

SLAM 技术在农业机器人中的应用进展

于楚飞 苏工兵 袁 梦 曾文豪

武汉纺织大学,湖北 武汉 430200

摘要:随着农业智能化水平的不断提高,同步定位与地图构建(SLAM)技术在农业领域中得到越来越多的关注和应用。为此,对 SLAM 技术在农业机器人中的应用进行了综述,介绍了 SLAM 技术的基本原理和流程,以及 SLAM 技术在农业机器人中的应用价值。通过举例详细介绍了 SLAM 技术在农业机器人中的应用情况,总结了 SLAM 技术在农业机器人中面临的挑战,并提出了未来的发展方向。

关键词:精准农业;农业机器人;同步定位与地图构建;智能装备

中图分类号:S-0

DOI: 10.3969/j.issn.2097-065X.2023.06.008

0 引言

随着科技的不断发展,智能化和自动化已经成为现代农业发展的趋势。传统的农业生产方式已经无法满足现代化、高效化、精准化的要求。为提高农业生产的效率和质量,研究人员正在积极探索和研究新的技术和方法。同步定位与地图构建(simultaneous localization and mapping, SLAM)技术是一种基于传感器数据来实现机器人自主导航和环境建模的技术。SLAM 技术可让机器人自主获取传感器数据,并利用这些数据进行实时的地图构建和机器人定位,从而实现机器人在未知环境中的自主导航和作业。SLAM 技术的应用不仅仅局限于工业领域,在农业领域中也具有广泛的应用前景和潜力。

近年来,SLAM 技术在农业领域的应用逐渐受到研究人员的重视。农业生产过程中,机器人或无人机等自主移动设备需要在复杂环境中定位和导航,还需要对农作物的生长、病虫害进行实时监测。这些挑战对 SLAM 技术的稳定性、可靠性和准确性提出了更高的要求。因此,研究人员需要通过不断的探索和创新来提高 SLAM 技术在农业领域的应用水平。

本文对 SLAM 技术在农业领域中的应用进行了综述和总结,并结合实际的案例介绍 SLAM 技术在农业机器人中的作用。介绍了针对农业领域特殊需求开发的 SLAM 算法和方法,并探讨其在农业生产中的应用前景和潜力。

1 SLAM 技术

SLAM 是指在机器人无先验地图信息的情况下,通过机器人自身的感知和运动,实现对机器人位

置和环境地图的估计和构建,其包含的技术如图 1 所示。

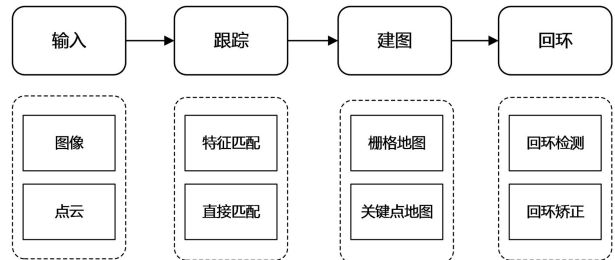


图 1 SLAM 技术的通用流程

SLAM 技术的作用主要有:

(1)实现机器人的自主定位。SLAM 技术通过机器人自身的感知和运动,估计机器人的位置,实现机器人的自主定位。

(2)构建环境地图。SLAM 技术能通过机器人的感知和运动,构建环境地图,为机器人的行为决策提供基础数据。

(3)降低机器人对外部环境的依赖。SLAM 技术能让机器人在未知环境中完成定位和地图构建,从而降低机器人对外部环境的依赖程度,提高了机器人的自主性和适应性。

(4)提高机器人的自主决策能力。SLAM 技术能为机器人提供实时的位置和环境地图,使机器人能做出更加智能化和自主化的决策。

2 SLAM 技术在农业机器人中的应用研究

随着技术的发展,农业装备的自主性和智能化水平不断提高,对 SLAM 算法的要求也越来越高。因此,研究和开发适用于不同农业领域的 SLAM 算法和方法具有重要的现实意义和研究价值。

2.1 激光 SLAM

激光 SLAM 通常用于大型农业机器人,将激光雷达作为传感器,扫描环境反射的激光束,通过计算激光束的时间差和角度获取环境的 3D 点云数据,并利用该数据创建地图,确定机器人在地图中的位置。激光 SLAM 的优点有测距精度高、鲁棒性强、

基金项目:湖北省科技专项(2019AEE011);湖北省数字化纺织装备重点实验室开放基金(KDTL2022011)

不易受到光照和颜色影响。目前主流的开源通用框架包括 Cartographer^[1]、LOAM^[2]和 Gmapping^[3]。近年来,研究者在提升精度和稳定性、拓展应用场景等方面做出了一些改进和创新。

胡炼等^[4]提出一种基于激光感知的农业机器人定位方法,以解决基于全球导航卫星系统(global navigation satellite system, GNSS)的农业机器人和自动驾驶农机在卫星信号弱或没有时的定位精度低或无法定位的问题。他们设计了一个基于激光雷达和激光接收器的机器人定位系统,利用激光接收器感应二维激光雷达的扫描激光,通过融合时间差和点云特征来确定移动激光接收器的位置。该方法成功解决了从二维激光雷达点云中确定目标对象点云的难题,同时能够快速准确定位目标对象。

