

基于大曲率弯道转向性的 AGV 系统设计与控制策略研究

冯钦锋¹

(1. 河北工业大学 亚利桑那工业学院 天津北辰 300400)

摘要: 设计了一种适应复杂工况复合路径的 AGV 循迹小车, 采用传统 PID 与模糊 PID 两种控制策略进行了对比研究。使用姿态传感器来获取 AGV 的位置, 通过收集的位置数据对实验结果进行了分析。针对大曲率弯道情况, 采用模糊 PID 对 AGV 系统进行控制与实验改进, 实现了复杂路径的稳定控制, 优化后的调整时间与峰值时间趋近于 0。实验结果表明, 采用模糊 PID 对偏航角进行控制, 在大曲率弯道上相对于传统 PID 而言具有更好的控制效果。

关键词: 模糊 PID; 转向系统; 循迹; AGV; 性能优化

中图分类号: TP23; TP273

Research on the Design and control Strategy of AGV System Based on the steering ability of large curvature Bends

Feng Qinfeng¹

(1. Arizona College of Technology at Hebei University of Technology, Hebei University of Technology, Tianjin 300400)

Abstract: An AGV tracking vehicle adapted to complex working conditions and composite path was designed, and two control strategies of traditional PID and fuzzy PID were used for comparative study. The attitude sensor is used to obtain the position of the AGV, and the experimental results are analyzed by the collected position data. For the case of large curvature bends, fuzzy PID is used to control and improve the AGV system, and the stable control of complex paths is realized. The optimized adjustment time and peak time are close to 0. The experimental results show that the yaw Angle control using fuzzy PID has better control effect than the traditional PID on the large curvature curve.

Key word: Fuzzy PID; Steering system; Tracking; Performance optimization

随着社会发展对工业制造的需求不断增高,在“中国制造 2025”国家行动纲领的推动下, 社会对工业化的需求逐渐提升, AGV 小车的应用范围越来越广泛, 多领域复杂工况也对 AGV 实际应用性能提出了更高的要求。AGV 作为衔接工厂中不同加工环节中最重要的一环, 其运行的效率以及稳定性决定了工厂加工效率^[1-2]。其中, AGV 转向系统起到了关键性作用, 决定了整车的运行速度上限。目前, 对 AGV 转向方面的研究^[3-4]主要针对直道和一般曲率弯道的情况。当 AGV 处于较为特殊的情况, 转向系统的适应性、过弯性能提升及实验验证等方面有待研究。文中设计了一种具有大曲率弯道转向功能的 AGV 循迹小车, 使用模糊 PID 作为转向系统的控制器, 经多次实验对比验证了其相对于传统 PID 处于大曲率弯道上具有较好的转向性能。

1 系统设计

工业常用 AGV 通常造价较高, 研究成本高, 因此采用简化的模型对 AGV 系统进行研究。此 AGV 系统采用 Jetson nano 作为主控, 在 Linux 系统上部署 Ros 系统作为程序的调度。使用 STM32F407 单片机作为下位机进行硬件驱动。电机驱动选用 DRV8701 作为驱动器, 为实现速度的闭环控制, 选用正交 1024 线编码器采集车轮旋转速度并将其传回单片机。在方向控制上, 车前装有 20kHz 高精度配频电感电磁信号传感器, 传感器固定于小车前方, 高于地面 10cm 处, 具体布局示意图如图 1 所示。同时小车具有 RS824 低噪声放大器, 能将采集到的交变信号进行放大, 放大后的信号方能传递给单片机进行信号处理^[5]。通过单片机的 AD 模数转换通道将电感采集到的模拟信号转化为数字信号, 对数字信号进行数据处理, 得出的数据表

示了小车对中心期望位置的偏差, 将偏差传入模糊 PID 控制器中, 控制系统对实时位置偏差进行计算, 得出以小车为中心坐标建立的运动模型应有速度^[6]。系统硬件结构图如图 2 所示。



