

# 基于 ARM 架构和多信号采集融合的智能物流机器人控制系统设计

高铨聪<sup>1</sup>, 苏凯<sup>2</sup>

(1. 西安职业技术学院 现代商学院, 西安 710077; 2. 百世物流科技(中国)有限公司, 西安 710000)

**摘要:** 针对智能物流机器人动态定位偏差较大、最优路径优化缺陷问题, 提出一种基于欧式分割去噪和三边定位理论的智能物流机器人控制系统; 控制系统采用 ARM 嵌入式主板作为控制核心, 集成高速数据处理单元和实时操作系统; 通过欧式分割算法对激光雷达扫描数据进行去噪, 并结合位置拟合技术以期提高动态定位的准确性; 路径选择以及避障规划方面, 系统利用 ARM 嵌入式主板的高效计算能力, 确保路径决策的优越性以及避障规划的及时响应; 为验证研究用控制系统的性能, 在实际物流仓库环境中进行对比实验; 实验结果表明, 在进行轨迹规划和避障任务时, 系统的响应时间比现有系统平均快 20%, 其在进行长时间运行测试中, 路径偏差减少了 30%, 也即研究用系统具备更好的精确性以及实时性。

**关键词:** 智能物流机器人; ARM 嵌入式主板; 欧式分割; 位置拟合; 路径选择; 路径纠偏

## Intelligent Logistics Robot Control System Based on ARM Architecture and Multi-Signal Acquisition Fusion

GAO Yicong<sup>1</sup>, SU Kai<sup>2</sup>

(1. School of Modern Business, Xi'an Vocational and Technical College, Xi'an 710077, China;

2. Best Logistics Technology (China) Co., Ltd., Xi'an 710000, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of large dynamic positioning deviation and optimal path optimization defect for intelligent logistics robot, an intelligent logistics robot control system based on Euclidean segmentation denoising and trilateral positioning theory was proposed. The control system adopts ARM embedded motherboard as the control core, integrating the high-speed data processing unit and the real-time operating system. The Euclidean segmentation algorithm is used to denoise the lidar scanning data, and the position fitting technology is combined to improve the accuracy of dynamic positioning. In terms of path selection and obstacle avoidance planning, the system uses the efficient computing power of the ARM embedded motherboard to ensure the superiority of path decision-making and the timely response of obstacle avoidance planning. In order to verify the performance of the control system, a comparative experiment was carried out in an actual logistics warehouse environment. Experimental results show that with the trajectory planning and obstacle avoidance tasks, the response time of the system is 20% faster than that of the existing system on average, and the path deviation is reduced by 30% in the long-term operation test, indicating that the system has a better accuracy and real-time performance.

**Keywords:** intelligent logistics robot; ARM embedded motherboard; European segmentation; position fitting; path selection; path correction

## 0 引言

随着全球化经济以及电子商务经济的发展, 物流行业发展迅猛的同时, 物流处理运输的效能问题必须被重视。同时工业智能化发展越来越成熟, 智能物流机器人应运而生<sup>[1]</sup>。智能物流机器人能够有效提高物流效率, 减少人力成本<sup>[2]</sup>。对于物流处理运输的效能问题而言, 智能物流机器人是较好的解决方式。

国际上针对智能物流机器人相对侧重物流机器人的自主性以及智能决策性。如欧美等人<sup>[3-4]</sup>通过人工智能以及精

细的传感器实现机器人在复杂环境下的高效作业, 通过深度学习算法实现机器人在仓库中的自主导航等。国内针对智能物流机器人的动态控制与路径规划方面, 黄雪达等人<sup>[5]</sup>设计了以 STM32F103C8T6 芯片为主控的智能物流机器人, 通过增量式 PID 控制算法, 实现了对电机调速的准确控制, 并结合 AprilTag 视觉定位技术优化智能物流机器人的跟踪抓取功能; 郭新宇等人<sup>[6]</sup>通过“货到人”的模式实现医用耗材的智能物流管理, 以提高智能物流机器人的工作效率; 张兴华等人<sup>[7]</sup>结合 OpenMV4 视觉模块通过机器视觉实现不同颜色物料的识别, 并结合 PID 算法进行智能

收稿日期: 2024-05-27; 修回日期: 2024-06-17。

作者简介: 高铨聪(1988-), 女, 硕士研究生, 讲师。

引用格式: 高铨聪, 苏凯. 基于 ARM 架构和多信号采集融合的智能物流机器人控制系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(12): 139-145, 190.



