

仓储搬运 AGV 转向角度控制方法

周 滢

(四川信息职业技术学院, 四川 广元 628040)

摘 要: 在仓储搬运的过程中, AGV 系统的转向角度经常出现误差, 为得到精度更高的转向结果, 设计仓储搬运 AGV 转向角度控制方法。先建立仓储搬运 AGV 运动学模型, 然后设计仓储搬运 AGV 转向角度控制器, 确定转换方向时的输入输出变量、控制变量以及变量的改进率, 设定方向参数, 确定系统内控制变量, 得到区间转换范围, 在控制器传递函数的基础上, 获取位置偏差量化因子。最后根据模糊运算规则, 设计转向角度控制算法, 得到控制结果。实验结果显示, 在双移线轨迹和蛇形轨迹下, 该转向角度控制方法均可得到高精度的控制结果。

关键词: AGV; 转向角度; 控制方法; 运动方程; 转向角度控制器

中图分类号: TP273; TP242 文献标识码: A 文章编号: 1003-7241(2025)02-0026-04

Automatic Control Method of AGV Steering Angle in Storage and Handling

ZHOU Yan

(Sichuan Vocational College of Information, Guangyuan 628040 China)

Abstract: In the process of storage and handling, the turning angle of AGV system often has errors. In order to obtain more accurate turning results, the control method of AGV turning angle for storage and handling is designed. Firstly, the kinematic model of the storage and handling AGV is established, and then the steering angle controller of the storage and handling AGV is designed. The input and output variables, control variables and the improvement rate of the variables are determined when changing the direction. The direction parameters are set, the control variables in the system are determined, and the range of the interval conversion is obtained. On the basis of the transfer function of the controller, the quantitative factor of the position deviation is obtained. Finally, according to the fuzzy operation rules, the control algorithm of steering angle is designed, and the control results are obtained. The experimental results show that the steering angle control method can obtain high precision control results under the double line shifting trajectory and snake-like trajectory.

Keywords: AGV; steering angle; control method; equation of motion; steering angle controller

0 引言

在仓储搬运过程中, 机器人智能车辆需要集合通信技术、感知技术、决策控制技术等多项先进技术手段, 全方位地决策行驶方向, 并尽量控制高速运行下的转向角度与预期位移相同。相比于传统物流搬运系统, AGV 控制系统具备极大的优势, 每一台搬运机器人均可独立运行, 且可根据实际需求对运行路线以及起始终止站点进行更改。该项技术因成本低廉、定位精度极高, 可与其他各项控制系统协调运行, 在各个领域中应用。国外早就对该项技术进行研究, 并开发了多种仓储物流 AGV 产品, 如北美丰田物流推出的 AGV 配备视觉导航技术, 通过上位机调度系统可实时监测车辆运行状态。目前我国

存在的多种 AGV 可根据上位机的调试运行速度, 分配车辆的优先级, 并将紧急任务优先处理, 将非紧急的任务适当延后。AGV 的搬运系统同样不需要轨道, 行驶路线极为灵活。在对现场路线实时规划的同时, 按照双轮差速的移动方式, 控制两个行走电机, 以实现复杂路线的差速转弯。然而, 由于仓储搬运机械本身承重较大, 一旦行驶速度过快, 很容易发生转向角度的差异^[1-2]。因此, 需要对仓储搬运 AGV 的转向角度进行控制, 以避免转角误差大于预期值, 进而出现转轮偏移等现象。本文基于运动学模型以及控制器, 设计一种转向角度的自动化控制方法。

1 仓储搬运 AGV 运动学建模

在仓储搬运机械中建立运动学模型, 移动设备的运动原理如图 1 所示。

在该模型中, 以 XOY 为大地坐标系, 以 xoy 为搬运装

*基金项目: 2022 年学校青年基金科研课题 (2022C33); 中国通信学会项目 (2021BZTX01)