图 1 电感电磁信号传感器布局图

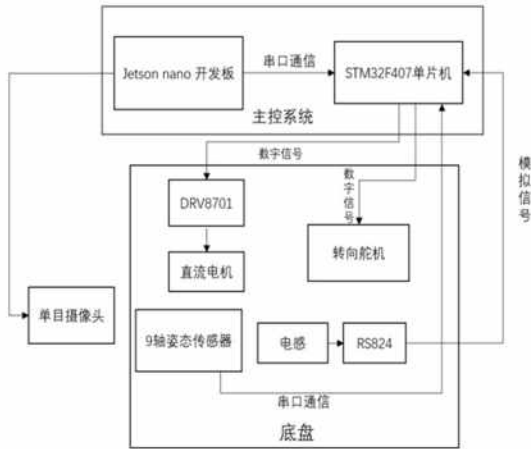


图 2 AGV 小车系统硬件结构图

2 采集数据处理

经过放大器放大及单片机滤波后的数据在理论情况下可以进行使用。在实际使用中, 信号线安装高度, 材料都会对采集到的电感值产生影响, 为避免无关因素对数据采集产生的影响, 消除特征间单位与尺度差异带来的影响, 对电感采集到的数据进行归一化处理^[7], 根据公式 1:

$$x' = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (1)$$

将采集到的所有电感数据全部转换为[0,1]区间, 作为一维数组存储在单片机中。如图 1 所示, 由于在小车前端安装了 4 个电感电容电磁信号传感器, 分别是 L (左电感), LM (左斜电感), R (右电感), RM (右斜电感), 为提升小车对弯道的敏感性及其拟合度, 对采集到的电感数值使用公式 2, 进行差比和差加权算法处理:

$$Err = \frac{A \cdot (L - R) + B \cdot (LM - RM)}{A \cdot (L + R) + C \cdot |LM - RM|} \quad (2)$$

为更好的处理转向系统所检测到的路径信息, 引入加权参数 A、B、C, 根据实际情况对其进行调节, 用于修正转向系统在不同工况下所产生的偏差。通过调节公式 2 中各个电感的权重, 使得公式 2 相比于不进行数据处理而言, 转向系统对弯道有着较好的亲和性, 同时具有较好的稳定性。分别采集 4 个电感的数据, 计算得出 AGV 相对电磁导航线的偏差 Err。

3 控制器的设计

3.1 转向控制系统设计

对于 AGV 的转向系统采用 PD (比例-微分) 控制, 微分项能提高小车对弯道的拟合性, 降低在弯道上产生的振荡。决定行驶的稳

定与否最重要为偏航角的控制, 可以称之为方向环, 由于循迹小车系统作为机电高耦合分布式系统, 且行驶环境也需要进行考虑, 故建立运动控制数学模型较为复杂, 使用理论仿真来整定参数的方法限制较多, 因此采用试探法整定参数。根据公式:

$$u(t) = K_p (Err(t) + T_d \frac{dErr(t)}{dt}) \quad (3)$$

由于使用单片机进行处理运算, 具有无法连续采样的特性, 无法连续输出控制量, 故应对式中积分项与微分项进行离散化处理, 以为采样次数, 为采样周期, 将积分项与微分项近似变化为:

$$\int_0^t e(\tau) d\tau \approx \tau \sum_{j=0}^k e_j \quad (4)$$

$$\frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e_k - e_{k-1}}{\tau} \quad (5)$$

将离散化后的公式代入, 得出可供主控系统使用的公式为:

$$u(k) = K_p Err(k) + K_D [Err(k) - Err(k-1)] \quad (6)$$

对于系统的方向环而言, 需向公式传入误差与误差变化率, 以及对 K_p 与 K_D 两参数的整定。由于环境的变化, 不同工况下系统所需要的参数是不一致的, 只采用单一参数会导致系统的稳定性下降, 故引入模糊 PID 控制器。如图 3 所示, 使用模糊控制算法对控制器的 K_p 与 K_D 参数进行动态整定, 从而提高控制系统的稳定性。

