

SLAM 算法在元宇宙 MR 眼镜中高精度定位与导航技术的应用研究

刘炫志 梁昭榆 陈丽敏 刘晓珊

(广州工商学院工学院 广州 510000)

摘要:本研究聚焦于元宇宙 MR 眼镜交互系统中高精度定位与导航技术的核心需求,评估了 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping, 即时定位与地图构建)算法在此领域的性能。元宇宙 MR 眼镜作为新兴交互设备,要求具备高精度的空间感知与导航能力,以实现虚拟内容的精准叠加与用户自然交互。SLAM 算法以其实时环境感知、厘米级定位精度及鲁棒性优势,为 MR 眼镜的定位与导航模块提供了坚实的技术支撑。本文通过分析 SLAM 算法的工作原理、在 MR 眼镜中的应用及其优势,探讨了其在元宇宙中的潜在价值。

关键词: slam 算法; 元宇宙; MR 眼镜; 空间感知; 导航

中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号:

Application of SLAM Algorithm in High-precision Positioning and Navigation Technology in Meta-universe MR Glasses

LIU Xuanzhi,LIANG Zhaoyu,CHEN Limin,LIU Xiaoshan

(School of Engineering, Guangzhou College of Technology and Business, Guangzhou510000, China)

Abstract:This research focuses on the core requirements of high-precision positioning and navigation technology in meta-universe MR glasses interactive systems, and evaluates the performance of SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) algorithm in this field. As an emerging interactive device, Metaverse MR glasses require high-precision spatial sensing and navigation capabilities to achieve accurate superposition of virtual content and natural user interaction. With its real-time environment perception, centimeter-level positioning accuracy and robustness advantages, the SLAM algorithm provides solid technical support for the positioning and navigation module of MR glasses. This paper discusses its potential value in the metaverse by analyzing the working principle of SLAM algorithm, its application examples in MR glasses and its advantages.

Key words: Slam algorithm; Metaverse;MR glasses; Spatial perception; Navigation

0 引言

随着元宇宙概念的兴起,混合现实(Mixed Reality,以下简称 MR)技术成为实现虚拟与现实融合交互的关键。混合现实(MR)技术通过将虚拟内容实时叠加到现实世界中,以 MR 眼镜为媒介向用户提供更加沉浸式的体验感受。然而,高精度的空间感知与导航是 MR 眼镜设计的主要挑战。SLAM 算法作为自主导航系统的核心技术,已在多个领域展现出出色性能,如自动驾驶、无人机、增强现实和虚拟现实等^[1]。本研究旨在全面评估 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping, 即时定位与地图构建)算法在元宇宙 MR 眼镜交互系统中高精度定位与导航功能的应用,探讨其性能表现与潜在优势。

1 元宇宙 MR 眼镜交互系统需求分析

随着科技的飞速发展,元宇宙作为新兴的数字交互空间,正逐步改变人们的生活方式。作为元宇宙的关键交互设备,MR 眼镜凭借其独特的沉浸式体验,成为连接虚拟与现实世界的桥梁。然而,这一目标的实现,依赖于系统对用户所在环境的精确感知与理解,其中高精度定位与导航技术尤为关键。该技术不仅要求能够实时、准确地确定用户的位置与姿态,还需构建出高精度、高分辨率的环境地图,以支持虚拟内容的准确叠加与交互。鉴于此,以下将对元宇宙 MR 眼镜交互系统进行需求分析,以支持虚拟内容的准确叠加与交互。

(1)实时性。元宇宙 MR 眼镜交互系统必须能够在毫秒级别的时间内完成定位与地图构建,以确保用户在使用过程中获得流畅的交互体验。这要求系统具备高效的算法与强大的计算能力,以应对复杂多变的环境信息。

(2)高精度。定位精度需达到厘米级,地图质量需保持高分辨率,以确保虚拟内容与现实世界的精准对齐。这要求系统能够准确感知环境特征,有效处理传感器数据,构建出精确的

环境模型。

(3)鲁棒性。由于用户可能在不同环境条件下使用 MR 眼镜,如室内、室外、明亮或昏暗的光照条件等,系统必须能够在这些复杂环境中稳定运行。这要求系统具备强大的环境适应能力,能够应对光照变化、遮挡、动态障碍物等挑战,确保定位与导航的准确性与可靠性。

