

基于ROS和Unity的自动导航小车状态监控研究

王超, 鲁玉军

浙江理工大学机械工程学院, 浙江 杭州

收稿日期: 2023年3月23日; 录用日期: 2023年5月16日; 发布日期: 2023年5月23日

摘要

针对传统仓储物流工厂中普遍存在借助于人力完成产品的存储和搬运、人力成本高昂且浪费严重、智能化程度低等情况, 提出一种将ROS平台与Unity开发软件相结合的方法来智能监控AGV运行, 提高工厂智能化, 提高效率。通过构建数字孪生体, 实现虚拟AGV和真实AGV的实时交互, 完成以虚映实、以虚控实。建立真实AGV的虚拟模型, ROS系统作为服务端安装ROS-TCP-Endpoint服务, Unity作为客户端安装ROS-TCP-Connector服务, 完成数据互通, 最终在Unity中开发出状态监控系统。通过该系统, 促进人与机器高效合作, 降低错误产生的可能, 利用数据交互进行仿真, 更加直观地对AGV进行分析和优化, 进而提高仓储物流工厂的工作效率。

关键词

ROS, Unity, AGV, 数字孪生, 仓储物流

Research on Status Monitoring of Autonomous Navigation Vehicle Based on ROS and Unity

Chao Wang, Yujun Lu

School of Mechanical Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou Zhejiang

Received: Mar. 23rd, 2023; accepted: May 16th, 2023; published: May 23rd, 2023

Abstract

In view of the common situations in traditional warehousing and logistics factories that rely on manpower to complete product storage and handling, high labor costs and serious waste, and low intelligence, a method combining ROS platform and Unity development software is proposed to intelligently monitor AGV operation, improve factory intelligence, and improve efficiency. By con-

structuring a digital twin, real-time interaction between virtual AGVs and real AGVs is realized, and virtual mapping and virtual control of reality are achieved. Establish a virtual model of a real AGV, install the ROS-TCP-Endpoint service on the ROS system as the server, and install the ROS-TCP-Connector service on the Unity client to complete data exchange. Finally, a status monitoring system in Unity is developed. Through this system, we can promote efficient cooperation between people and machines, reduce the possibility of errors, utilize data interaction for simulation, and more intuitively analyze and optimize AGVs, thereby improving the efficiency of warehousing and logistics factories.

Keywords

ROS, Unity, AGV, Digital Twin, Warehousing Logistics

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

传统的仓储物流工厂主要是借助于人力完成产品的存储和搬运[1], 人力成本高昂且浪费严重, 劳动效率低下, 智能化程度低, 同时随着货物的增加, 该模式会严重影响正常的运转工作。实体经济和快速发展的网络信息技术正在不断融合, 在工业行业中数字化、网络化、智能化发展十分迅速, 产生了新模式和新业态的制造业数字化转型的方法, 其中一个重要方法就是数字孪生[2] [3]。

数字孪生这一概念最早由 Michael Grieves [4]在密歇根大学的 PLM 课堂上提出, 指的是从产品的设计到制造、使用到维修、开始服务到最终被回收的整个流程。Klaus Schützer 等学者合作研发基于产品生命周期的数字孪生模型, 同步数据并建立文档, 为企业提供相关指导方案[5]。T. G. Ritto 和 F. A. Rochinha [6]研究了多种物理模型的损伤结构场景, 建立孪生模型并分析各种操作条件对模型的影响, 利于工程实际运用推广。国内也有大量学者对其进行了相关研究。陶飞等针对物理世界和虚拟世界信息交互问题提出了数字孪生车间的概念[7], 并基于此探讨相关实现理论与方法。2019年, 陶飞及其团队为推动数字孪生技术的进一步深入运用, 扩展已有的三维模型, 提出了数字孪生五维模型概念[8]。蒋爱国等融合人工智能与大数据, 基于数字孪生五维模型建立智能监测系统, 完成对海上钻井平台的监测[9]。胡阳等针对复杂大型风电机组建立数字孪生仿真系统, 实现对风电机组的在线实时仿真[10]。

