

孟凡宸, 曹乐, 王金玮, 等. 基于 AprilTag 与里程计融合的多智能体自定位方法[J]. 智能计算机与应用, 2024, 14(7): 165-169. DOI:10.20169/j.issn.2095-2163.240726

基于 AprilTag 与里程计融合的多智能体自定位方法

孟凡宸, 曹乐, 王金玮, 张慕谦, 田健鹏

(上海工程技术大学 电子电气工程学院, 上海 201620)

摘要: 针对无 GNSS 信号的复杂环境下的多智能体定位问题, 本文提出一种基于 AprilTag 与里程计融合的多智能体自定位方法。首先, 基于 AprilTag 的定位原理, 实现 AprilTag 在 ROS 中的识别与测距; 其次, 将单目视觉定位与里程计定位相结合, 经过坐标转换和坐标修正实现多智能体融合定位; 最后, 设计融合定位算法架构, 实现定位坐标的融合计算, 并在 Gazebo 虚拟环境中进行了定位实验。实验结果表明, 该方法能仅靠摄像头和里程计实现稳定可靠的多智能体自定位。

关键词: 多智能体; Apriltag; 里程计; 自定位

中图分类号: TP399

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2024)07-0165-05

Multi agent self positioning system based on AprilTag and odometer fusion

MENG Fanchen, CAO Le, WANG Jinwei, ZHANG Muqian, TIAN Jianpeng

(School of Electronic and Electrical Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: Aiming at the multi-intelligent body localization problem in the complex environment without GNSS signal, this paper proposes a multi-intelligent body self-localization method based on the fusion of AprilTag and odometer. Firstly, based on the positioning principle of AprilTag, the recognition and ranging of AprilTag in ROS are realized; secondly, monocular visual positioning is combined with odometer positioning, and multi-intelligent body fusion positioning is realized after coordinate conversion and coordinate correction; finally, the fusion positioning algorithm architecture is designed to realize the fusion calculation of positioning coordinates, and the positioning experiments are carried out in the Gazebo virtual environment. The experimental results show that the method can realize stable and reliable multi-intelligent body self-localization by only relying on the camera and odometer.

Key words: multi agent; AprilTag; odometer; self localization

0 引言

智能体 (Agent) 是具有自主分析和环境交互能力的实体, 能够通过学习与自我优化来提升性能, 并在工业、军事、服务等多个领域得到应用^[1-2]。单个智能体的能力有限, 多智能体系统的协作可以实现更广泛的效应^[3]。多智能体系统作为分布式人工智能研究的焦点, 在时间与空间分布性上有优势, 特别是在需要灵活性、可扩展性和高负载能力的任务中, 例如包围和合作搬运^[4-5]。而多智能体系统要解决的首要问题就是多智能体的定位, 即“我 (智能体) 在哪里?”, 虽然可以使用全球导航卫星系统

(Global Navigation Satellite System, GNSS) 和超宽带 (Ultra-Wideband, UWB) 等技术直接向智能体提供外界位置信息, 但并不适合于所有的环境^[6-8]。在无法接收到全球导航卫星系统信号的复杂环境下, 可以借助多智能体的传感器进行定位, 比如激光雷达、摄像头、里程计等^[9], 本文提出了一种基于 AprilTag 与里程计融合的多智能体定位方法, 首先确定各个智能体的相对初始位姿, 随后借助里程计来辅助定位移动中的多智能体的位置。运用单目视觉和 AprilTag 视觉基准系统相结合的方法对多智能体初始位姿估计, 通过对智能体搭载的 AprilTag 进行识别和位姿估计, 间接得到智能体的位姿, 这种方

基金项目: 国家自然科学基金 (61703270)。

作者简介: 孟凡宸 (1997-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 智能控制。

通讯作者: 曹乐 (1986-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 惯性传感器, 惯性导航定位, 微弱信号检测技术。Email: caole00012@163.com

收稿日期: 2023-04-16

法方便地将智能体从环境中区分出来,并不需要做过于复杂和消耗算力的目标检测。在智能体移动的过程中,智能体不可避免的会消失在视觉传感器的视野范围中,此时就需要借助里程计来协助定位,里程计定位信息是连续的,没有离散的跳跃。但里程计也存在缺陷,基于航迹推算的定位会存在累计误差,不利于长距离或长期定位,因此可以借助视觉定位定时对里程计数据进行修正^[10]。基于单目视觉和编码器里程计的特点,融合这两种传感器的数据可以互相弥补各自的缺陷,从而更好地完成定位任务。