(4)多用户支持。在元宇宙中,多用户同时在线、进行交互协作是常态。因此,系统必须能够支持多个用户在同一环境中进行协同定位与导航,确保多个用户的虚拟内容与现实世界能够正确叠加与交互。这要求系统具备高效的协同算法与数据同步机制,以支持多用户场景的实时交互需求。

2 SLAM 算法基本原理与技术发展

通过深入分析元宇宙 MR 眼镜交互系统对于高精度定位与导航的需求,明确了实时性、高精度、鲁棒性和多用户支持等关键要求。为了满足这些需求,SLAM 算法成为了理想选择。

2.1 SLAM 算法基本原理

SLAM 算法不仅能够未知环境中实现实时的自我定位和地图创建,而且其强大的环境适应能力和计算效率为 MR 眼镜提供了坚实的技术支撑,其技术流程主要包括感知、预处理、数据关联、状态估计与地图更新。根据传感器类型和算法实现方式,SLAM 技术可分为基于滤波器的 SLAM、基于图优化的 SLAM 和基于深度学习的 SLAM。

其中,视觉 SLAM 作为重要分支,利用摄像头作为传感器,通过图像信息进行定位和建图。视觉 SLAM 可分为基于特征点的 VSLAM、直接法 VSLAM、半直接法 VSLAM 和基于深度学习的 VSLAM,各类算法在特征提取、计算复杂度、光照变化适应性等方面各有优劣。

2.2 SLAM 技术发展与运用

SLAM 算法在 MR 眼镜中的应用主要体现在环境地图构建与高精度定位两方面。常用的环境地图类型包括栅格地图、特征地图和拓扑地图^[1]，它们在不同场景下具有各自的优缺点。

在高精度定位方面，ORB-SLAM3 作为先进的 SLAM 算法，支持多摄像头、深度摄像头和 IMU（惯性测量单元）传感器，具有高效的数据采集与处理能力。在 MR 眼镜中，ORB-SLAM3 通过实时采集环境图像、提取特征点、构建和维护高精度三维模型，实现高精度定位与导航。ORB-SLAM3 的数据采集模块通过 OpenCV 实时采集环境图像，并将其转换为灰度帧以提取特征点，同时与当前帧的上一帧图片通过 MLPnp 进行匹配，对帧间运动进行估计，之后基于目前运行的状态，决定是否将该图像帧确定为关键帧，并将其输送到下一个线程和地图集中^[2]，以构建和维护环境的高精度三维模型。ORB-SLAM3 的多传感器融合能力使其能够在不同环境条件下稳定工作，同时其强大的重定位和闭环检测功能进一步提高了系统的鲁棒性和准确性，支持稳定的重定位和路径规划。

3 SLAM 算法在元宇宙 MR 眼镜中的具体实现与优势

3.1 SLAM 算法在元宇宙 MR 眼镜中的具体实现

SLAM 算法在 MR 眼镜中的应用，主要通过以下几个关键环节实现：

（1）数据采集与预处理

SLAM 算法首先通过 MR 眼镜上的摄像头等传感器实时采集环境图像信息。这些信息经过预处理，如灰度转换、特征点提取等，为后续的定位与地图构建提供基础数据。ORB-SLAM3 等先进算法在此阶段发挥了重要作用，能够高效地提取图像中的特征点，为后续的帧间匹配和位姿估计提供准确依据。

（2）帧间匹配与位姿估计

在数据采集与预处理的基础上，SLAM 算法通过帧间匹配技术，将当前帧与上一帧或关键帧进行特征点匹配，从而估计出相机的运动（即 MR 眼镜的位姿变化）。这一过程需要高精度的匹配算法和稳定的计算性能，以确保定位的准确性，通过优化匹配策略和减少计算复杂度，实现了在复杂环境中的快速位姿估计。

（3）地图构建与更新

基于帧间匹配和位姿估计的结果，SLAM 算法逐步构建出环境的三维地图。这一地图不仅包含了环境的空间结构信息，还包含了设备的运动轨迹和姿态信息。随着用户的移动和环境的变化，实时更新地图，确保地图的准确性和实时性。同时，通过闭环检测等技术，发现并纠正地图中的误差，进一步提高地图的精度和可靠性。

（4）多传感器融合与鲁棒性提升

为了应对复杂多变的环境条件，SLAM 算法在 MR 眼镜中实现了多传感器融合。通过结合摄像头、深度传感器、IMU 等多种传感器的信息，更全面地感知环境，提高定位的精度和鲁棒性。