数字孪生作为一个概念性的理论逐渐被工业界以及学术界采纳, 这一概念, 从其本质来说是以数字化形式对物理实体进行模拟, 完成以虚映实、以虚控实、以虚预实、以虚优实等功能服务[11]。综合以上研究, 本文将数字孪生技术与 AGV 相结合, 针对传统仓储车间的效率低下的问题, 建立 AGV 状态监控系统, 促进人与机器高效合作, 降低工作错误的产生, 利用数据交互进行仿真, 更加直观地对 AGV 物理实体进行分析和状态监控, 提高生产效率。

2. AGV 状态监控系统五维结构模型建立

结合数字孪生五维结构模型及其标准体系[12], 本文以 AGV 为研究对象, 提出 AGV 状态监控系统五维架构, 并进行 AGV 的数字孪生建模技术研究, 创建相对应的数字孪生虚拟模型。通过该技术, 完成对 AGV 的可视化监测以及智能控制。

AGV 状态监控系统的五维结构模型如下图 1 所示:

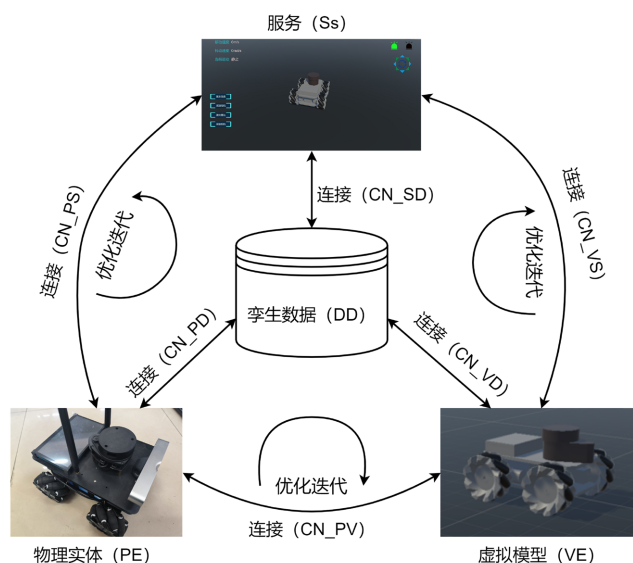


Figure 1. Five dimensional structural model of AGV condition monitoring system
图 1. AGV 状态监控系统五维结构模型

五维结构模型公式为 $M_{DT} = (PE, VE, Ss, DD, CN)$, M_{DT} 表示建立的孪生模型, 由 PE、VE、Ss、DD、CN 共同组成。其中 PE 表示现实世界中的物理实体, VE 表示相对于物理实体建立而成的虚拟模型, Ss 表示结合物理实体和虚拟模型等创建的全生命周期服务系统, DD 表示物理实体和虚拟模型在运行过程中产生的各种孪生数据, CN 表示上述各部分之间的连接。

3. AGV 模型与通讯连接的建立

1) AGV 模型的建立

本文主要目的为构建 AGV 的数字孪生模型, 由此需设计确定 AGV 的车身结构、控制系统、传感器模块、驱动系统、动力系统[13]。

根据研究需要本文选择 XTARK-MECX2, 具体研究的 AGV 硬件架构如下图 2 所示:

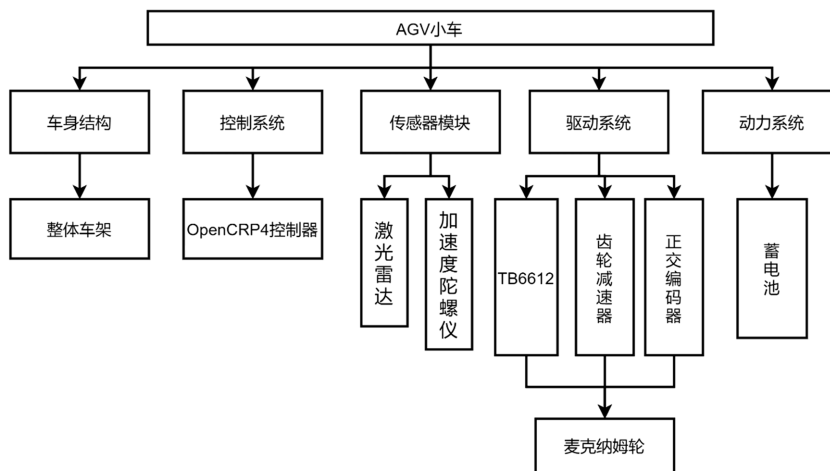


Figure 2. AGV hardware architecture diagram
图 2. AGV 硬件架构图

AGV 实体如下图 3 所示:



