

# 基于激光SLAM导航的AGV智能仓储系统设计

楚坤棚, 宋家昌, 宋东亚, 刘建伟

中船海为高科技有限公司, 河南 郑州

收稿日期: 2023年11月14日; 录用日期: 2023年12月15日; 发布日期: 2023年12月22日

## 摘要

在智能化、无人化、信息化快速发展的时代, 以AGV为代表的智能仓储系统已经成为了工业新兴的研究热点。由激光雷达构成的感知系统, 是智能仓储系统中AGV的重要组成部分。激光雷达可以通过激光对周围物体进行实时扫描, 计算出自身相对位姿, 目前激光定位的精度可达1 cm, 且精度不会受到光照等条件的影响, 但对于工厂中窄巷道货物的存取, 目前还存在一些困难。本项目针对这一问题, 设计出一种侧叉式AGV实现了对窄巷道货物的双向存取, 达到了对于仓储系统的智能化建设及高效利用的目的。

## 关键词

AGV, 智能仓储系统, 激光雷达

# Design of AGV Intelligent Storage System Based on Laser SLAM Navigation

Kunpeng Chu, Jiachang Song, Dongya Song, Jianwei Liu

CSSC Haiwei Hi Tech Co., Ltd., Zhengzhou Henan

Received: Nov. 14<sup>th</sup>, 2023; accepted: Dec. 15<sup>th</sup>, 2023; published: Dec. 22<sup>nd</sup>, 2023

## Abstract

In the era of rapid development of intelligence, unmanned and information technology, intelligent storage system represented by AGV has become a research hotspot of emerging industry. The sensing system composed of LiDAR is an important part of AGV in intelligent storage system. Lidar can scan the surrounding objects in real time through the laser, calculate its own relative posture, the accuracy of laser positioning can reach 1 cm, and the accuracy will not be affected by lighting and other conditions, but for the access of narrow tunnel goods in the factory, there are still some difficulties. Aiming at this problem, this project designs a side-fork AGV to realize the two-way access of narrow roadway cargo, and achieves the purpose of intelligent construction and efficient utilization of storage system.

## Keywords

AGV, Intelligent Storage System, Laser Radar

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

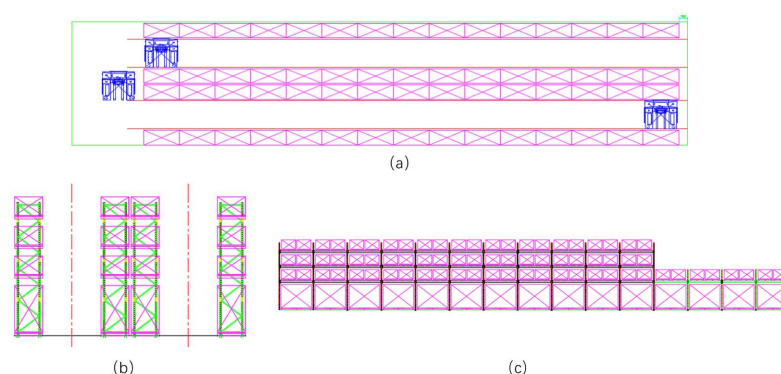
随着我国经济的飞速进展,我国的制造业工厂智能化发展也面临着紧迫的升级和发展挑战[1]。智慧工厂的无人搬运车(Automatic Guided Vehicle, 简称 AGV) [2]是一种代替人力操作叉车搬运货物的机器人,其依靠灵敏的传感器在工厂中工作。目前,AGV 的导航方式主要分为磁条导航[3]、电磁导航[4]、激光导航[5]、视觉导航[6]、二维码导航[7]和混合导航[8]。AGV 的导航纠偏技术主要分为模糊控制技术[9]、反向步法[10]、运动学计算[11]方法。

在前述的导航方式中,激光导航使用的最为普遍,其采用高精度激光雷达通过即时定位与地图构建(Simultaneous Localization and Mapping, 简称 SLAM) [4]的方式对周围环境建图和感知,随后依靠控制器驱动 AGV 导航运动。目前,对于窄巷道货物的搬运,由于 AGV 回转半径过大,且巷道中货物的存存取变化过大影响 AGV 定位精度,因此存在较多困难。本文针对这些问题,设计出侧叉式全向 AGV 来解决 AGV 在巷道双向存取货物的需求;通过在地图中设置反光柱,解决环境变化过大导致定位丢失的问题,取得不错的效果,提升工厂货物的搬运效率。

