练。通过对齐的深度图像获取检测结果对应的深度，并据此确定葡萄藤相对于四足机器人的位置。



图 3：用于检测葡萄藤树干的图像分割结果。（4 个示例）。

IV. 实验

A. 高层控制

1）目标：这些实验旨在确定将机器人的质心移动到目标位置的精度。实验的目标是使机器人的几何中心与葡萄藤主干对齐，从而使安装在机器人前部的机械臂位于葡萄藤主蔓的中心，进而优化机械臂在单株作业（例如修剪）中的工作空间。



图 4：实验设置。

2）设置：高层控制是在实验室中使用宇树科技的Aliengo机器人进行测试的。为简化实验，使用了Aliengo

[1]www.canopies-project.eu [2] https://www.yanmar.com/eu/campaign/2021/10/vineyard/

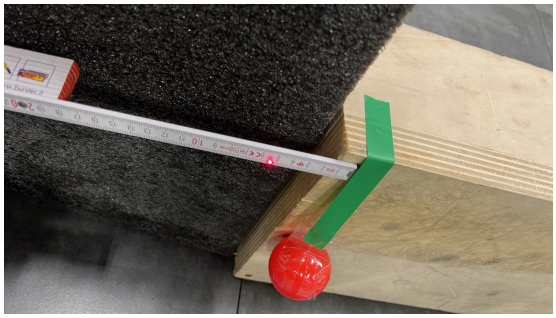


图 5：Aliengo 到达目标位置的测量结果。

进行实验，因为它重21千克，长61厘米。Aliengo配备了英特尔的RealSense D435 RGB-D相机。测试时使用红球进行分割，而非葡萄藤树干。红球之间的间距约为80厘米，与葡萄藤之间的大致距离相当。实验设置如图4所示。机器人接近某一位置时的精度测量方法如图5所示。

3) 测试：机器人使用 RGB-D 相机对区域进行初步搜索，以分割红球。找到红球所在的一排后，它会前往这一排中的第一个位置。机器人到达初始位置后，会暂停以执行自动化任务并更新检测结果。机器人重复这一过程，直到完成整排任务，然后停止。

使用五个球进行了十次试验。为了测量目标点与红球之间的误差，研究人员使用激光笔标示 Aliengo 质心到达的位置。

4) 结果：到达目标点的误差均值为 3.36 cm，标准差为 2.19 cm。随附的视频展示了完整的试验过程。

B. 葡萄藤识别

1) 目标：本部分旨在测试 Mask-RCNN 在葡萄园作业中的训练效果。

2) 设置：神经网络使用 Detectron2，并基于论文 [4] 中建立的框架进行训练。

3) 测试：测试结果使用冬季在皮亚琴察天主教大学拍摄的一段盆栽葡萄园视频进行评估。

4) 结果：模型的输出如图 3 所示。目前，为了提高模型的鲁棒性并使其也能在其他葡萄园中正常运行，还需要使用更多数据对其进行训练。

五、结论

本文介绍了一种面向四足机器人的葡萄园基于计算机视觉的导航方法。该方法可实现精确定位，从而执行选择性任务自动化。

该控制架构在实验室中的实验中运行准确，而图像分割得到的树干检测结果能够准确识别葡萄藤树干。四足机器人能够到达目标位置，平均误差为 3.36 cm。

该架构的下一步工作是将葡萄藤主干语义分割与高层控制相结合，并在实地进行测试。还需要扩充本项目创建的数据集，以训练出更加鲁棒的 Mask-RCNN。

VI. 致谢

感谢 Miguel Fernandes 协助训练数据集，以及 Lorenzo Amatucci 为实验配置机器人的控制器。

参考文献

[1] P. Astolfi、A. Gabrielli、L. Bascetta 和 M. Matteucci。《Echord++ GRAPE 实验（FP7-601116）中的葡萄园自主导航》。网址：http://echord.eu/grape/。载于：IFAC- PapersOnLine 51.11（2018）。第16届 IFAC 制造业信息控制问题研讨会（INCOM 2018），第704–709页。ISSN：2405-8963。DOI：https://doi.org/10.1016/ j . ifacol . 2018. 08 . 401。网址：https : / / www. sciencedirect. com / science/article/pii/S2405896318315271。[2]M. Bergerman、S. M. Maeta、J. Zhang、G. M. Freitas、B. Ham-ner、S. Singh 和 G. Kantor。《机器人农夫：自主果园车辆助力树生水果生产》。载于：IEEE Robotics & Automation Magazine 22.1（2015），第54–63页。DOI：10.1109/ MRA.2014.2369292。[3] R. F. Carpio、C. Potena、J. Maiolini、G. Ulivi、N. B. Rossell´o、E. Garone 和 A. Gasparri。《精准农业中阿克曼车辆的导航架构》。载于：IEEE Robotics and Automation Letters 5.2（2020），第1103–1110页。DOI：10. 1109/LRA.2020.2967306。[4] M. Fernandes、A. Scaldaferri、P. Guadagna、G. Fiameni、T. Teng、M. Gatti、S. Poni、C. Semini、D. G. Caldwell 和 F. Chen。《利用语义实例感知植物模型实现精准修剪点检测，助力葡萄藤冬季自动化修剪》。载于：CoRR abs/2109.07247（2021）。arXiv：2109. 07247。网址：https://arxiv.org/abs/2109.07247。[5] A. Papadimitriou、I. Kleitsiotis、I. Kostavelis、I. Mariolis、D. Giakoumis、S. Likothanassis 和 D. Tzovaras。《利用深层语义线索在葡萄园中进行回环检测与同步定位与建图》。载于：2022年国际机器人与自动化会议（ICRA）。2022，第2251–2258页。DOI：10.1109/ICRA46639.2022. 9812419。[6] G. Quaglia、C. Visconte、L. S. Scimmi、M. Melchiorre、P. Cavallone 和 S. Pastorelli。《用于精准农业的太阳能无人地面车辆设计》。载于：Robotics 9.1（2020）。ISSN：2218-6581。DOI：10.3390/robotics9010013。网址：https://www.mdpi.com/2218-6581/9/1/13。[7] G. Riggio、C. Fantuzzi 和 C. Secchi。《葡萄园产量估算的低成本导航策略》。载于：2018年5月，第2200–2205页。DOI：10.1109/ICRA.2018.8462839。[8] C. Semini、V. Barasuol、M. Focchi、C. Boelens、M. Emara、S. Casella、O. Villarreal、R. Orsolino、G. Fink、S. Fahmi 等。《四足机器人 HyQReal 简介》。载于：机器人与智能机器研究所（I-RIM）（2019）。[9] Y. Wu、A. Kirillov、F. Massa、W.-Y. Lo 和 R. Girshick。《Detectron2》。载于：（2019）。