收稿日期: 2023-08-17

置本身的运动坐标系^[3],由此可获取该装置的运动方程:

$$\begin{cases} x_i = v_p \cos(\mu + \beta) \\ y_i = v_p \sin(\mu + \beta) \\ \mu = R_f \end{cases} \quad (1)$$

式中, x_i 和 y_i 分别表示搬运装置在X轴方向与Y轴方向的位移; v_p 表示车辆的行驶速度; R_f 作为车辆横摆角度; μ 和 β 分别表示大地坐标系的夹角与车辆行驶方向与转向方向的夹角,一般将其作为质心侧偏角^[4-5]。

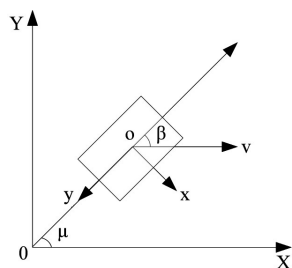


图1 运动学原理

在忽略搬运装置转向角度以及空气阻力的前提下,可结合车辆左右两个轮胎的变化,获取力学方程:

$$\begin{cases} M_p(v_y + v_x R_f) = F_{qc} \cos \gamma + F_{hc} \\ Z_c R_f = d_a F_{qc} \cos \gamma - d_b F_{hc} \end{cases} \quad (2)$$

式中, M_p 表示仓储搬运货物的质量; v_x 和 v_y 分别表示装置在x轴与y轴分量上的运行分速度; F_{qc} 和 F_{hc} 分别表示前后轮胎侧向力; Z_c 表示惯性动量; d_a 和 d_b 分别表示装置质心距离前后轮胎的距离; γ 表示装置前方转向的角度^[6-7]。根据建模过程中的非线性假设,轮胎力的大小一般与侧偏角呈线性关系,因此需要通过运动学与运动学方程之间的关系,确定载物车辆的状态空间形式,并得到状态变量。为便于设计转向角度的控制器,其需要对状态空间模型进行欧拉离散,以获取车辆模型。

2 设计仓储搬运AGV转向角度控制器

2.1 确定输入输出变量

经过AGV的速度与位移分析,需要在不影响运行方向的前提下,获取预设的前进角度。根据实时角度监测编码器,通过扫描周边的信息,对路径进行定位处理,并将信息发送给控制系统,进而获取位置坐标。将原始位置坐标与实时位置坐标进行误差校正,可通过分析获取其精确的位置,并在AGV舵轮的基础上,调整路径偏差^[8-9]。根据实际的操作经验,得到搬运装置的运动误差变化方向,进而在模糊控制器内输入系统变量控制变量以及变量的改进率,输入系统变量可表示为:

$$F_k = \frac{(1 - m_k) d_e}{m_k e_a} \quad (3)$$

式中, F_k 表示变量与改进变量的输入指标; m_k 表示法向距离权重; d_e 表示权重偏差值; e_a 表示方位角度偏差值。此时方位角偏差权重的取值范围集中在[0, 1]之间,经过加权处理后的输入变量可直接将信号输出到电机内,并在AGV控制系统的支持下,运转舵轮角度,并根据设定好的方向前进^[10]。

2.2 确定控制变量

根据AGV控制系统内部结构的特性,需要提前确定模糊结构,在双输入法的控制措施下,适时调整变化系数与比例积分系数,结合变化量,得到车体控制模型。在模糊控制器输入与输出值的范围内,为保证其能对控制器进行标准化设计,需要对其进行离散化处理^[11]。假设取值范围在[x, y],则区间转换的变量公式可以表示为:

$$p = \frac{12}{x - y} \left(q - \frac{x + y}{2} \right) \quad (4)$$

式中, p 和 q 分别表示该转换变量公式中的因变量和自变量; x 和 y 则为该取值范围的下限与上限。

理论上,可将法向位置的偏差值设置为与转向角度相当的数值,结合AGV的系统使用状况,在偏离预设值的前提下,综合安全角度,停止超出安全区域的错误路径。在控制器内,传感器的反馈值会与目标值形成偏差信号,将被控制量与控制对象相互组合,形成一个闭环的稳定状态^[12-13]。在比例环节、积分环节以及微分环节的基础上,结合执行器与传感器,共同构建该控制器的控制规律,并得到传递函数:

$$F(s) = H_p + \frac{H_i}{f_s} + H_d \times s_i \quad (5)$$

式中, $F(s)$ 表示控制器的传递函数; H_p 表示连续采样时间的编程表达系数; f_s 和 S_i 分别表示控制器的输入与输出值; H_p 表示积分系数; H_d 表示微分系数。

根据法向距离偏差的基本理论,可得到位置偏差的量化因子:

$$D_{en} = \frac{D_{ef}}{D_{es}} \quad (6)$$

式中, D_{en} 表示位置偏差量化因子; D_{ef} 表示转向角度偏差值; D_{es} 表示方位角偏差值。

在控制系统内,使用具体的模糊语言变量获取模糊算法,每一个模糊控制规则表均可使用一条模糊语句来决定,因此可得到运算规则为:

$$\begin{aligned} G_1 &= [K_m \times K_n]^T \times P_n \\ &\vdots \\ G_i &= [P_m \times P_n]^T \times K_n \end{aligned} \quad (7)$$

式中, G_i 表示第*i*条控制器内的模糊条件语句; K_m 、 K_n 、 P_m 、 P_n 均表示一个运算规则; P_n 和 K_n 则表示模糊语言变量值

的等级序列。

在该量化测量函数的基础上,对其进行模糊控制。

2.3 设计转向角度自动化控制算法

通过上文方法,可得到一个高精度的转向角度控制方法,据此设计仓储搬运装置的自动化控制算法,其流程如图2所示。

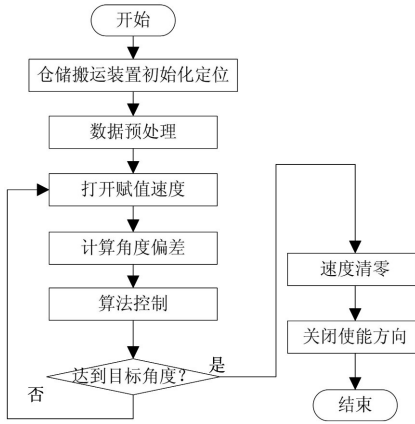


图2 算法流程

在控制仓储搬运装置的转向角度时,为保证精度,需从模糊控制器的输入维数入手,其中描述的规则越多,控制器的控制精度就越高。因此在算法内,需要先对仓储搬运装置的原始位置进行定位,并对定位信息进行初始化处理。打开速度幅值频道,当模糊子集减少时,与之相对应的模糊规则也会进一步减少,因此一般可将模糊子集划分为7-8个。计算仓储搬运AGV系统内的转向角度偏差,其可表示为:

$$X_m = \frac{v_i^2 - v_j^2}{2a_k} \quad (8)$$

式中, X_m 表示转向角度偏差值; v_i 和 v_j 分别表示预设角度与实际转向角度; a_k 表示外延速度。

根据该公式,判断其是否达到目标角度,并在达到预期数值时,将所有速度清零,得到自动化的控制结果。

3 实验研究

3.1 转向角度控制仿真流程与模型搭建

为测试上文中设计的基于随机仓库的仓储搬运AGV转向角度自动化控制方法的有效性,设计如下实验。建立智能仓储搬运机器人的转向角度联合控制仿真模型,如图3所示。

在联合控制仿真模型中,首先需要获取机器人当前的速度和加速度等状态信息,通过自适应的控制器转换预锚点信息。此时的数据需要经过轨迹跟踪计算,将理想横摆角转换为模块化的角速度公式,并根据二者之间的误差带入到控制器内,得到补偿转角。在该仿真实验中,仓储机器人的运行规划路径如图4所示。