QT 框架进行软件开发和封装。基于此智能物流机器人的整体软件控制流程如图 4 所示。

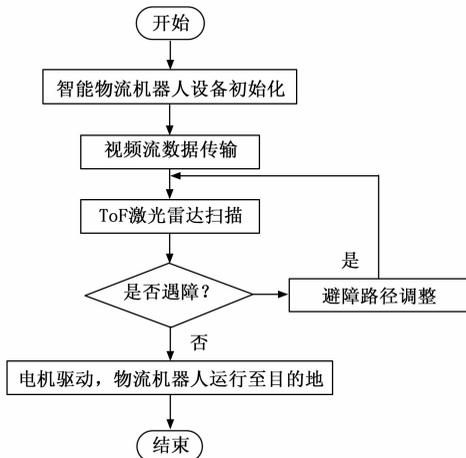


图 4 智能物流机器人整体软件流程

图 4 中, 智能物流机器人进行设备初始化时, 应当对 ARM 嵌入式主板的相关串口、触摸屏、激光雷达以及摄像头等关键设备均进行初始化处理。同时应当以每秒一次的频率对控件进行刷新, 保证智能物流机器人数据传输以及数据分析的实时性。其中激光雷达扫描的具体流程如图 5 所示。

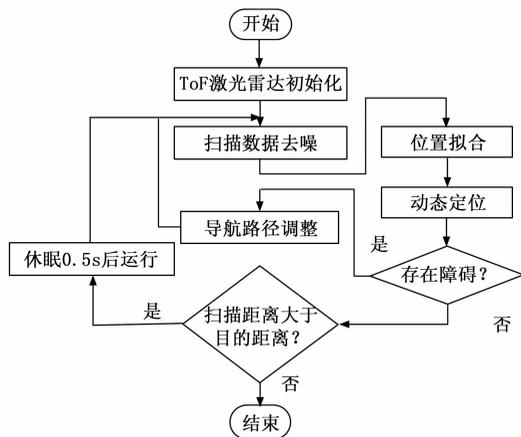


图 5 激光雷达扫描流程

图 5 中, 激光雷达在进行扫描时, 为保证激光雷达功耗最小, 设置对应的约束条件: 一是当激光雷达一次扫描完成之后, 休眠 0.5 s 之后再次进行扫描, 休眠时间与机器人速度及最大行驶距离设定; 二是当激光雷达在扫描距离内扫描到目的地且不存在障碍物时, 激光雷达暂时停止扫描。

结合激光雷达以及控制系统采集数据, 电机驱动的具体流程如图 6 所示。

基于此, 结合三边定位理论以及欧式分割去噪算法进行 C 语言程序编写, 并在 ARM 系统上进行优化。具体上, 程序通过直接访问激光雷达的数据接口, 实时获取扫描数

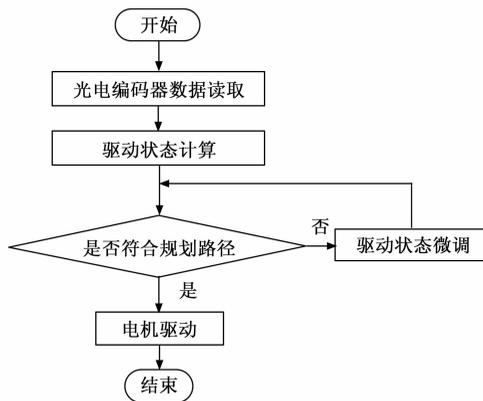


图 6 电机驱动具体流程

据并进行去噪处理。三边定位算法用于随机器人的精确位置进行计算, 以进行后续的路径规划以及避障决策。通过串口以及 GPIO 接口、ARM 主板、电机控制器以及数据采集传感器实现智能物流机器人的精确控制。

## 2 物流机器人智能控制实现

对于智能物流机器人的嵌入式控制设计, 主要对物流机器人的动态定位、路径选择以及轨迹调整 3 个方面内容进行设计。其中, 智能物流机器人的动态定位是关键一步。研究主要通过嵌入式激光雷达进行动态定位, 在动态定位之前, 应当首先进行数据去噪处理, 并进行相应的拟合计算, 以保证动态定位的实时精确。