## 2. 设计过程

### 2.1. 立体仓库

本项目中,仓库采用多层排列设计,立体仓库的设计如图 1 所示:



**Figure 1.** Layout of the three-dimensional warehouse. (a) Top view; (b) left view; (c) frontal view  
**图 1.** 立体仓库的布局图。(a) 俯视图; (b) 左视图; (c) 正视图

每排货架的长度为 43.5 m,宽度为 1.25 m,高度为 5.7 m,货架之间的巷道的宽度为 2.5 m,两个巷道之间的货架采用双层背靠背的方式设置,方便全向 AGV 进出巷道。仓库一共 4 排、4 层,其中下 2 层有 15 个大仓储位,上面 2 层有 11 个仓储位,每个仓储位可以放置两个小仓储笼。

## 2.2. 侧叉式 AGV

侧叉式全向 AGV 叉车是智能仓储项目重要的组成部分。AGV 宽度为 2678 mm，长度为 2350 mm，由液压升降系统、控制系统、导航系统、驱动转向系统、报警系统、安全和防护系统、供电系统、人机交互设备和工控机等组成。本文主要介绍 AGV 的驱动转向系统和导航系统，其详细组成如图 2 所示，本章节主要介绍 AGV 的驱动系统和导航系统。

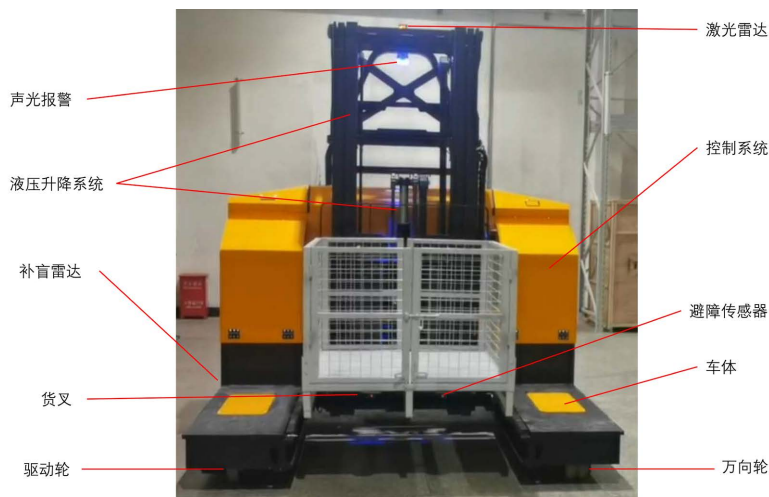


Figure 2. Detailed composition of AGV  
图 2. AGV 详细组成

### 2.2.1. 驱动系统

考虑到巷道太窄而 AGV 的回转半径太大，故 AGV 采用全向运动的底盘形式。全向运动大多采用对角双舵轮或四舵轮的模式。两种模式中，四舵轮 AGV 的运动性能更优异，而双舵轮 AGV 结构简单、安装方便，负载能力强且成本更低，综合考虑后，采用双舵轮的底盘形式。

双舵轮底盘形式的舵轮位于车体的左前方和右后方，万向轮位于车体的右前方和左后方。舵轮由各自的电机进行扭矩输出控制。双舵轮 AGV 实现基本的全向运动形式如图 3 所示。