3.2 SLAM 算法在元宇宙 MR 眼镜中的应用优势

（1）虚拟内容叠加精度

SLAM 算法在 MR 眼镜的虚拟内容叠加精度中发挥了至关重要的作用，显著提升了虚拟内容的叠加精度和用户体验这两方面。SLAM 算法对于能够实现高精度的定位和叠加的场景，几乎都确保虚拟内容与真实环境的完美融合。而在视觉上 SLAM 算法的高度准确性所带来的效益可使得虚拟内容在体验用户的眼中更加真实、更加自然，对于交互体验所带来的益处更多是流畅便捷这一效果。

（2）实时环境感知

SLAM 算法在实时环境感知中确保了 MR 眼镜能够及时更新用户周围的信息，这是实现高质量虚拟内容叠加的基础。SLAM 算法通过不断感知和理解用户周围的环境，实时构建和更新环境地图，同时准确估计设备自身的姿态和位置。这种双重功能使得 MR 眼镜能够在动态环境中保持高精度和鲁棒性，确保虚拟内容与真实世界的完美对齐。例如，在用户移动过程中，SLAM 算法能够快速检测和跟踪环境中的特征点，如博物馆展览柜和地标等，从而在用户视野中实时更新虚拟内容的位置。此外，SLAM 算法还能够处理不同光照条件、遮挡和变化的环境，确保在各种情况下都能提供稳定的感知和定位能力。

（3）多用户支持与协同交互

在元宇宙中，多用户同时在线、进行交互协作是常态。SLAM 算法通过优化算法结构和数据处理流程，能够支持多个用户在同一环境中进行协同定位与导航。这一优势使得 SLAM 算法在 MR 眼镜中能够满足多用户场景下的交互需求，促进用户之间的协同与互动。

4 结论与展望

SLAM 算法在元宇宙 MR 眼镜高精度定位与导航技术中发挥着至关重要的作用。在虚拟内容叠加精度方面，SLAM 算法通过实时感知和更新用户周围的信息，确保虚拟内容与真实世界的完美融合，使用户在视觉上感受更加真实、自然的交互体验。同时，SLAM 算法的实时性和鲁棒性大大提升了系统的稳定性和可靠性，能够在不同光照条件、遮挡和动态环境中保持高精度的定位和建图能力，避免虚拟内容的漂移或错位现象。在具体应用场景中，SLAM 算法在虚拟导航中表现尤为突出。在虚拟导航中，SLAM 算法能够实时更新用户的当前位置和方向，提供流畅且精确的导航体验。这些都为用户在元宇宙中的沉浸式和自然交互提供了坚实的技术支持。

展望未来，随着深度学习、多传感器融合技术的发展以及元宇宙生态的逐渐成熟，SLAM 算法在 MR 眼镜中的应用将具有更广阔的发展空间。首先，基于现阶段深度学习的 SLAM 算法已进一步提升对复杂环境的适应性，减少对特征点的依赖，提高计算效率和鲁棒性。其次，多传感器融合技术的发展将进一步提高 SLAM 算法的定位精度和环境感知能力，使其在更多复杂场景中表现更加稳定。此外，随着元宇宙生态的逐渐成熟，MR 眼镜的用户体验将更加丰富，SLAM 算法将在多用户协作、实时交互等方面发挥更大的作用。

参考文献：

[1] 张家鑫. 基于语义的视觉 SLAM 算法及其在地下停车场车位建图应用的研究[D]. 电子科技大学, 2024. DOI:10.27005/d.cnki.gdzku.2024.002887.

[2] 臧恩彤. 基于激光 SLAM 的推料机器人自主导航系统研究[D]. 齐鲁工业大学, 2024. DOI:10.27278/d.cnki.gsdqc.2024.000540.

[3] 于普. 面向嵌入式系统应用 SLAM 算法的研究[D]. 西安工业大学, 2022. DOI:10.27391/d.cnki.gxagu.2022.000399.

作者简介：刘炫志（2003.10-），男，汉族，广东茂名，本科，广州工商学院，学生，研究方向：软件工程

基金项目：本文系广州工商学院 2024-2025 年广州工商学院质量工程项目：“大数据与人工智能实验教学中心”（项目编号：SYJXSFXZ202401）；2020 年广东省本科高校教学质量与教学改革工程建设项目：“数字媒体虚拟仿真实验教学中心”的研究成果。