RATUL 等^[5]使用基于 Gmapping 算法的 SLAM 方法开发了温室环境中的农业机器人定位系统,通过农业移动机器人 Turtlebot3 的仿真实验验证了其在生成环境地图的同时获得温室环境的连续数据。

宋怀波等^[6]设计了一种基于激光 SLAM 的牛场智能推翻草机器人的自主导航系统。该系统通过激光雷达感知牛场环境,使用 Cartographer 算法构建地图,利用 AMCL 算法实现机器人的定位,采用 Dijkstra 算法规划推翻草的路径。仿真和实验验证了该系统能满足牛场环境的导航精度要求。

2.2 视觉 SLAM

视觉 SLAM 常用于小型农业移动装备,将相机作为传感器,捕捉环境中的图像来进行定位和建图。通常使用特征点来跟踪相邻图像中的位置,并通过计算相邻图像之间的运动来确定机器人在地图中的位置。视觉 SLAM 的优点包括成本低、易于携带、可以提供更高分辨率的图像和更多的颜色信息等。目前主流的开源通用框架包括 ORB-SLAM^[7]、LSD-SLAM^[8]和 VINS-Mono^[9]。近年来,研究者在提升精度和稳定性、拓展应用场景等方面做出了一些改进和创新。

PIRE 等^[10]收集自主移动机器人在农业场景中采集的多传感器数据,并使用这些数据制作了罗萨里奥数据集(Rosario Dataset)。该数据集包含多个真实且具有挑战性的案例,包括高度重复、反射、阳光直射和崎岖地形等场景下的多个传感器的同步读数,对于开发适用于农业的方法和算法做出了重要的贡献。

CHEEIN 等^[11]提出了一种在橄榄园场景下使用的 SLAM 算法。该算法利用激光器和单目视觉系统获取橄榄树信息,利用支持向量机检测环境图像中的橄榄树,然后采用基于扩展信息滤波器的方法创建农业地图,使无人驾驶汽车等移动机器人可

以在橄榄园中导航和创建地图,并将地图用于精准农业。

LATIF 等^[12]提出一种基于异构系统的 Vo-SLAM 算法来实现无人机的定位。该方法采用 OpenCL 并行编程的 DE1-Soc 架构,可以实时分析图像数据,从而控制湿度及其他环境参数,为农业过程提供高效的参数控制解决方案。

PAPADIMITRIOU 等^[13]为适应葡萄园的特殊性,开发了立体视觉 SLAM 方法 Graph-SLAM。该方法使用 Mask R-CNN 网络对图像进行语义分割,提取独特的视觉特征以填充视觉词袋。使用最近邻搜索将每个唯一特征描述符与图中的相应节点相关联,并用概率方法选择最合适的闭环对,大幅提高了闭环和图形优化的速度。这种方法适合葡萄园的大规模测绘,即使在外观变化较大的季节也能提供稳定的表现。

2.3 多传感器融合 SLAM

多传感器融合 SLAM 常用于对安全性要求更高的载人移动设备中,将多个传感器的数据进行融合,通过数据融合来提高机器人定位和建图的精度。常见的多传感器包括激光雷达、相机、IMU 和 GNSS,每个传感器的数据都有其优缺点。将不同传感器的数据融合在一起可以克服单一传感器的局限性,提高 SLAM 的精度和鲁棒性。目前主流的开源通用框架包括 LIMO^[14]、PRoNT^[15]和 LVI-SAM^[16]。近年来,研究者在提升精度和稳定性、拓展应用场景等方面做出了一些改进和创新。

HABIBIE 等^[17]提出了一种使用 SLAM 技术生成模拟农业区地图的方法。该方法采用微调的 Gmapping 算法生成基于网格的地图,并将其与检测到的每个农作物属性相结合。该方法还使用带有视觉传感器的水果检测和 2D 激光扫描仪传感器进行树木位置检测,以提高在苹果农场的测绘精度。

李晨阳等^[18]发现低成本、低帧率的激光雷达作为 SLAM 的主要传感器存在运动畸变和误匹配的问题,使用纯估计方法去除激光雷达运动畸变时无法准确反映机器人运动情况且计算量较大。里程计具有较高的更新频率,可以较为准确地反应机器人的运动情况,局部位姿估计的精度较高。因此,提出一种融合里程计信息的 Gmapping 建图方法,利用高频率里程计信息为每个激光束匹配近似的机器人位姿,进而获取机器人当前位姿下更为精确的激光数据,以减少激光雷达运动畸变对地图构建产生的影响。

PIERZCHALIA 等^[19]提出一种使用 SLAM 算法生成局部森林地图的方法。该方法使用定制的移动平台,配备了 Velodyne VLP-16 激光雷达、立体相机、IMU 和 GPS 等多个传感器来收集 3D 数据。