### 2.1 欧式分割去噪

假定激光雷达运行时, 直接扫描得到的位置坐标用极坐标表示为  $(d, \beta)$ 。对激光雷达进行数据去噪预处理时, 应当对激光雷达扫描得到的极坐标进行向直角坐标系的转换, 便于后续的数据分析及处理。设激光雷达转换后的直角坐标为  $(x, y)$ , 那么极坐标与直角坐标的转换关系可以表示为公式 (1):

$$\begin{cases} x = d\cos\beta \\ y = d\sin\beta \end{cases} \quad (1)$$

式中,  $d$  为极坐标下, 扫描位置与激光雷达原点的距离,  $\beta$  为激光雷达扫描角度。通过公式 (1) 完成激光雷达扫描极坐标与直角坐标的直接转换, 为了避免数据噪声影响, 需要进行数据去噪保证激光雷达扫描数据的精确性。研究采用欧式分割对激光雷达扫描对应的点云进行分割, 具体的欧式分割步骤如下: 针对激光雷达的任意一个扫描周期, 设定激光雷达在该周期内可以采集  $s$  个关于位置信息的离散数据点。那么希望通过欧式分割<sup>[13]</sup>将该周期内的离散数据点分为有限个不同区域, 限定任意两个区域互相之间不联通, 同时任意分割区域内的任意连续两点之间的距离处在相同范围内。假定某个周期内对应的区域为  $S\{(X_i, Y_i) \mid i = 1, 2, \dots, s\}$ , 区域内离散点直角坐标表示为  $(X_i, Y_i)$ 。设分割区域任意连续两点之间的距离对应的范围阈值为  $D_s$ , 任意两点间的距离表示为  $D_i$ , 那么针对点云欧式分割实现数据去噪的

整体流程如图 7 所示。

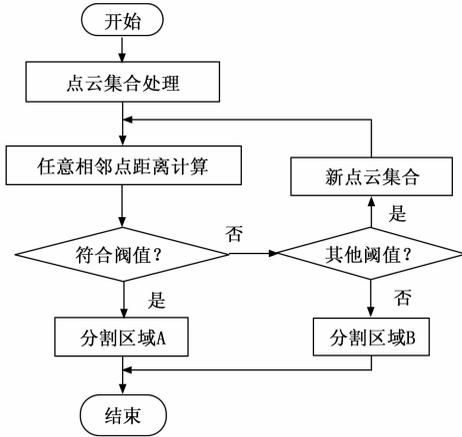


图 7 欧式分割数据去噪流程

图 7 中, 任意相邻两点间, 对应的距离计算可以表示为公式 (2):

$$D_r = \sqrt{(X_i - X_{i-1})^2 + (Y_i - Y_{i-1})^2} \quad (2)$$

式 (2) 中, 相邻坐标点应在对应的分割区域集合内。在对周期内初始离散点集合进行划分之后, 应当按照不同阈值设定进行分割区域的划分, 直至循环划分至所有阈值范围, 通常按照由大至小的顺序进行阈值划分。阈值划分完成之后, 对所有进行分割后的区域进行相应的离散点统计, 确定各区域内的离散点数量。若对应区域内离散点数量超过 4 个, 那么该区域数据生效; 否则, 认为对应分割区域为噪声区域。噪声区域以及噪声区域内对应的离散点<sup>[14]</sup>, 不参与后续运算, 以保证动态定位的准确性, 消除噪声干扰。

研究用改进的欧式分割去噪方法, 引入动态阈值调整机制, 依据激光雷达数据的实时变化对去噪参数进行实时自适应调整。与传统的静态阈值方法相比, 这种动态调整策略对去噪效果的提升明显, 尤其在机器人快速移动或者环境条件剧烈变换的情况下, 能够更加准确地保留关键特征点, 从而提高动态定位的准确性。

## 2.2 动态实时定位

智能物流机器人激光雷达扫描数据进行转换以及去噪处理之后, 基本得到了物流机器人扫描的有效点位。为了进一步提高物流机器人嵌入式激光雷达扫描的准确性, 提出通过位置拟合的方式进行智能物流机器人的动态定位。激光雷达与反射板对应的扫描关系如图 8 所示。