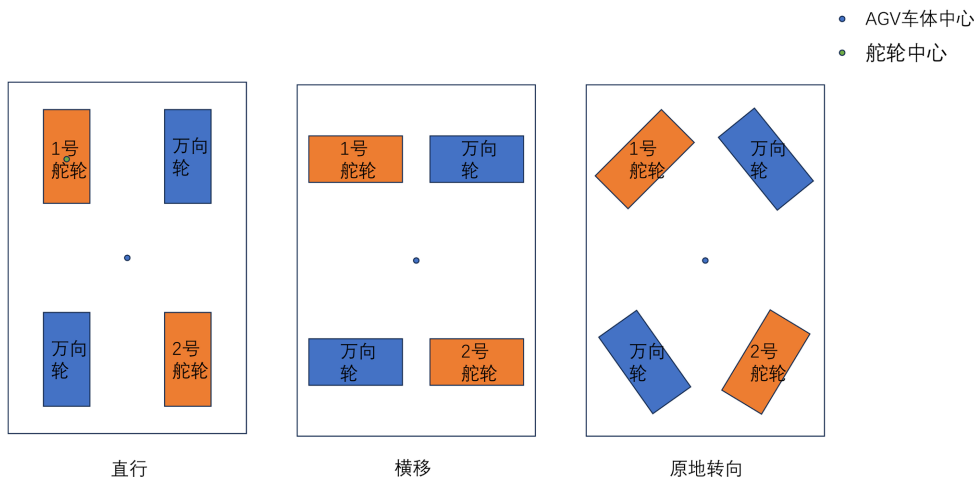


Figure 3. The three basic forms of movement of the double wheel chassis  
图 3. 双舵轮底盘的三种基本运动形式

双舵轮的三种基本运动模式分别为直行、横移和原地转向。假设 AGV 车体中心的坐标为(0, 0)和 1 号舵轮的中心坐标为 $(x_1, y_1)$ ，舵轮的半径为  $R$ ，舵轮的角速度为  $w_1$ ，其余万向轮和舵轮关于车体中心对称分布。以 1 号舵轮为例，在直行模式下，车体的线速度  $AGV_V$ ，舵轮的朝向角  $D_\theta$  为

$$AGV_V = \omega_1 \times R \quad (1)$$

$$D_\theta = 0^\circ \quad (2)$$

当 AGV 处于横移模式时，两个舵轮均同时向左或右旋转  $90^\circ$  时，同时万向轮随动调整角度，AGV 达到横向移动的效果。

$$AGV_V = \omega_1 \times R \quad (3)$$

$$D_\theta = \pm 90^\circ \quad (4)$$

原地回转运动是全向 AGV 所特有的运动方式，也是其运动优势之一。当 AGV 处于原地旋转模式时，两个舵轮转动的角度都为  $D_\theta$ ，但朝向相反，万向轮根据 AGV 车体的扭矩调整角度至  $D_\theta$ ，随后 AGV 实现原地左转或者原地右转的效果。

$$AGV_V = \omega_1 \times R \quad (5)$$

$$D_\theta = \pm \arctan(y_1/x_1) \quad (6)$$

### 2.2.2. 导航系统

AGV 导航采用激光导航，传感器为倍加福 R2000，激光雷达放置于顶部，可  $360^\circ$  无死角扫描周围环境。由于巷道为周期性结构，并且货架上仓储存放情况不定导致周围环境变换比较大，因此普通的激光点云匹配技术在巷道中容易导致 AGV 定位丢失。因此除了使用激光点云进行匹配获取 AGV 的位姿外，还需要使用反光柱进行定位。关于激光点云匹配的知识介绍的比较多，因此着重介绍反光柱定位的原理。

一般而言，确定 AGV 在地图中的坐标需要有三个点，如图 4 右侧雷达扫描到三个反光柱，也就是“三点定位”，但如图 4 左侧只扫描到两个反光柱，也可以确定 AGV 位姿。