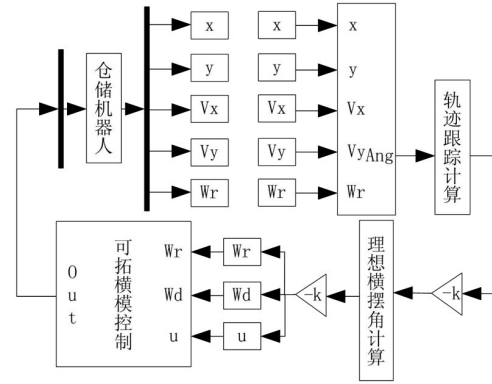


图3 联合控制仿真模型

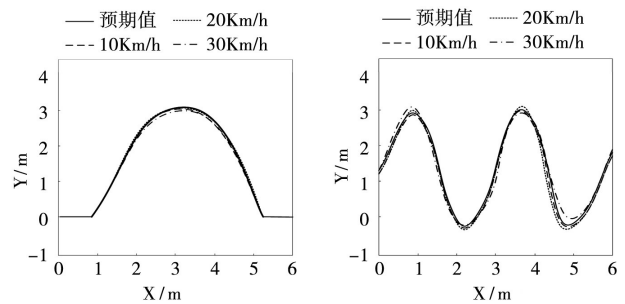
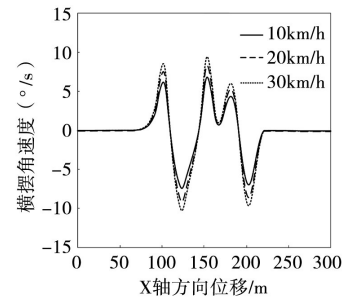


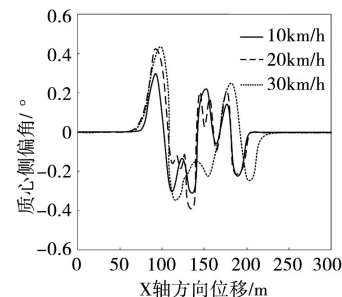
图4 不同速度下转向轨迹描述

如图4所示,本实验中的转向轨迹分别为双移线轨迹和蛇形轨迹,在10 km/h、20 km/h以及30 km/h三种运行速度下,获取仓储搬运机器人的预期轨迹与实际转向轨迹。

3.2 转向角度自动化控制仿真



(a) 横摆角速度



(b) 质心侧偏角

图5 双移线轨迹下转向角度控制效果

在上述角度控制模型中,设置路面黏着系数为0.85,

分别获取转向时三种速度的横摆角速度以及质心侧偏角
的控制效果。如图5所示。

在双移线轨迹下,当仓储搬运机器人以10 km/h的
速度运行时,其横摆角速度约在 $-7\sim 6^\circ/\text{s}$ 之间,质心侧偏
角在 $-0.3\sim 0.3^\circ$ 之间。当机器人以20 km/h的速度运行
时,其横摆角速度略大于10 km/h,但变化角度基本相
同,但其质心侧偏角的速度变化与其速度为10 km/h时
有一定偏差,且角度略大于10 km/h的速度。当机器人
的运行速度为30 km/h时,横摆角速度与质心侧偏角
的变化区域与20 km/h相同。