Figure 3. AGV entity
图 3. AGV 实体

对实体进行精准的映射和对模型进行更进一步的迭代优化是数字孪生的两个特点, 利用这两个特点, 可以得出 AGV 的数字孪生体就是 AGV 的数字孪生虚拟模型。本文采用 SolidWorks [14]、3dMax、Unity 软件设计混合模型, 建模过程如下图 4 所示:

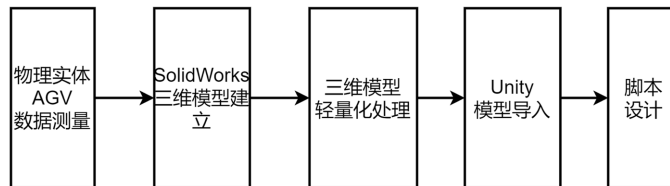


Figure 4. 3D modeling process
图 4. 三维建模流程

本文对 AGV 进行仿真的 Unity 软件版本为 2021.3.18f1c1, 建模完成后在 Unity 环境 AGV 虚拟模型展示如下图 5 所示:

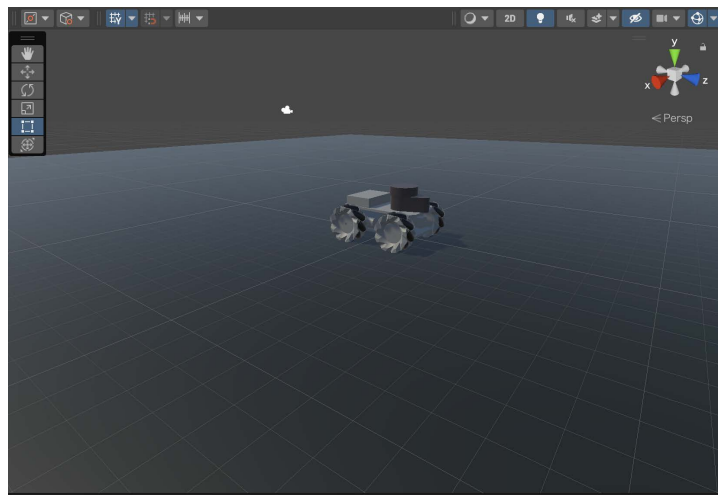


Figure 5. Unity environment AGV virtual model presentation
图 5. Unity 环境 AGV 虚拟模型展示

2) 通讯连接的建立

ROS 与 Unity 的通信, ROS 端需要下载 ROS-TCP-Endpoint 服务, 下载后在 ROS 的工作空间编译该文件, 使得该文件生效; Unity 端需要配置 ROS-TCP-Connector 服务, 下载后需要将其加载到 Unity 工程配置里, 然后进行相应环境变量配置。需要注意的是 ROS 服务端与 Unity 客户端的连接 IP 地址须保持一致, 从而使得通讯能够正常建立, 进而传输相关数据。通过该配置操作, 完成 TCP 通讯的建立, 为后续系统开发做准备。

4. AGV 状态监控系统实现

4.1. 监控系统功能设计

本文设计的 AGV 状态监控系统界面显示多个方面的内容, 如下图 6 所示, 分别为① AGV 运动信息、② 菜单项、③ AGV 运动画面、④ 指示灯状态、⑤ AGV 运动控制、⑥ 点击菜单栏出现的具体信息。其中运行状态包含有移动速度、转动速度、当前运动方向等信息; 指示灯状态包括系统运行状态灯和电池状态灯; 菜单项包括基本信息、减速器信息、激光雷达、深度相机等信息, 点击对应的菜单项, 界面将弹出相应的信息; AGV 运动画面将展示 AGV 的实时运动情况。