图 8 中, 激光雷达与反射板之间存在多个离散扫描点, 且离散扫描点位之间分布与实际的距离  $OO_0$  之间通常不是对称分布的。也即当智能物流机器人在移动的过程中, 对应的观测位姿也在不断地发生变化, 反射板出现的拟合位姿同步随之改变。这就导致智能机器人移动时, 拟合的进度往往难以控制<sup>[15]</sup>。因此考虑将回波强度作为拟合计算的权值以实现更加精确的拟合位置计算。对于激光雷达扫描反射板得到的拟合位置  $O_i$  而言, 可以将其表述为公式 (3):

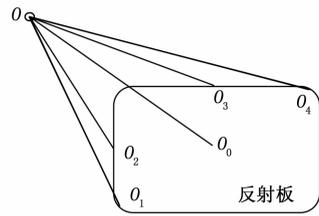


图 8 激光雷达与反射板扫描关系

$$O_i = (\delta_i, \varphi_i) \quad (3)$$

式中, 拟合距离用  $\delta_i$  表示, 拟合角度用  $\varphi_i$ 。其中拟合角度可以通过公式 (4) 求取:

$$\varphi_i = \sum_{m=1}^n \omega_m \varphi_m \quad (4)$$

式中,  $\omega_m$  为权重,  $\varphi_m$  为拟合角度。权值可以通过公式 (5) 求取:

$$\omega_m = \frac{F_m}{\sum_{m=1}^n F_k} \quad (5)$$

式中, 激光雷达扫描时, 发射出的信号强度用  $F_m$  表示, 所求周期区域集合内不同离散点对应的回波强度表示为  $F_k$ 。

由此通过回波强度<sup>[16]</sup>进行权重计算, 可以对非对称分布的离散点位进行准确计算, 保证智能物流机器人激光雷达扫描时位置拟合的精确性, 最大化避免拟合位姿的误差产生。

因此, 对于基于嵌入式技术的智能物流机器人来说, 其整体的动态点位实现原理可以表述如下: 智能物流机器人在运行过程中, 与对应反射板进行实时匹配定位。在进行实时匹配定位时, 需要结合反射板距离进行动态匹配。三边定位具有鲁棒性强、抗干扰能力强以及精确度高等优点<sup>[17]</sup>。在实际的位置拟合计算中, 创新结合三边动态定位进行拟合。

## 2.3 物流路径选择

基于嵌入式技术的智能物流机器人在实现精确的实时动态定位之后, ARM 嵌入式芯片依据物流机器人行驶过程中采集的数据信息进行实时分析, 选择是否依据规划路径继续运行。如果在规划路径中, 智能物流机器人的 ARM 嵌入式主板检测到障碍物, 或者机器人移动轨迹检测到与规划轨迹发生偏差, 此时 ARM 嵌入式主板需要结合实际情况进行物流机器人控制。通常包括预警、行进路线更改以及紧急制动等<sup>[18-20]</sup>。同时, ARM 嵌入式主板可以与同型号或同系统下其他机器人进行联动, 避免物流机器人的路线重复。物流路径选择的整体流程如图 9 所示。

通过 ARM 嵌入式主板, 可以实现采集数据的快速处理以及智能物流机器人的数据实时更新。因此在很大程度上避免了智能物流机器人运行时的路线不灵活的问题, 可以动态地对行进路径进行调整, 解决了通常通过算法进行路径优化的静态优化问题。同时, ARM 嵌入式主板可以周期性刷新智能物流机器人的运动数据, 由此保证对路线偏

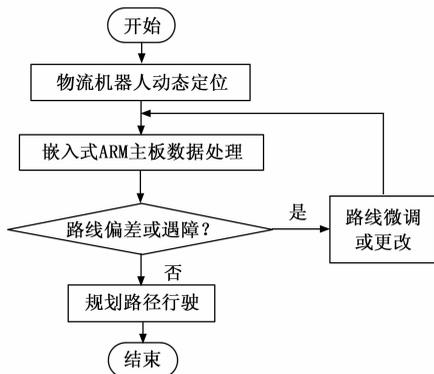


图 9 物流路径选择流程

差检测的实时性, 及时地进行路线纠偏, 以期获得相比传统控制算法更加精确的智能物流机器人控制效果。

智能物流机器人的路径选择中, 另一个比较关键的问题是货物的识别与处理<sup>[21]</sup>。基于嵌入式技术的智能物流机器人搭载 NFC 通信模块, 通过 NFC 通信模块进行智能物流机器人与货物之间的数据信息比对。当存在多个智能物流机器人时, 通过 NFC 通信数据信息比对, 寻找与货物路径最优, 距离最近的智能物流机器人, 保证资源的最大化利用, 节约能耗。