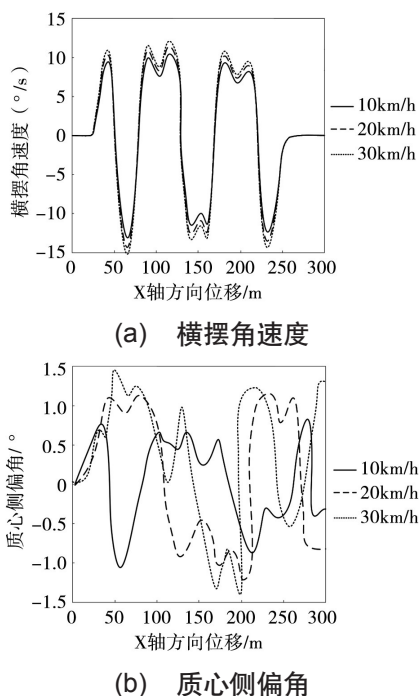


图6 蛇形轨迹下转向角度控制效果

在蛇形轨迹下,车辆在三种行驶速度下的横摆角速
度变化趋势相同,但是随着行驶速度的增加,其角速度也
在小幅度提高。车辆的转向角度始终与规划路径相似,行
驶速度为10 km/h时,最大的侧偏偏差为 1.1° ,当速度为
20 km/h和30 km/h时,最大偏差分别为 1.3° 和 1.5° 。

由此可见,本文设计的转向角度控制方法效果较好,
无论是在双移线轨迹还是在蛇形轨迹下,横摆角速度与
质心侧偏角的变化趋势均符合车辆转角规律,且体现出
良好的控制效果。

4 结束语

本文设计了一种仓储搬运AGV转向角度自动化控
制方法,该方法可减小移动装置高速运行过程中对转向
角度控制不足的问题。实验结果显示,该方法能够呈现
出较好的控制效果,因此具备应用性。在下一步的研究
中,可根据实际的负载重量以及移动式中心的变化规律,

获取高精度模型中参数设定的状态参量,并得到更精确
的自动化控制结果。

参考文献:

- [1] 邹梓杰,严运兵.转向制动联合的线控转向汽车防侧翻控制研究[J].机械设计与制造,2023(1):145-149.
- [2] 高瑞敏.拖拉机助力转向控制策略研究——基于3C2410微处理器[J].农机化研究,2023,45(9):260-264.
- [3] 李学望,汪怡平,苏楚奇,等.考虑驾驶权动态分配的共享转向系统鲁棒控制[J].汽车工程,2022,44(11):1676-1688.
- [4] 张军,张闲,张雪莹,等.四轮独立转向无人车辆斜向行驶轨迹跟踪控制方法[J].北京理工大学学报,2023,43(2):161-169.
- [5] 田杰,张纯涛.分布式驱动差动转向汽车的纵向力协调控制研究[J].重庆理工大学学报(自然科学),2022,36(10):21-30.
- [6] 阳林,利仁滨,骆文星,等.T-S建模的无人车自适应自动转向多目标控制[J].机械设计与制造,2022(10):51-55.
- [7] 刘庆伟,GORDON Tim,RAHMAN Shammi,等.基于人工流场的四轮转向自动驾驶集成控制算法[J].机械设计与研究,2022,38(4):138-144.
- [8] 杜云雷,王先云,韩忠良,等.考虑转向意图的分布式电驱动汽车横摆稳定性控制[J].重庆理工大学学报(自然科学),2022,36(8):101-108.
- [9] 韩嘉懿,赵健,朱冰.面向智能汽车人机协同转向控制的强化学习变阻抗人机交互方法[J].机械工程学报,2022,58(18):141-149.
- [10] 李宇昊,赵又群.基于双层控制策略的四轮独立转向无人驾驶汽车路径跟踪[J].江苏大学学报(自然科学版),2022,43(4):386-393.
- [11] 徐彬,张大鹏,杨海洋,等.基于转向响应特性的智能车辆轨迹跟踪双闭环控制[J].北京理工大学学报,2022,42(7):706-712.
- [12] 徐长庚,李彦明,刘子翔,等.基于改进滑模控制的水稻直播机路径跟踪研究[J].农机化研究,2025,47(4):28-34.
- [13] 陈通,汪祝年,周鹏,等.机器人移动路径跟踪与实时避障方法[J].自动化技术与应用,2024,43(6):43-45,54.

作者简介:周滢(1989-),女,本科,讲师,研究方向:通信技术、高职教育研究。