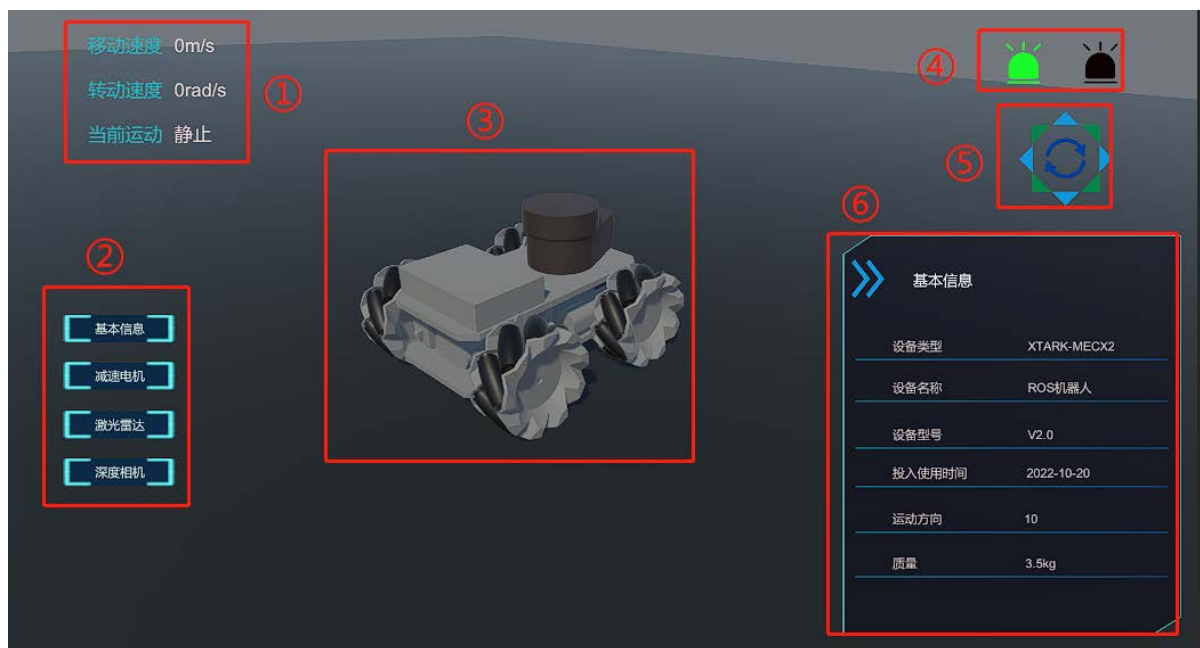


Figure 6. AGV status monitoring system interface

图 6. AGV 状态监控系统界面

系统包括了以下功能: 可视化交互、实时监测、运动控制。

1) 可视化交互功能便于用户快速了解物理实体 AGV 的基础数据, AGV 实时运动数据、动态调控算法以及搭载的各类传感器配置参数。通过点击界面上相关按键即可出现对应内容。

2) 实时监测功能实现了界面中虚拟模型对物理实体的完全映射, 通过系统界面即可多方位多角度观察实体 AGV 的运动情况, 为用户进一步维护、管理物理实体 AGV 提供依据。

3) 运动控制功能实现了通过 AGV 状态监控系统对 AGV 物理实体的控制, 满足用户通过系统远程调度控制物理实体的功能需求。

4.2. 监控系统功能实现与展示

1) 可视化交互

菜单项包括了 AGV 物理实体的基本信息、及其上搭载的减速电机、激光雷达、深度相机等信息。鼠标点击相应的菜单项按钮, 相关信息将在系统右下角弹出并进行展示。

如图 6 所示, 即为点击“基本信息”出现的结果。

2) 实时监测

① 监控系统界面右上方配置有两个指示灯, 绿色灯标识运行状态, 红色灯标识电池电量状态。正常运行状态下, 绿色灯常亮。进入低电压保护状态时, 绿色灯熄灭。如图 6 中 AGV 正常运行, 绿色灯常亮、红色灯熄灭。

红色灯标识电量状态, 共有三种状态, 如下表 1 所示:

Table 1. AGV indicator status

表 1. AGV 指示灯状态

红色 LED 状态	含义
熄灭	电池电压大于 10.5 V, 电量充足
闪烁	电池电压小于 10.5 V, 需进行充电
常亮	电压小于 9.9 V, 进入低电量保护状态, 机器人停止运行, 必须充电

② AGV 的运动信息是通过订阅话题“/odom”来实时获取的。如下图 7 为“/odom”的消息内容, 包含了 AGV 物理实体位置 pose.position 和姿态 pose.orientation, 其中 position 就是用以控制 AGV 运动方向, orientation 就是用以控制 AGV 转动方向。

```
child_frame_id: "base_footprint"
pose:
  position:
    x: -4.095
    y: 1.534
    z: 0.0
  orientation:
    x: 0.0
    y: 0.0
    z: -0.143997658717
    w: 0.989578028396
  covariance: [1e-09, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1000000.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1000.0]
twist:
  linear:
    x: 0.0
    y: 0.0
    z: 0.0
  angular:
    x: 0.0
    y: 0.0
    z: 0.0
  covariance: [1e-09, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1000000.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.1]
---
header:
  seq: 79108
  stamp:
    secs: 1676697723
    nsecs: 798223753
  frame_id: "/odom"
```

Figure 7. AGV motion data

图 7. AGV 运动数据

相关运动监测画面如下图 8~11 所示:



Figure 8. AGV stationary
图 8. AGV 静止



Figure 9. AGV left rotation
图 9. AGV 左旋转

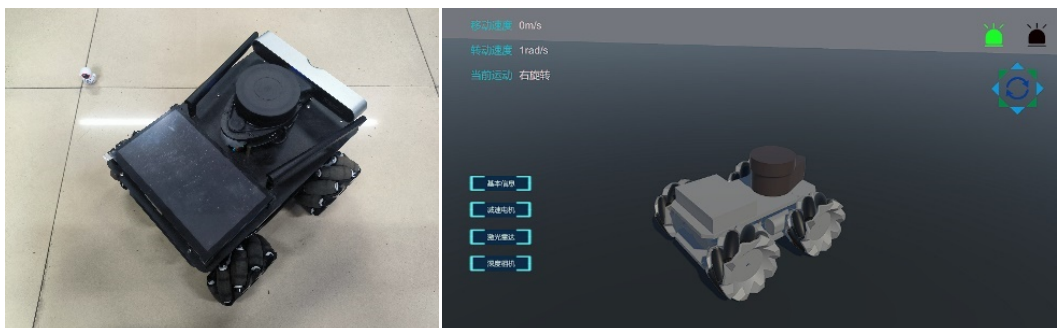


Figure 10. AGV right rotation
图 10. AGV 右旋转



Figure 11. AGV advance
图 11. AGV 前进

③ 运用 Unity 功能中 NavMeshPath 的导航组件来实现 Unity 客户端控制 AGV 运动的功能[15], 即通过定义 NavMeshPath 类型的变量, 命名为 path, 调用 NavMesh.CalculatePath()函数将导航的起始点坐标转换为 NavMeshPath 类型, 并保存至 path 变量中, path 中所包含的 Conner 数组便存储着 AGV 所行驶的所有关键路径点坐标, 通过比较相邻两点的坐标, 就可以计算出两点的距离即所需要转动的角度, 然后将该信息发布至 ROS 中的 robot_pose_ekf/odom_combined 话题中, 实现从 Unity 客户端控制 AGV 的运动。

AGV 的运动可以通过键盘按键, 或通过点击系统界面的方向按钮进行控制。控制方式以及 AGV 实时运动状态如下表 2 所示。

Table 2. AGV motion control list
表 2. AGV 运动控制列表

序号	按键	移动速度	转动速度	当前运动
1	I	0.5 m/s	0 rad/s	向前
2	J	0.5 m/s	0 rad/s	向左
3	<	0.5 m/s	0 rad/s	向后
4	L	0.5 m/s	0 rad/s	向右
5	U	0.5 m/s	0 rad/s	左前
6	O	0.5 m/s	0 rad/s	右前
7	M	0.5 m/s	0 rad/s	左后
8	>	0.5 m/s	0 rad/s	右后
9	←	0 m/s	1 rad/s	左旋转
10	→	0 m/s	1 rad/s	右旋转
11	K	0 m/s	0 rad/s	静止