### 2.4 行进轨迹位姿纠偏

对于智能物流机器人而言, 空间位姿的计算应当基于上一时刻的机器人移动位置也即机器人动态定位实现。定义三维空间内任意一点  $Q(x, y, z)$ , 智能物流机器人移动过程分别经过点  $H$  与点  $K$ , 以点  $H$  与点  $K$  为原点建立空间直角坐标系分别表示为  $H = \{h\}$  与  $K = \{k\}$ 。针对点  $Q$ , 相对于空间直角坐标系  $H$  的位置矢量向空间直角坐标系  $K$  对应的旋转矩阵如公式(6)所示:

$$R_H^K = \begin{bmatrix} \cos(h, x) & \cos(o, x) & \cos(k, x) \\ \cos(h, y) & \cos(o, y) & \cos(k, y) \\ \cos(h, z) & \cos(o, z) & \cos(k, z) \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中,  $o$  为原点。定义智能物流机器人由点  $H$  至点  $K$  的过程中,  $x$  轴向移动角度为  $\delta$ ,  $y$  轴向移动角度为  $\varphi$ ,  $z$  轴向移动角度为  $\theta$ 。那么经由  $H$  点至  $K$  点旋转移后, 对应的姿态矩阵如公式(7)所示:

$$R_{xyz} = R_H^K(x, \delta)R_H^K(y, \varphi)R_H^K(z, \theta) \quad (7)$$

通过公式(7)可以得到智能物流机器人的位姿状态与规划轨迹的偏差。研究采用解耦滑膜控制进行位置纠偏, 基于位姿分析可以得到如公式(8)的解耦滑膜控制模型。

$$\begin{cases} \dot{x}' = x'' \\ \dot{x}'' = f_1(x', x'', x''') \\ \dot{x}''' = f_2(x', x'', x''') + k(x', x'', x''')u + \rho \\ \dot{y}' = y'' \\ \dot{y}'' = f_1(y', y'', y''')q_y \\ \dot{y}''' = f_2(y', y'', y''') + h(y', y'', y''')u + \rho \\ \dot{z}' = z'' \\ \dot{z}'' = q_x f_1(z', z'', z''') \\ \dot{z}''' = q_x f_2(z', z'', z''') + k(z', z'', z''')u + \rho \end{cases} \quad (8)$$

其中:  $x', x'', x''', y', y'', y''', z', z'', z'''$  分别表示不同轴向旋转变换之后的导数, 解耦滑膜控制函数表示为  $f_1, f_2, u$  表示输入, 控制干扰函数表示为  $\rho$ 。通过解耦滑膜控制, 可以同时为机器人 3 个轴向的位置进行实时纠偏, 提高智能物流机器人的位姿纠偏精度与速度。

## 3 控制系统检验及结果分析

### 3.1 控制系统检验试验设计

为验证基于欧式分割去噪及动态定位的智能物流机器人控制系统的优越性, 设计针对物流机器人不同方面进行相应的对比实验。实验设计主要针对智能物流机器人实时定位的性能、路径选择及避障性能、轨迹控制调整 3 个方面进行分析。针对智能物流机器人的实时定位性能对比, 主要将双目视觉定位、AGV 定位算法作为参照对比进行分析。针对智能物流机器人的路径选择及避障性能、轨迹控制调整性能, 主要将 ACA 算法以及遗传算法作为参照对比进行分析。智能物流机器人的对比分析实验在某物流仓库进行。

物流仓库的平面格局如图 10 所示。

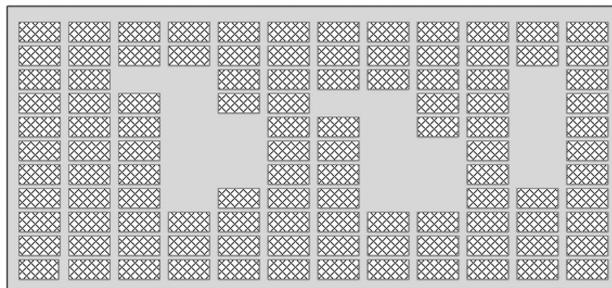


图 10 物流仓库平面示意图

图 10 中, 物流仓库为矩形, 仓库内共包含货架 108 组, 货架通道宽度大于物流机器人避障检测阈值。实验采用六轴向机器人设计基于嵌入式技术的智能物流机器人。机器人每个轴向的加速度均为  $0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^2$ , 速度峰值为  $3.15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 其余编码器参数见表 1。