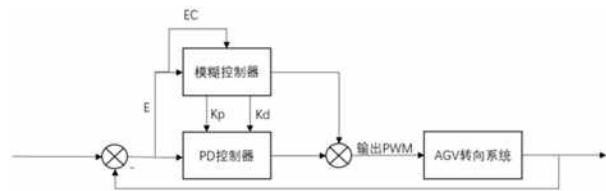


图 3 模糊 PID 控制职能图

3.2 模糊控制规则设计

设置两个模糊子集传入模糊控制器, 将小车对于期望位置的误差 E 作为第一个模糊子集, 误差量的变化率 EC 作为第二个模糊子集。将实际的误差 E 与误差变化率 EC 输入, 进行模糊化处理。规定误差 E 的模糊子集可以写作:

$$E = \{NL, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$$

误差变化率的模糊子集写作:

$$EC = \{NL, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$$

设输出为, 其模糊子集写作:

$$U = \{NL, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$$

对输入 EC 与 E 的 NB 至 NM, PM 至 PB 子集采用广义钟型隶属函数, 如图 4, 其余部分子集采用三角形隶属函数^[8], 如图 5。

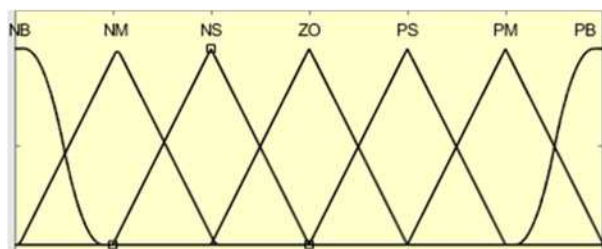


图 4 与所用隶属函数

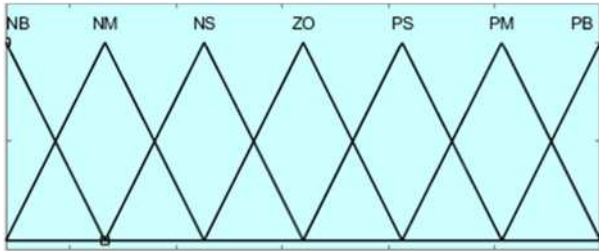


图 5 输出所用隶属函数

系统论域决定系统的实际输出值, 经过测试与观察, 设参数 K_p 的论域范围为:

$$U_1 = \{2.0, 2.1, 2.2, 2.4, 2.8, 2.8, 3\}$$

参数 K_D 的论域范围:

$$U_2 = \{4, 7, 10, 13, 17, 19, 22\}$$

输入变量误差变化率:

$$EC = \{-2.5, -1.5, -0.5, 0, 0.5, 1.5, 2.5\}$$

误差变化为:

$$E = \{-55, -20, -10, 0, 20, 10, 55\}$$

设计模糊规则表定义如图 6 所示:

输出	EC						
	NL	NM	NS	ZO	PS	PM	PL
NL	NL	NL	NL	NM	NS	NS	ZO
NM	NL	NM	NM	NM	NS	ZO	ZO
NS	NM	NM	NS	NS	ZO	ZO	PS
E	ZO	NS	NS	ZO	ZO	ZO	PS
PS	NS	ZO	ZO	PS	PS	PM	PM
PM	ZO	ZO	PS	PM	PM	PM	PL
PL	ZO	PS	PM	PM	PL	PL	PL

图 6 模糊规则表

根据模糊规则表进行模糊推理, 将推理所得输出依据隶属度进行重心法去模糊, 将输出映射在论域 U_1 与 U_2 范围内, 得出最终参数 K_p 与 K_D , 再将得到的 K_p 与 K_D 两参数传入 PD 控制器中。在单片机当中, 模糊子集作为一维数组, 模糊规则表作为二维数组分别储存在内存中, 通过上述流程对模糊子集进行模糊计算, 最后输出 U 作为参数传入控制器中。

4 MATLAB 仿真实验

在 MATLAB 软件上使用 Simulink 模块搭建仿真环境如图 7 所示, 系统传递函数为一个二阶响应系统。

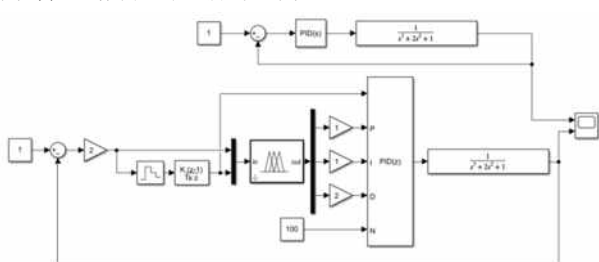


图 7 模糊 PID 与传统 PID 对比仿真图

仿真结果如图 8 所示, 模糊 PID 在系统受到作用瞬间做出响应, 其系统调整时间 t_{s1} 与峰值时间 t_{p1} 趋近于 0。在经过 19% 的超调量后迅速稳定在期望值附近。传统 PID 的调整时间 t_{s2} 为 1.3ms, 峰值时间 t_{p2} 为 1.9ms, 此后再经过 3ms 后稳定于期望值附近。