5. AGV 状态监控系统性能测试

AGV 状态监控系统在 Unity 中开发完成后即可进行发布, 但在此之前还需对系统整体性能加以测试, 确保开发的监控系统能够满足预期性能需求, 解决可能存在的性能问题并评估系统整体的稳定性。本文将测试开发的监控系统对于服务器系统资源的占用情况, 测试采用一般标准, 即长时间使用的情况下, CPU 使用率可接受上限为 85%, 内存利用率可接受上限为 85%, 而对 GPU 的使用降低了显卡对于 CPU 的依赖, 分担了部分 CPU 的工作, 因此后续也将对 GPU 进行测试。

使用计算机相关配置如下: CPU 为 Intel(R) Core(TM) i5-8500 CPU @ 3.00GHz, 内存为 16 GB 2666 MHz, 显卡为 Intel(R) UHD Graphics 630。对系统进行长时间的性能分析测试, 整体测试结果如下图 12 所示。

选取 AGV 状态数字孪生监控系统整体测试结果中某段峰值时刻进行分析, 由图可知 CPU、GPU 此时 FPS 皆大于 30。

CPU 使用率测试结果如下图 13 所示, 峰值 CPU 使用率为 55.6%, 测试结果小于长时间使用情况下 CPU 使用率可接受的 85% 上限, 满足系统使用需求。

GPU 使用率测试结果如下图 14 所示, 峰值 GPU 使用率为 51.7%, 满足系统使用需求。

内存利用率测试结果如下图 15 所示, 使用内存 445.3 MB, 保留内存 0.74 GB, 未存储内存 0.68 GB, 测试结果小于长时间使用情况下内存利用率可接受的 85% 上限, 满足系统使用需求。