表 1 机器人编码器参数

轴	力矩/(kg · m <sup>2</sup> )	扭矩/(N · m)	限位/rad
1	0.28	4.26	-2.1~2.1
2	—	—	-2.7~2.7
3	0.59	4.15	-1.7~1.7
4	—	—	-1.0~1.0
5	0.31	2.23	-3.1~3.1
6	—	—	-1.0~1.0

实际实验过程中, 为物流机器人设定不同的出发点、途经点以及终点, 对机器人轨迹控制过程中的不同方面性能进行分析。数据采集通过系统日志以及传感器数据等实现, 同时结合 Python 进行数据分析, 实验场地选择物流仓库内部分场地进行实验。

### 3.2 动态定位性能对比验证分析

针对基于嵌入式技术的智能物流机器人动态定位对比验证，主要通过对机器人的动态定位累计误差、动态定位轨迹两个方面进行验证。参数设置上双目视觉定位中摄像头分辨率为  $1280 \times 720$  像素，基线距离也即两摄像头之间的距离为 15 cm，视差计算窗口大小为  $9 \times 9$  像素，视差搜索范围为  $0 \sim 64$  像素，重投影误差阈值为 1 像素；AGV 定位算法中地标间距设置为 2 m，激光扫描精度为  $\pm 1$  cm，激光扫描范围  $270^\circ$ ，激光扫描频率为 5 Hz；该系统参数设置中激光雷达扫描频率设置为 10 Hz，定位更新周期为 100 ms，定位目标精度为  $\pm 5$  cm，欧式分割去噪的阈值设定为 0.05 m，三边定位理论的基站间距设定为 10 m。

其中，机器人动态累计误差的对比如图 11 所示。

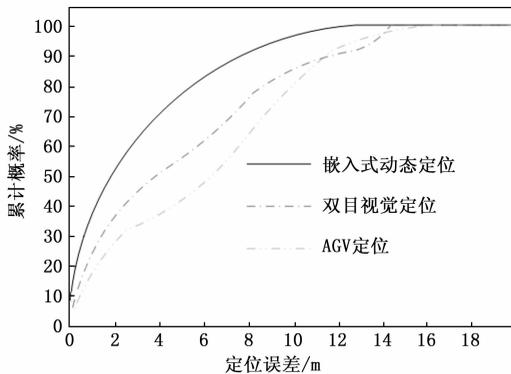


图 11 动态累计误差对比实验结果

图 11 中，研究采用基于嵌入式技术的动态定位误差累计概率在 13.5 m 达到 100%，采用双目视觉定位的方式定位误差累计概率在 14.7 m 时达到 100%，采用 AGV 定位算法定位的方式定位误差累计概率在 15.6 m 时达到 100%。综合对比而言，基于嵌入式技术的动态定位方式，能够将定位误差缩短至 13.5 m 的范围之内。因此研究用智能物流机器人的动态定位技术，精确度更高，具有更好的动态定位效果。为进一步验证动态定位的性能，在试验场地中进行对比实验，3 种不同方式的实验轨迹如图 12 所示。

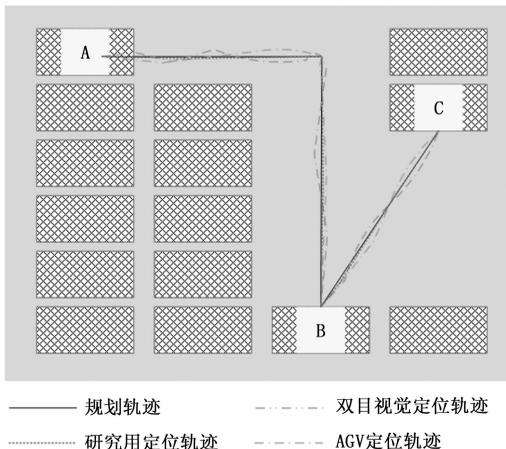


图 12 不同方式实验轨迹对比

图 12 中，选择实验物流仓库中的 A、B、C 共 3 个物流货架进行路径规划。机器人在进行路径规划时，由物流货架 A 出发，经过物流货架 B，到达物流货架 C。由图 13 可以看出，通过研究用动态定位的方式得到的定位轨迹与规划轨迹基本吻合。通过双目视觉定位以及 AGV 定位得到的定位轨迹均偏差较大，尤其在长直线以及拐弯角度较大时，基本无法按照规定轨迹运行。这主要是由于在进行动态定位时，基于嵌入式技术的智能物流机器人控制能够快速进行位置纠偏，同时软件设定周期性刷新物流机器人激光雷达扫描状态，保证了动态定位轨迹的实时性与准确性。