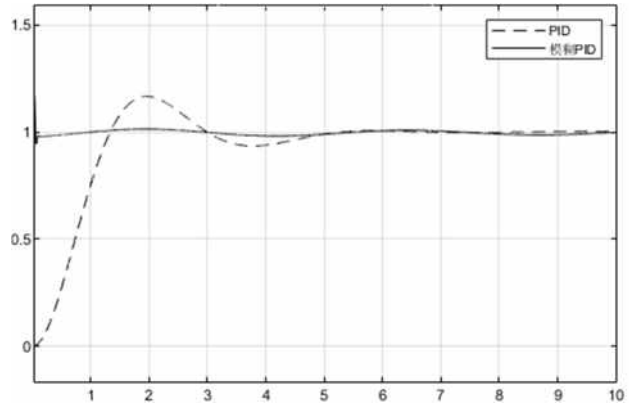


图 8 仿真结果对比图

5 实验验证

为对比模糊 PID 相对于传统 PID 在 AGV 转向系统上的性能差别, 如图 9 所示, 搭建实验环境对 AGV 的循迹性能进行验证。在地面铺设漆包线作为引导信号, 漆包线轨迹包含大曲率弯道, 直道。向漆包线接入信号发生器, 用于提供 20kHz 的交变信号。在小车上放置姿态传感器, 用于记录小车位置变化, 具体实验流程图如图 10 所示。

2.1 合理控制零件的加工温度

在薄壁零件切削过程中, 自身温度会影响到刚度数值, 如果零件长时间处于高温状态, 薄壁处会变软, 这时在与切削刀具接触时, 便会产生变形情况。因此要从切削工艺着手, 对加工参数进行调节, 避免刀具切削中的振动现象, 这样就不会与零件产生多余接触, 不仅可以保证加工精度, 还能够避免零件材料升温。例如铣刀加工时, 每齿进给量要适中, 尽量控制在 0.1-0.15mm 以内, 而且后续的吃刀量也要维持在 1mm 以内, 才能获得较好的切削效果, 此外, 根据不同薄壁零件的材质情况, 对切割工艺进行调整, 合理控制主轴转速, 也可以提高零件加工的稳定性的, 搭配切削液与降温液, 为薄壁零件提供良好的温度环境^[3]。