表1 AprilTag、ARTag 和 CALTag 对比

Table 1 Comparison of AprilTag, ARTag and CALTag

名称	图示	起源	特点
AprilTag		美国密歇根大学	主要用于机器人导航和视觉定位,比 ARTag 简单易用。
ARTag		英国剑桥大学	能够有效地防止干扰和误识别。
CALTag		不列颠哥伦比亚大学与锡根大学	具有稳健的性能,能够适用于复杂环境。

AprilTag 是一个基于 ARToolkit 和 ARTag 的改进的视觉标记跟踪技术,广泛用于增强现实、智能体和相机校准领域^[13]。国外对 AprilTag 的研究较早,弗吉尼亚州立大学的研究人员使用无人机和嵌入式 AprilTag 设计优化了地面车辆的跟踪^[14]。Lucas Teixeira 等^[15]使用 AprilTag 辅助无人机进行相对位姿估计。

AprilTag 使用具有 4 到 12 位数据的简化编码,能够远距离进行稳健的检测和识别。AprilTag 不仅可以识别和跟踪目标,还可以获得目标的三维信息。只要知道相机的分辨率、焦距和标签的尺寸, AprilTag 相应的检测程序就能识别标签的类型、ID、距离和姿态。AprilTag 根据所承载信息量的不同,被划分为多个不同的种类,每个种类也被称作一个“家族”,例如:“TAG16H5”家族的 AprilTag 由 4×4 的方格构成,在同一尺寸下比由 6×6 的方格组成的“TAG36H11”家族的 AprilTag 的识别距离更远,但因为“TAG36H11”家族包含更多的校验信息,容错率比“TAG16H5”家族高,因此大多数情况下更推荐使用“TAG36H11”家族。

本文提出基于 AprilTag 与里程计融合的多智能体自定位方法,利用 AprilTag 作为关键的视觉标记,

1 AprilTag 识别与定位

多智能体持续定位的一个重要的先决条件是获取各个智能体的初始位姿,为解决这个首要问题,本文采用二维码辅助的视觉定位技术。近年来,在视觉定位领域二维码技术得到发展和应用^[11]。特别地, AprilTag、ARTag 和 CALTag 这 3 种二维码技术因其先进性和广泛性而脱颖而出,这些二维码技术通过提供精确的定位信息,显著提升了智能体的定位精度和导航能力^[12]。AprilTag、ARTag 和 CALTag 这 3 种二维码技术的对比见表 1。

结合摄像头捕获的图像,实现对智能体位姿的精确估计。在实现过程中,首先对摄像头获取的图像进行一系列预处理操作,包括图像压缩以优化数据传输,自适应阈值分割以增强图像中的 AprilTag 特征,以及轮廓检测和直线拟合以提取关键信息。

2 多智能体协同定位

2.1 初始位姿估计

AprilTag 在智能体系统的应用方式大体可以分为两种,一是将 AprilTag 贴在智能体所处的环境中,将 AprilTag 当作一个辅助视觉定位的路标^[15];二是贴在其它移动物体上,达成追踪和跟随的目的。这两种方式中的 AprilTag 都只是对其它定位的一种辅助,而本文提出基于 AprilTag 与里程计融合的多智能体自定位方法中, AprilTag 作为主要的定位手段,将 AprilTag 直接附着在智能体上,经过对各二维码坐标系进行融合达成多智能体自定位的效果。在智能体上搭载一个由 AprilTag 组成的立方体方块,立方体的 6 个面分别对应一个 ID 不同的 AprilTag,这样就可以通过识别到的标识码来获得智能体的朝向,比如:令 3 号智能体搭载一个立方体方块,方块的前、后、左、右、上、下 6 个面分别对应的标识码为