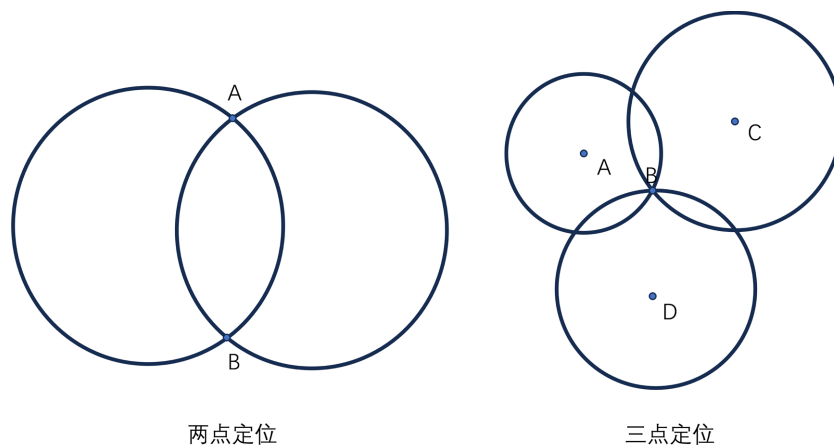
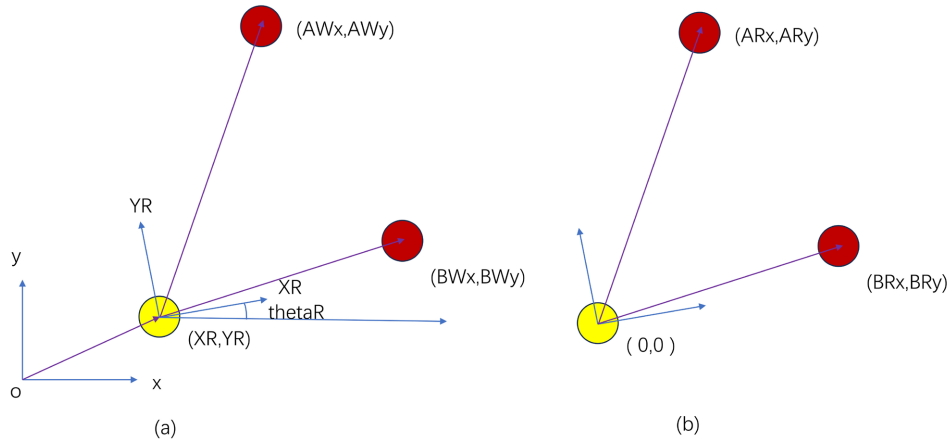


Figure 4. Two point positioning and three point positioning example diagram  
图 4. 两点定位和三点定位示例图

当 AGV 在地图上扫描到两个反光柱点时，通过计算 AGV 坐标系中的反光柱的距离和已知世界坐标系中反光柱的坐标进行对比，可以通过先验知识比较准确的判断出 AGV 扫描到的反光柱坐标和已知世界坐标系中反光柱的对应关系。因此，将两个反光柱的匹配作为前置条件，假设 AGV 获取到的两个反光柱

点和世界坐标系上的两个反光柱点存在匹配关系，它们的坐标分别为 $[AW_x, AW_y, BW_x, BW_y]$ 和 $[AR_x, AR_y, BR_x, BR_y]$ ，前者表示反光柱点在世界坐标系中的坐标，后者表示反光柱点在 AGV 坐标系中的坐标。如图 5 中分别是世界坐标系和 AGV 坐标系中反光柱点的位置，导航系统中定位工作要求解 AGV 在世界坐标系中的位姿，即 $[XR, YR, thetaR]$ 。



**Figure 5.** The position of the reflector point in the (a) World coordinate system and (b) AGV coordinate system  
**图 5.** 反光柱点在(a) 世界坐标系和(b) AGV 坐标系的位置

- 1) 首先是求解 AGV 的角度  $thetaR$ ，步骤如下所示：
- 2) 通过计算得到匹配的两组反光柱点之间的夹角  $theta$ ，即为当前 AGV 的角度增量，该值可能为正值，也可能为负值，将其作为正值考虑；
- 3) 将该角度值代入 AGV 中，更新 AGV 当前的角度，再次得到两个反光柱点的坐标；
- 4) 再次计算得出两组匹配点之间的角度差，如果此时 AGV 坐标系中两个点的连线方向和与之匹配的两个点的连线所成的角度无限趋近于 0，那么该角度为正值，反之，该角度为负值；
- 5) 更新角度之后，在 3) 中确认角度增量的方向，即可确认最终的 AGV 的角度  $thetaR$ 。