图 9 现场测试图

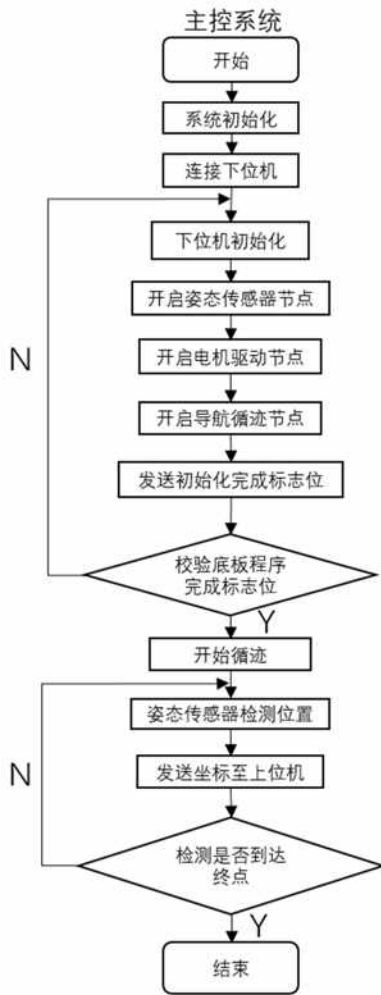


图 10 实验流程图

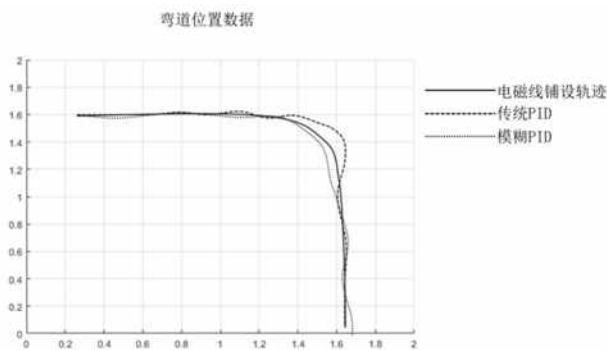


图 11 弯道处轨迹对比图

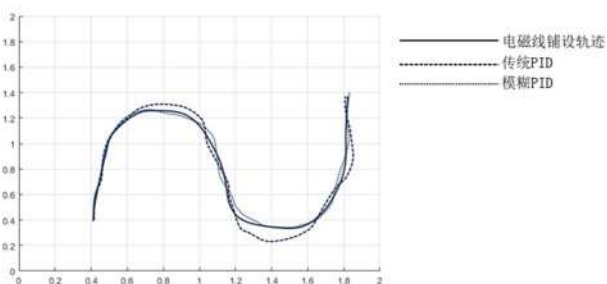


图 12 连续 S 弯道处轨迹对比图

通过上述两图可以看出，模糊 PID 在弯道处的响应效果曲线通常内切于弯道。传统 PID 在弯道处的响应效果曲线则具有一定的滞后性，在高速运行的情况下，在一定距离内的采样次数会下降，使得采用传统 PID 的转向系统更有失控偏出的可能性。对比直道上运行的两者的响应效果曲线，使用模糊 PID 的系统曲线与电磁轨迹线重合路径较多，可以看出模糊 PID 在对大曲率弯道有较好拟合性，在直道上也与传统 PID 性能基本相当。

6 结语

文中设计了一种针对大曲率弯道基于模糊 PID 的 AGV 转向系统，使用模糊控制器实时整定 PD 控制器的参数，提升 AGV 搬运系统对工况的适应性，同时使得参数的整定难度与传统 PID 相比有一定的降低。通过实验，验证了 AGV 转向系统在使用模糊 PID 在大曲率弯道上相比传统 PID 有着较好的拟合性与响应速率，为后续的优化研究提供了思路。

参考文献

- [1] 袁鹏, 徐长风, 周军, 杨子兵. AGV 控制系统改进抗干扰模糊 PID 研究[J]. 机械设计与制造, 2023, 第 385 卷 (3): 212-21.
- [2] 刘建娟, 刘忠璞, 张会娟等. 基于模糊控制蚁群算法的移动机器人路径规划[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2023 (01): 20-24.
- [3] 邓语馨, 陈洪芳, 张爽, 王煜, 梁超伟, 孙若水. 智能物流的轮式循迹机器人系统设计[J]. 工具技术, 2022, 56 (06): 57-60.
- [4] 吴瑞明, 冯浩然, 傅阳等. 基于模糊 PID 控制的差动 AGV 稳定性控制研究[J]. 机床与液压, 2022, 50 (06): 55-60.
- [5] 李全民, 贾林锋. 电磁循迹式智能小车传感器布置研究[J]. 实验技术与管理, 2019, 36 (08): 139-142.
- [6] 孙建康, 王帅, 曹斯萌, 石秀敏. 基于模糊 PID 控制的智能循迹小车设计[J]. 现代制造技术与装备, 2021, 第 57 卷 (12): 202-205.
- [7] 杨寒雨, 赵晓永, 王磊. 数据归一化方法综述[J]. 计算机工程与应用, 2023, 59 (03): 13-22.
- [8] 黄实批. 基于模糊控制算法的采摘机器人执行系统优化[J]. 农机化研究, 2023, 45 (02): 194-198.

作者简介:

[1] 冯钦锋 (2004—), 男, 本科, 研究方向: 机电控制。

基金项目: 河北省创新创业教育教学改革研究与实践项目 [2023excy021]