31、32、33、34、35、36, 将立方体的前面对应智能体的正面, 当另一个智能体的摄像头检测到 31 号 AprilTag 时, 就能得知 3 号智能体正面正在朝向摄像头, 从而获取智能体的编号和大体朝向; 依靠 AprilTag 检测程序获得标识码的位置和旋转偏移量, 并将位姿信息发送给服务器, 服务器进行后续数据处理和存储, 多智能体协同初始位姿估计流程如图 1 所示。

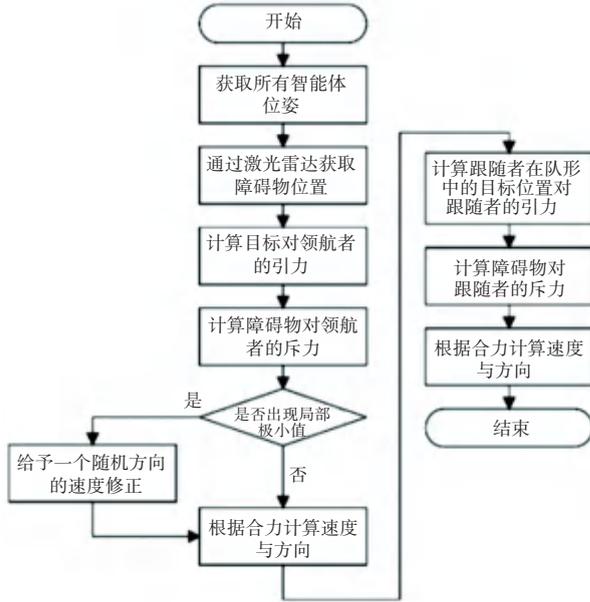


图 1 多智能体协同初始位姿估计流程图

Fig. 1 Flowchart of multi-agent collaborative initial pose estimation

由于每个智能体对其它智能体的定位都是以自身为原点进行相对定位的, 因此当服务器获取到所有智能体的位姿后, 需要进行多个定位图的组合拼接, 这个过程需要考虑各个智能体的朝向、位置以及智能体之间的相对关系, 使用适当的平移和旋转变换, 使得各个智能体的定位能够在同一个坐标系下被表示, 如图 2 所示。首先需要选定一个智能体的坐标作为原点(0,0), 其它智能体基于这个智能体的定位进行坐标轴的平移和旋转, 可以通过将原始坐标的齐次坐标矩阵 M 与旋转矩阵 R 和平移矩阵 T 相乘, 得到结果矩阵 M' 。

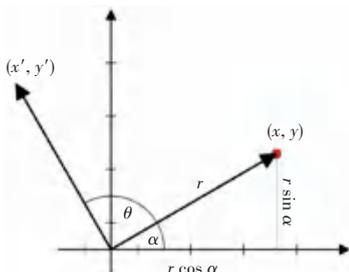


图 2 坐标变换示意图

Fig. 2 Coordinate transformation diagram

$$M = \begin{pmatrix} \hat{e}_x \hat{u} \\ \hat{e}_y \hat{u} \\ \hat{e}_z \hat{u} \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$R = \begin{pmatrix} \hat{e} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \hat{u} \\ \hat{e} \sin \theta & \cos \theta & 0 \hat{u} \\ \hat{e} 0 & 0 & 1 \hat{u} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$T = \begin{pmatrix} \hat{e} 1 & 0 & x_0 \hat{u} \\ \hat{e} 0 & 1 & y_0 \hat{u} \\ \hat{e} 0 & 0 & 1 \hat{u} \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$M' = M \cdot R \cdot T \quad (4)$$

2.2 视觉与里程计融合的自校准协同定位

多智能体的初始位姿确定后便可以初始位姿为基础来对多智能体进行实时定位。在智能体移动的过程中不可避免的会出现作为视觉定位基础的 AprilTag 在一些智能体的视野中消失的情况, 此时可以结合编码器里程计的数值变化来保障智能体定位的连续性。但随着智能体行驶距离的增加, 里程计的累积误差也会随之增大, 严重影响了位姿估计的精度和稳定性, 因此, 单独依赖里程计进行长时间运动的位姿估计是不可靠的。为解决这一问题, 需要通过对视觉信息的处理和分析, 结合里程计信息, 实现对智能体位置和姿态的校正。本文设计了一种单目视觉与编码器里程计融合的自校准协同定位方法, 流程图如图 3 所示。