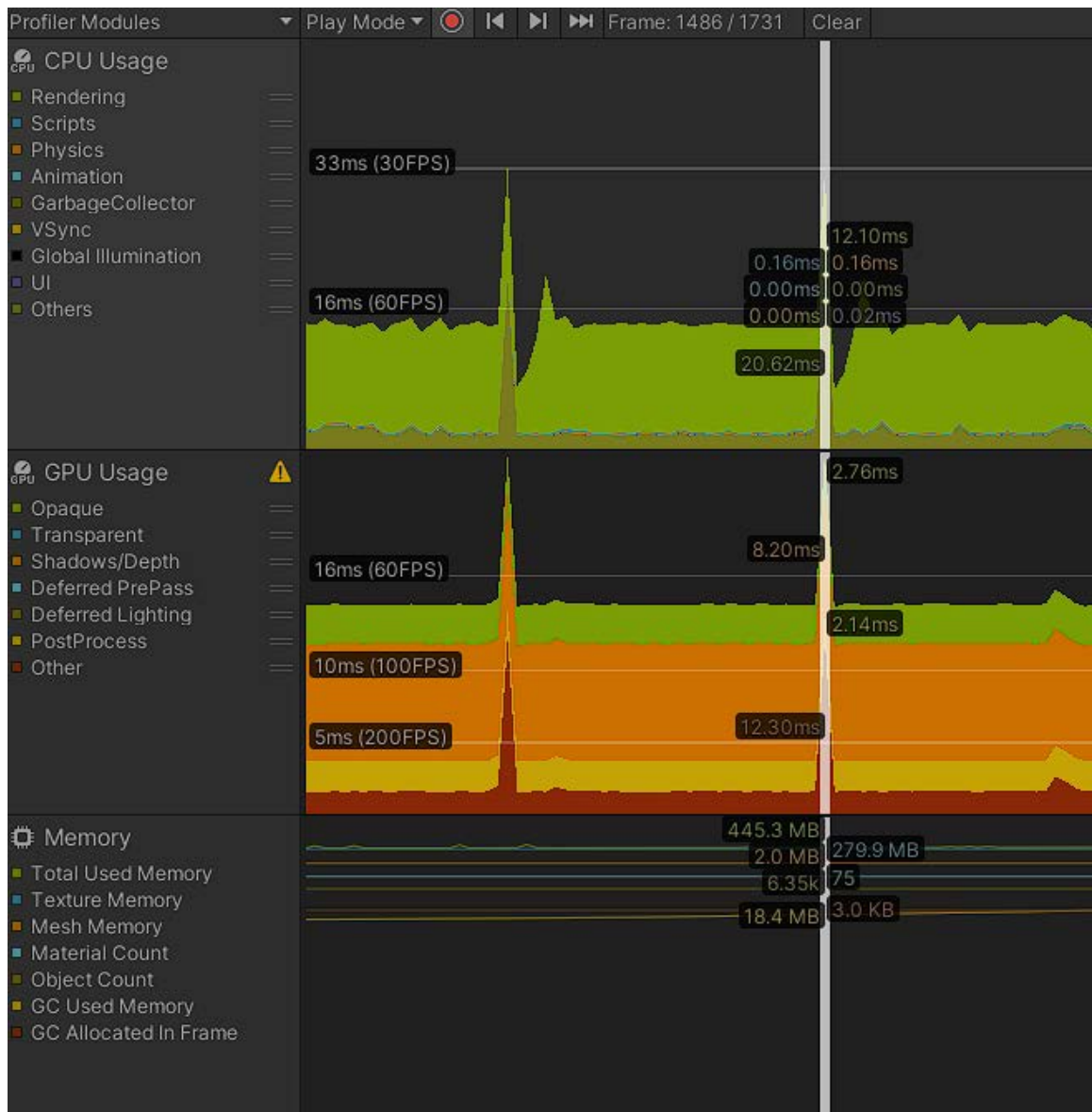


Figure 12. Profiler overall monitoring results

图 12. Profiler 整体监测结果

Raw Hierarchy	Live	Main Thread				
Overview	Total	Self	Calls	GC Alloc	Time ms	Self ms
EditorLoop	55.6%	55.6%	1	0 B	18.40	18.40
▶ PlayerLoop	36.2%	0.1%	1	0 B	11.98	0.04
EditorLoop	2.9%	2.9%	1	0 B	0.96	0.96
EditorLoop	2.8%	2.8%	1	0 B	0.93	0.93
▶ PlayerLoop	1.8%	0.0%	1	3.0 KB	0.59	0.02
▶ Profiler.FlushCounters	0.3%	0.0%	1	0 B	0.12	0.00
▶ Profiler.CollectEditorStats	0.0%	0.0%	1	0 B	0.02	0.00
CollectGPUSamples	0.0%	0.0%	1	0 B	0.01	0.01
PlayerLoop	0.0%	0.0%	1	0 B	0.00	0.00

Figure 13. CPU usage peak analysis

图 13. CPU 使用率峰值分析

Hierarchy	Total	DrawCalls	GPU ms
▶ PlayerLoop	51.7%	383	13.154
▶ Profiler.FlushCounters	0.0%	0	0.000
CollectGPUSamples	0.0%	0	0.000
EditorLoop	0.0%	0	0.000
▶ Profiler.CollectEditorStats	0.0%	0	0.000