在求 AGV 的坐标时，可以利用投影公式来计算

$$AW_x = \cos(thetaR) \times AR_x - \sin(thetaR) \times AR_y + XR \quad (7)$$

$$AW_y = \sin(thetaR) \times AR_x + \cos(thetaR) \times AR_y + YR \quad (8)$$

最终求得 AGV 在世界坐标系中的坐标 $[XR, YR]$ 。

### 3. 测试结果

通过选取在地图上不同的停车点位，测试在有、无反光柱两种环境 AGV 到达目标点的停车精度，结果如表 1 分析所示：

**Table 1.** Analysis of AGV arrival parking accuracy

**表 1.** AGV 到点停车精度分析

| 选取的目标点 | 无反光柱时精度(mm) | 有反光柱时精度(mm) |
|--------|-------------|-------------|
| A      | 11.6        | 8.6         |
|        | 10.8        | 8.9         |
|        | 10.6        | 9.0         |

## Continued

|   |      |     |
|---|------|-----|
|   | 11.0 | 8.8 |
| B | 10.4 | 8.4 |
|   | 11.2 | 8.5 |

通过测试结果对比可知：在使用反光柱的情况下，选取的目标点的停车精度分别为 8.83 mm、8.57 mm，在不使用反光柱辅助定位的情况下，选取的目标点的停车精度分别为 11.0 mm、10.87 mm。因此通过设置反光柱进行辅助定位，AGV 的停车精度提升了大约 2.235 mm。

#### 4. 总结

本文针对 AGV 实现在工厂中窄巷道货物的简易存取为出发点，设计了一款针对立体仓库存取物资的侧叉式全向 AGV，最终实现了巷道中货物双向存取，且使用了反光柱提高了 AGV 的定位精度。另外使用立体仓库相对于传统在地面上直接堆垛货物，提升了仓库的利用面积，空间综合效率提高了 200%，为工厂区域物流的自动化、信息化提供了便利。

#### 参考文献

- [1] 姜吴凡, 董庆峰, 于书田, 等. 智能设备促进物流质量提升的应用研究[J]. 时代汽车, 2023(22): 31-33.
- [2] 闵四宗, 祖基龙, 刘家昶. 自动导向车 AGV 开发技术综述与展望[J]. 汽车工艺师, 2022(9): 34-36. <https://doi.org/10.16173/j.cnki.ame.2022.09.001>
- [3] 李玉琪. 基于 RFID 的磁导航潜伏式 AGV 设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌航空大学, 2019.
- [4] 程亚兵. 复合导航式 AGV 及路径跟踪控制方法研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2019.
- [5] 刘文涛, 朱洪涛, 白慧丹, 等. AGV 激光导航中反射板布设研究[J]. 激光与红外, 2022, 52(1): 35-39.
- [6] Wang, B.X., Song, B., Wang, S.A. and Yu, D.H. (2014) Navigation of AGV in Outdoor Environment. *Applied Mechanics*, **536-537**. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.536-537.993>
- [7] 吴蓬勃, 张金燕, 王拓. 基于 RT-Thread 的二维码导航移动机器人设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2023, 23(5): 47-50+54.
- [8] 肖献强, 程亚兵, 王家恩. 基于惯性和视觉复合导航的自动导引小车研究与设计[J]. 中国机械工程, 2019, 30(22): 2734-2740.
- [9] Dong, W.K., Lasky, T.A. and Velinsky, S.A. (2013) Autonomous Multi-Mobile Robot System: Simulation and Implementation Using Fuzzy Logic. *International Journal of Control Automation & Systems*, **11**, 545-554. <https://doi.org/10.1007/s12555-012-0096-z>
- [10] Pratama, P.S., Gulakari, A.V., Setiawan, Y.D., et al. (2016) Trajectory Tracking and Fault Detection Algorithm for Automatic Guided Vehicle Based on Multiple Positioning Modules. *International Journal of Control Automation and Systems*, **14**, 400-410. <https://doi.org/10.1007/s12555-014-0294-y>
- [11] Manorathna, R.P., Phairatt, P., Ogun, P., et al. (2014) Feature Extraction and Tracking of a Weld Joint for Adaptive Robotic Welding. *International Conference on Control Automation Robotics & Vision*, 1368-1372. <https://doi.org/10.1109/ICARCV.2014.7064515>