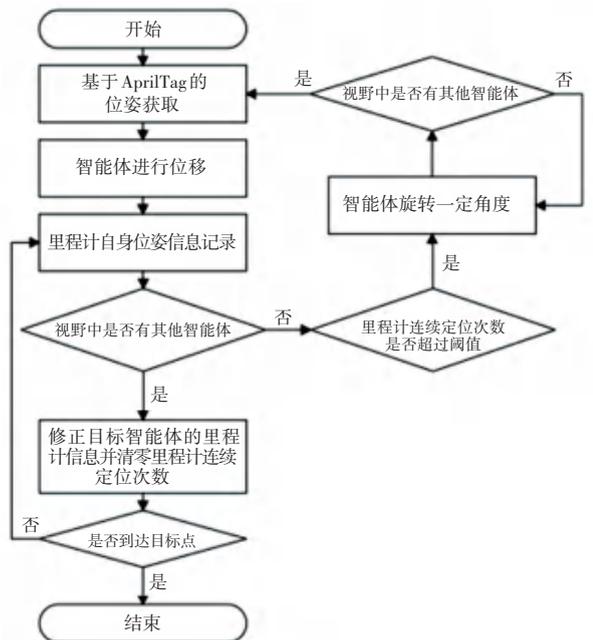


图 3 单目视觉与编码器里程计融合的自校准协同定位流程图

Fig. 3 Flow chart of self-calibrating cooperative localization with vision and odometer fusion

当智能体无法进行视觉定位时, 可根据实际情

况为里程计设置一个连续定位次数的阈值,当里程计连续定位的次数小于此阈值时,可以容许智能体仅凭借里程计的位姿变化和上一次视觉定位信息继续进行一段时间的自定位,并且当该智能体的视野中出现了 AprilTag,则改为以视觉定位为主要定位方式,同时根据视觉定位信息修正里程计信息和清零里程计连续定位次数。当里程计连续定位的次数超过阈值时,需要该智能体尽快进行视觉定位,智能体会自主旋转一定角度使其它智能体的 AprilTag 出现在该智能体的视野范围中,从而恢复视觉定位。

3 实验

为验证本文提出的基于 AprilTag 与里程计融合的多智能体自定位方法,本文搭建了 Gazebo 虚拟仿真环境来进行实验,Gazebo 仿真环境如图 4 所示。本实验通过 PC 端上位机控制多智能体运动,在 Gazebo 虚拟环境中进行多智能体仿真控制实验,步骤如下:

(1)安装并配置 Gazebo 仿真环境,确保已经安装了 Gazebo 软件包,并且能够在命令行中运行 Gazebo 仿真环境;

(2)创建虚拟环境:使用 Gazebo 的模型编辑器来创建一个包含多个智能体的虚拟环境,在这个虚拟环境中加入障碍物、边界、地图等元素;

(3)在 Gazebo 中测试定位算法:使用机器人操作系统(Robot Operating System, ROS)的话题通讯机制将定位算法与虚拟环境连接起来,然后运行定位算法,并观察定位结果是否准确;

(4)调整定位算法参数:如果定位结果不够准确,可以尝试调整定位算法的参数,使得在虚拟环境中的表现更佳。

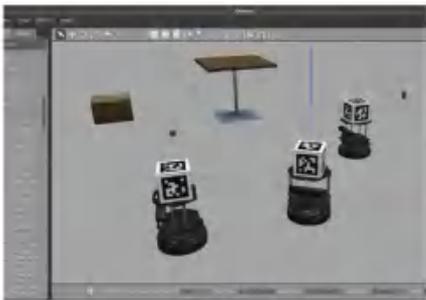
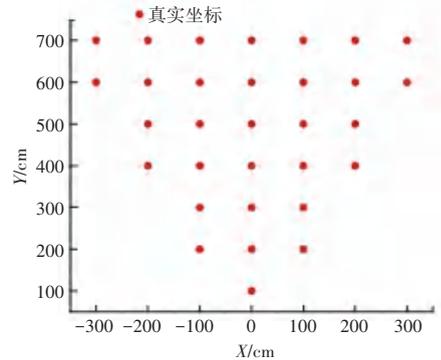