Figure 14. GPU usage peak analysis

图 14. GPU 使用率峰值分析

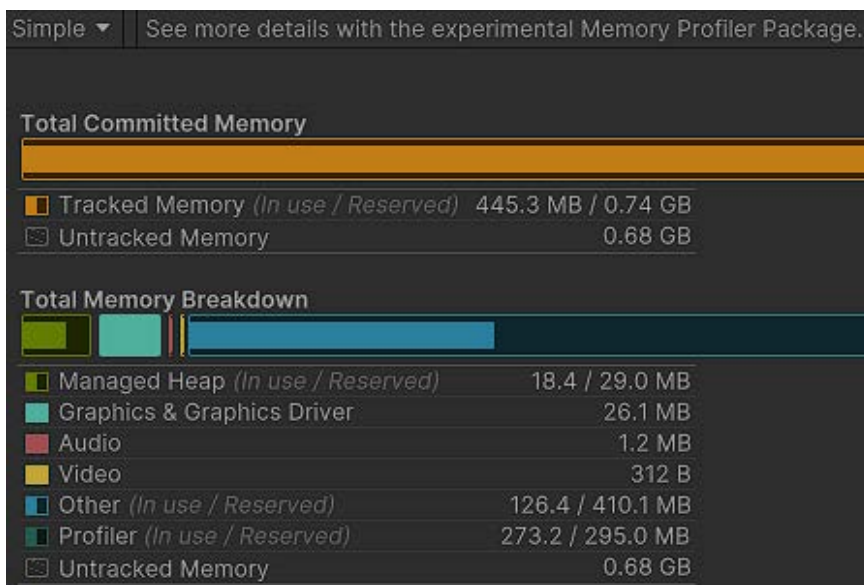


Figure 15. Memory utilization analysis

图 15. 内存利用率分析

6. 结论

针对传统仓储物流工厂中普遍使用人工完成相关工作，效率低下的问题，结合 Unity 开发引擎，搭建 ROS 服务端和 Unity 客户端的连接，依靠 ROS-TCP 技术实现 Unity 对 ROS 的数据的订阅。基于数字孪生五维模型开发 AGV 状态监控系统，实现了虚拟模型对物理实体的完全同步。完成了系统可视化交互、实时监测、运动控制等功能的实现，并对系统进行了相关测试，证明设计的监控系统具备较高的兼容性与可靠性，为仓储控制智能化管理提供了很好的帮助与支持。

基金项目

浙江省重点研发计划项目(No. 2020C01084, No. 2021C01071)。

参考文献

- [1] 刘潇. 麦克纳姆轮驱动的仓储机器人定位方法研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2020.
- [2] 刘阳. 数字孪生是驱动制造业数字化转型重要力量[N]. 人民邮电, 2019-11-26(006).

-
- [3] Cattaneo, L. and Macchi, M. (2019) A Digital Twin Proof of Concept to Support Machine Prognostics with Low Availability of Run-to-Failure Data. *IFAC-PapersOnLine*, **52**, 37-42. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.10.016>
- [4] Grieves, M. (2006) *Product Lifecycle Management-Driving the Next Generation of Lean Thinking*. McGraw Hill, New York.
- [5] Schützer, K., Bertazzi, J., Sallati, C., *et al.* (2019) Contribution to the Development of a Digital Twin Based on Product Lifecycle to Support the Manufacturing Process. *Procedia CIRP*, **84**, 82-87. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.212>
- [6] Ritto, T.G. and Rochinha, F.A. (2021) Digital Twin, Physics-Based Model, and Machine Learning Applied to Damage Detection in Structures. *Mechanical Systems and Signal Processing*, **155**, Article ID: 107614. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2021.107614>
- [7] 陶飞, 张萌, 程江峰, 等. 数字孪生车间——一种未来车间运行新模式[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(1): 1-9.
- [8] 陶飞, 刘蔚然, 张萌, 等. 数字孪生五维模型及十大领域应用[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(1): 1-18.
- [9] 蒋爱国, 王金江, 谷明, 等. 数字孪生驱动半潜式钻井平台智能技术应用[J]. 船海工程, 2019, 48(5): 49-52+55.
- [10] 胡阳, 王蔚然, 房方, 等. 风电机组运行动态数字孪生建模及半物理仿真[J/OL]. 系统仿真学报, 2023: 1-12. <https://doi.org/10.16182/j.issn1004731x.joss.22-1307>, 2023-03-15.
- [11] 陶飞, 马昕, 戚庆林, 等. 数字孪生连接交互理论与关键技术[J]. 计算机集成制造系统, 2023, 29(1): 1-10.
- [12] 陶飞, 马昕, 胡天亮, 等. 数字孪生标准体系[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(10): 2405-2418.
- [13] 张汉斌. 用于电商配送中心的物流仓储搬运机器人(AGV)的研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京物资学院, 2014.
- [14] 李自春, 孙玉和, 马敬亭, 等. Solidworks 三维制图在线缆行业应用的探讨[J]. 电线电缆, 2019(4): 21-23+30.
- [15] 张朝兴, 刘忠跃, 田龙淼, 郭伦, 王怡欣. 基于 ROS-Unity 的移动机器人虚实交互场景构建方法的研究[J]. 人工智能与机器人研究, 2020, 9(4): 217-231.