3D 地图完全依赖激光扫描生成,并依靠激光里程计和闭环后的稳健图优化对其进行改进。生成的地图以 3D 点云的形式呈现,为森林制图提供了低成本且质量可接受的方法。此外,这类地图还为林业车辆的精确定位提供了新的可能性。

3 结论

本文综述了 SLAM 技术在农业机器人领域的应用现状和发展趋势。总的来说,SLAM 技术在农业领域的应用潜力巨大,可以帮助农业生产实现自动化、精准化和高效化。在农业机器人、无人机等应用领域,SLAM 技术已经取得了一些成果,但是还存在一些问题和挑战,需要进一步研究和优化。

未来,SLAM 技术在农业领域的发展方向主要有以下几个方面:(1)需要加强 SLAM 技术在农业机器人、无人机等领域的应用研究,以解决更多的实际问题。(2)需要探索 SLAM 技术在农业数据采集、分析和应用等方面的应用,为农业生产提供更加智能化的解决方案。(3)需要进一步优化 SLAM 算法和方法,提高定位精度和实时性,并结合语义信息,开发更加高效、精准的语义 SLAM 算法,实现对农业场景的理解和解释。(4)需要加强 SLAM 技术与机器学习、人工智能等其他技术的融合,构建更加完整、高效的农业智能化系统。

参考文献:

- [1] Olson E B. Real-time correlative scan matching[C]//2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE, 2009: 4387-4393.
- [2] Zhang J, Singh S. LOAM: Lidar Odometry and Mapping in Real-time[J]. Robotics, Science and Systems, 2014, 2(9): 1-9.
- [3] Grisetti G, Stachniss C, Burgard W. Improved techniques for grid mapping with rao-blackwellized particle filters[J]. IEEE Transactions on Robotics, 2007, 23(1): 34-46.
- [4] 胡炼,王志敏,汪沛,等.基于激光感知的农业机器人定位系统[J].农业工程学报,2023,39(5): 1-7.
- [5] Ratul M D T A, Mahmud M S A, Abidin M S Z, et al. Design and development of GMapping Based SLAM algorithm in virtual agricultural environment[C]//2021 11th IEEE international conference on control system, Computing and Engineering (ICCSCE). IEEE, 2021: 109-113.
- [6] 宋怀波,段援朝,李嵘,等.基于激光 SLAM 的牛场智能推翻草机器人自主导航系统[J].农业机械学报, 2023, 54(2): 293-301.
- [7] Mur-artal R, Tardó S J D. Orb-slam2: an open-source slam system for monocular, Stereo, and Rgb-d cameras [J]. IEEE Transactions on Robotics, 2017, 33(5): 1255-1262.
- [8] Engel J, Schöps T, Cremers D. LSD-SLAM: Large-scale direct monocular SLAM[C]//Computer vision-ECCV 2014: 13th European Conference. Zurich, 2014: 834-849.
- [9] Qin T, Li P, Shen S. Vins-mono: a robust and versatile monocular visual-inertial state estimator [J]. IEEE Transactions on Robotics, 2018, 34(4): 1004-1020.
- [10] Pire T, Mujica M, Civera J, et al. The rosario dataset: Multisensor data for localization and mapping in agricultural environments[J]. The International Journal of Robotics Research, 2019, 38(6): 633-641.
- [11] Cheein F A, Steiner G, Paina G P, et al. Optimized EIF-SLAM algorithm for precision agriculture mapping based on stems detection[J]. Computers and electronics in agriculture, 2011, 78(2): 195-207.
- [12] Latif R, Saddik A. SLAM Algorithms Implementation in a UAV, Based on a heterogeneous system: a survey [C]//2019 4th World Conference on Complex Systems (WCCS). IEEE, 2019: 1-6.
- [13] Papadimitriou A, Kleitsiotis I, Kostavelis I, et al. Loop closure detection and sLAM in vineyards with deep semantic cues[C]//2022 International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2022: 2251-2258.
- [14] Graeter J, Wilczynski A, Lauer M. Limo: lidar-monocular visual odometry[C]//2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2018: 7872-7879.
- [15] Schrouff J, Rosa M J, Rondina J M, et al. PRoNTTo: pattern recognition for neuroimaging toolbox[J]. Neuroinformatics, 2013, 11: 319-337.
- [16] Shan T, Englot B, Ratti C, et al. Lvi-sam: Tightly-coupled lidar-visual-inertial odometry via smoothing and mapping[C]//2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2021: 5692-5698.
- [17] Habibie N, Nugraha A M, Anshori A Z, et al. Fruit mapping mobile robot on simulated agricultural area in gazebo simulator using simultaneous localization and mapping (SLAM)[C]//2017 International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science (MHS). IEEE, 2017: 1-7.
- [18] 李晨阳,彭程,张振乾,等.融合里程计信息的农业机器人定位与地图构建方法[J].农业工程学报, 2021, 37(21): 16-23.
- [19] Pierzchał A M, Giguère P, Astrup R. Mapping forests using an unmanned ground vehicle with 3D LiDAR and Graph-SLAM[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2018(145): 217-225.

作者简介: 于楚飞,男,1996年生,硕士研究生。研究方向为 3D 计算机视觉。