图 4 Gazebo 仿真环境

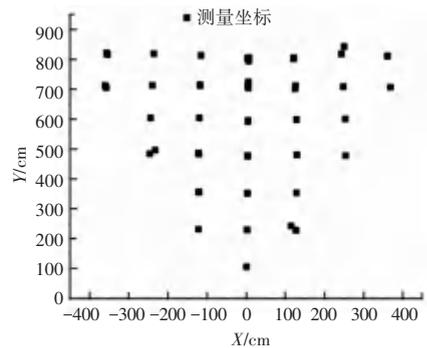
Fig. 4 Gazebo simulation environment

本实验在 7 m×7 m 的场地中选取了多个均匀分布的点进行了多次多智能体定位实验,并记录了实际坐标和测量坐标,定位数据的分布情况如图 5

所示。可以看出,测量坐标的分布与真实坐标的分布大致相符,并且差距随着智能体之间的距离减小而减小。相较于精度为数米级别 GNSS 定位,在相同距离和环境下,本文的定位方法在多智能体编队运动应用中表现出更高的精度,达成了预期效果。



(a) 真实坐标分布图



(b) 测量坐标分布图

图 5 虚拟环境下定位数据分布图

Fig. 5 Distribution of positioning data in the virtual environment

4 结束语

本文提出了一种基于 AprilTag 和里程计融合的多智能体协同自定位方法。该方法结合了两种不同的定位技术,采用信息共享和协同定位的策略,实现了多智能体之间的自定位。实验结果表明,该方法可以在无 GNSS 的复杂环境下实现高精度的定位。

参考文献

- [1] 李杨,徐峰,谢光强,等.多智能体技术发展及其应用综述[J].计算机工程与应用,2018,54(9):13-21.
- [2] PANAIT L, LUKE S. Cooperative multi-agent learning: The state of the art [J]. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 2005, 11(3): 387-434.
- [3] 张秋花,薛惠锋,吴介军,等.多智能体系统 MAS 及其应用[J].计算机仿真,2007,24(6):133-137.
- [4] 薛宏涛,叶媛媛,沈林成,等.多智能体系统体系结构及协调机制研究综述[J].机器人,2001(1):85-90.
- [5] 付梦家,游晓明.多机器人系统及其路径规划方法综述[J].软件导刊,2017,16(1):177-179.

- [6] LEONARD J J, DURRANT-WHYTE H F. Mobile robot localization by tracking geometric beacons[J]. *IEEE Transactions on Robotics & Automation*, 2002, 7(3): 376–382.
- [7] SCHMIDT G. GPS based navigation systems in difficult environments [J]. *Gyroscopy and Navigation*, 2019, 10(2): 41–53.
- [8] VANEGAS F, GASTON K J, ROBERTS J, et al. A framework for UAV navigation and exploration in GPS-denied environments [C]//*Proceedings of 2019 IEEE Aerospace Conference*. IEEE, 2019: 1–6.
- [9] 李清泉, 李必军, 陈静. 激光雷达测量技术及其应用研究[J]. *武汉测绘科技大学学报*, 2000(5): 387–392.
- [10] 张礼廉, 屈豪, 毛军, 等. 视觉/惯性组合导航技术发展综述 [J]. *导航定位与授时*, 2020, 7(4): 50–63.
- [11] 徐红举, 鲁力群, 孙萌, 等. 激光与二维码相融合的 AGV 自主导引建模与仿真分析[J]. *重庆理工大学学报(自然科学)*, 2022, 36(10): 256–263.
- [12] TRIPICCHIO P, D’AVELLA S, CAMACHO-GONZALEZ G, et al. Multi-camera extrinsic calibration for real-time tracking in large outdoor environments [J]. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 2022, 11(3): 40.
- [13] OLSON E. AprilTag: A robust and flexible visual fiducial system [C]//*Proceedings of 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. IEEE, 2011: 3400–3407.
- [14] LI Z, CHEN Y, LU H, et al. UAV autonomous landing technology based on AprilTags vision positioning algorithm [C]//*Proceedings of 2019 Chinese Control Conference (CCC)*. IEEE, 2019: 8148–8153.
- [15] TEIXEIRA L, MAFFRA F, MOOS M, et al. VI-RPE: Visual-inertial relative pose estimation for aerial vehicles [J]. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 2018, 3(4): 2770–2777.