### 3.3 路径选择及避障性能验证

进行路径选择及避障性能验证时，在实验场地中选择物流货架 D、E、F 进行实验验证，分别采用 ACA 算法以及遗传算法进行对比路径规划。参数设置上，蚁群算法 (ACA) 中种群规模设定为 50，信息素蒸发率设置为 0.5，信息素的重要度因子设置为 1，启发式因子设置为 2，最大迭代次数为 200；遗传算法中种群规模设定为 100，交叉率的值设定为 0.8，变异率的值设定为 0.05，采用轮盘赌选择的选择策略，最大迭代次数设定为 200；该系统参数设置中最小安全距离设置为 0.5 m，路径优化从路径长度、避障效率以及路径平滑性等方面综合考虑，路径长度权重设置为 0.4，避障效率权重设置为 0.4，路径平滑性权重设置为 0.2，路径更新频率为 50 ms。对比结果如图 13 所示。

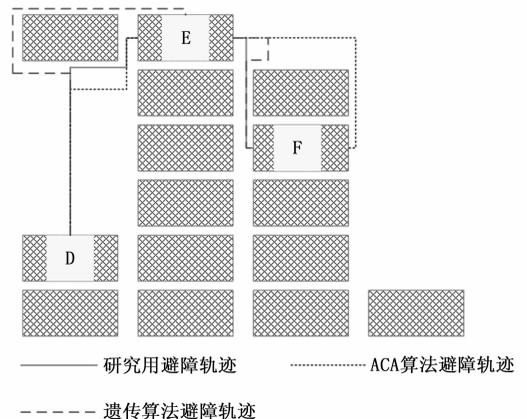


图 13 路径选择及避障轨迹对比

图 13 中，机器人在进行路径规划时，由物流货架 D 出发，经过物流货架 E，到达物流货架 F。路径规划过程中，相邻货架容易造成障碍物遮挡，导致智能物流机器人需要进行路径选择以及避障处理。其中 ACA 算法以及遗传算法在进行路径规划以及避障时，由于无法通过嵌入式模块对环境信息进行实时动态更新，规划路径存在多余路径或者较远路径的情况。研究用基于嵌入式技术的智能物流机器人控制系统，由于采用动态定位以及实时动态纠偏的方式，能够更加及时准确地进行路径选择。同时，在进行动态定位时，采用欧式分割进行去噪，更好地保障了动态定位的准确性。

为进一步验证智能物流机器人的避障性能, 采用添加动态障碍物的方式模拟智能物流机器人在实际工作过程当中的避障性能。动态障碍物采用个移动的叉车, 分别以 0.5、1、1.5 m/s 的速度进行移动, 移动行为模式分为直线移动、随机移动、周期性移动等。统计智能物流机器人在遇到动态障碍物时的避障时间如表 2 所示。

表 2 动态障碍物避障时间对比

移动速度/(m/s)	行为模式	避障时间/s
0.5	直线运动	0.7
	随机运动	0.8
	周期性运动	0.75
1	直线运动	0.9
	随机运动	0.95
	周期性运动	1
1.5	直线运动	1.2
	随机运动	1.35
	周期性运动	1.4

表 2 中, 该系统在面对动态障碍物时, 随着动态障碍物移动速度的加快以及行为模式的复杂化, 避障时间不断增加。整体来看符合智能物流机器人在实际工作场景中的避障时间需求。

### 3.4 轨迹控制调整分析

轨迹控制调整主要针对机器人的智能纠偏进行进一步的细化分析, 验证智能物流机器人的运行准确性。实验选择物流仓库的 1~10 号物流货架进行, 验证机器人到达物流货架的位置偏差情况, 验证结果如图 14 所示。

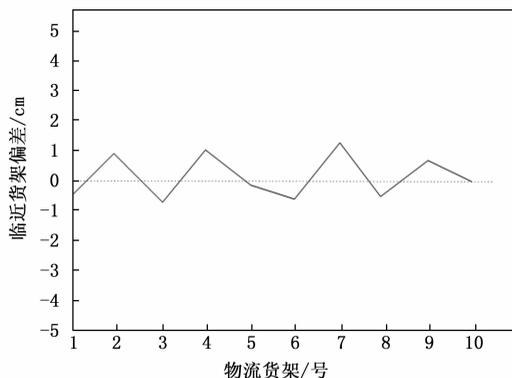


图 14 临近货架偏差结果

图 14 中, 基于嵌入式技术的智能物流机器人控制系统, 临近货架偏差的最大距离为 1.12 cm, 位置偏差能够基本稳定在 -0.9~1.12 cm 的范围内。物流机器人的轨迹控制调整满足实际物流需求, 能够保证较小的临近货架偏差。也即在进行物流运输时, 物流机器人可以准确到达货物运输点, 保证货物平稳可靠运行。

## 4 结束语

基于嵌入式技术的智能物流机器人控制系统, 采用

ARM 嵌入式主板, 结合单片机进行数据处理以及电机驱动, 实现智能物流机器人的精确控制。经过实际实验验证, 智能物流机器人控制系统在动态定位、路径选择以及轨迹调整等方面都具有优越的性能。综上设计系统相比其他系统在效率、稳定性、及时性等方面更加优越。下一步的工作中, 将着重考虑智能物流机器人的成本效益比, 以期提高智能物流机器人能够广泛应用。

### 参考文献:

- [1] 魏建华, 李广义, 程启元, 等. 基于智能货架和物流机器人的手术室智能物流体系建设研究 [J]. 中国医学装备, 2022, 19 (2): 137-141.
- [2] 余丽芳, 徐冬萍, 陈 婵, 等. 智能物流机器人用于医院内非物流传送样本效果分析 [J]. 中国药业, 2022, 31 (s1): 204-206.
- [3] 刘银华, 张振东, 段振霞. 面向教研一体化的数字化制造实验教学平台搭建与探索 [J]. 实验科学与技术, 2023, 21 (3): 140-144.
- [4] 孙 涛, 王朝辉, 周佳杰. 基于 SLAM 的物流机器人运动控制及路径规划算法研究 [J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12 (1): 31-34.
- [5] 黄学达, 杨俊杰, 侯志鹏, 等. 基于 STM32 的智能物流机器人 [J]. 电子产品世界, 2023, 30 (4): 20-26.
- [6] 郭新宇. 基于 AGV 机器人的智能物流系统在医用耗材管理中的应用 [J]. 中国医疗器械杂志, 2024, 48 (1): 108-110.
- [7] 张兴华. 基于机器视觉的智能物流搬运机器人的设计与研究 [J]. 南方农机, 2024, 55 (5): 144-147.
- [8] 夏鹏程, 崔继轩, 马 川, 等. 基于 5G+工业互联网的 AGV/移动机器人智能运维系统设计与应用 [J]. 信息通信技术与政策, 2022 (10): 28-36.
- [9] NIE Z, YU H. Reference trajectory based collision avoidance decision and trajectory tracking method for mobile robot [J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2023, 29 (9): 2879.
- [10] 石亚磊, 王良文, 刘一扬, 等. 基于 Adams 的自行车式缠绕包装机器人包装膜固定装置的设计与运动学仿真 [J]. 机械传动, 2023, 47 (5): 38-44.
- [11] 吴丽丽, 黄海燕, 赵国炳, 等. 基于 OBE-CDIO 理念的机器人综合实践项目开发与实践 [J]. 机电工程技术, 2024, 53 (2): 159-163.
- [12] 黄文冠, 林华沐, 周 莹, 等. 基于 YOLOv2 视觉的路标检测系统与应用 [J]. 工业控制计算机, 2023, 36 (8): 135-136.
- [13] WANG Y, CAO X, GUO X. Warehouse AGV path planning method based on improved A\* algorithm and system short-term state prediction [J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2023, 29 (11): 3897.
- [14] 宋冬雪, 常凯月, 王 彤, 等. 自主导航物流机器人在缩短门诊标本从采血到接收检验前周转时间中的作用 [J]. 中华临床实验室管理电子杂志, 2022, 10 (4): 238-241.

(下转第 190 页)