

doi: 10.7690/bgzdh.2017.12.018

基于模糊 PID 控制的 AGV 控制

葛红豆, 赫 雷, 曹雏清, 周克栋

(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

摘要: 为提高自动导引小车(automatic guided vehicle, AGV)运动控制效率, 建立了 AGV 的 3 维模型和运动模型, 通过 Matlab/Simulink 对 AGV 的运动模型进行仿真分析。分别使用 PID 控制、模糊控制和模糊 PID 控制方法对 AGV 的运动进行仿真, 得到 3 种控制方式的响应时间和控制效果, 并从行走距离和响应时间进行分析。仿真结果表明: 建立的 Simulink 模型真实可靠, 模糊 PID 控制效果比模糊控制和常规 PID 控制效果更好, 可为 AGV 的控制研究提供参考。

关键词: AGV; 运动模型; Matlab/Simulink; 模糊 PID 控制

中图分类号: TP242 **文献标志码:** A

AGV Control Based on Fuzzy PID Control

Ge Hongdou, He Lei, Cao Chuqing, Zhou Kedong

(School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of automatic guided vehicle (AGV) motion control, this paper designs a three-dimensional model and motion model of AGV, and simulates and analyzes the motion model of AGV by Matlab/Simulink. The PID control, fuzzy control, and fuzzy PID control are used to simulate the motion of AGV. The response time and control effect of the three control modes are obtained and analyzed from the walking distance and response time. The simulation results show that the established Simulink model is reliable and the fuzzy PID control effect is better than the fuzzy control and the general PID control, which provides a reference for AGV control research.

Keywords: AGV; motion model; Matlab/Simulink; fuzzy PID control

0 引言

自动导引小车(automatic guided vehicle, AGV)是指装备有电磁或光学等自动导引装置, 能够沿规定的导引路径行驶, 具有安全保护装置以及各种移栽功能的运输车辆^[1]。AGV 属于轮式移动机器人(wheeled mobile robot, WMR)的一个分支, 具有自重轻、承载大、机构简单、安全、灵活、工作效率高和自动化程度高等特点, 因而被广泛应用于机械制造、烟草、医药和食品等行业, 是现代工业自动化物流系统以及柔性生产系统如计算机集成制造系统(CIMS)中的关键设备之一^[2]。

AGV 小车的研发涵盖了机械设计、电子信息、控制理论和无线通信等学科, 是集机、电、光、计算机和通信等技术于一体的高科技产品, 是将各门学科先进的技术理论和成果投入到生产之中的重要实践^[3]。AGV 小车主要由车载控制系统、行走系统、导航系统、通信系统和供电系统等组成, 其中导航系统和控制系统是目前 AGV 小车研究的重点^[4]。

AGV 的速度调节和偏差修复往往通过 PID 控制完成, 传统的 AGV 控制系统常采用常规的 PID

控制器, PID 控制原理简单, 可靠成熟, 适用性强, 然而 PID 控制在高耦合系统、自适应系统、时延系统和高精度系统等场合中都难以使用; 模糊控制使用语言方法, 无需精确数学模型, 适用于解决非线性、强耦合时变和滞后等控制问题, 有较强容错能力, 然而模糊控制的设计缺乏系统性, 无法定义控制目标, 信息的模糊化处理将导致控制精度降低, 动态品质变差^[5]。模糊 PID 控制克服了常规 PID 控制和模糊控制的不足, 并同时拥有他们的长处。

笔者基于 Simulink 建立了 AGV 的运动模型, 使用 PID 控制、模糊控制、模糊 PID 控制对系统分别进行研究分析, 通过仿真分析证明了模糊 PID 控制系统的合理性和优越性。

1 AGV 整体结构设计

笔者设计的 AGV 小车整体结构简图如图 1 所示。采用六轮双驱动轮式设计, 4 个角分布 4 个自由轮, 其支撑和平衡作用, 保障了 AGV 的承载能力和稳定性, 驱动系统(包括驱动电机、减速箱和驱动轮)采用交错布局方式, 驱动系统实物如图 2 所示, 每个驱动轮都配有一个独立的驱动电机, 以差

收稿日期: 2017-09-02; 修回日期: 2017-10-13

作者简介: 葛红豆(1992—), 男, 江苏人, 硕士, 从事智能机械与机器人应用技术研究。

速驱动方式来控制AGV的运行。

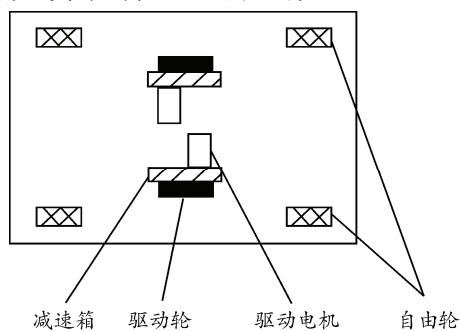


图1 AGV小车整体结构

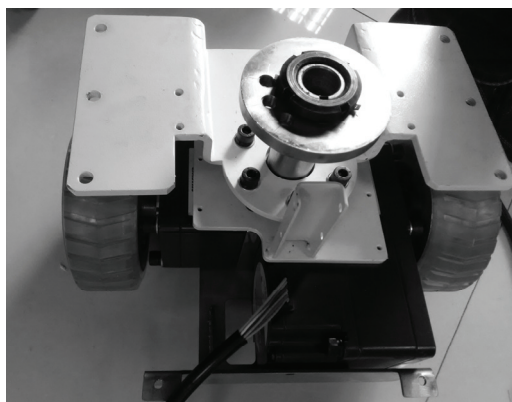


图2 驱动系统实物

2 AGV运动学模型

在确定当前AGV所处位置时，把AGV整体简化为AGV中心点一个质点，即图3中M点，以M点坐标 (X_M, Y_M) 表示AGV的位置，以AGV中心线与X轴夹角表示AGV的转向角 θ ，则AGV的当前位姿矩阵^[6]为：

$$\xi_M = (X_M, Y_M, \theta)^T. \quad (1)$$

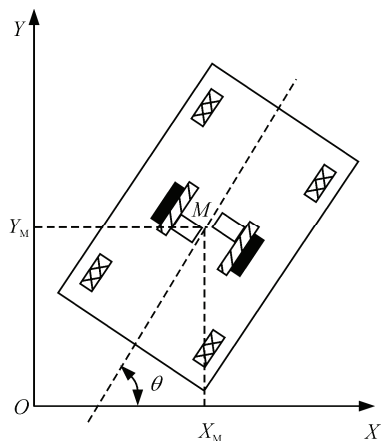


图3 停车AGV运动学示意图

AGV整车运动状态的输入为AGV左右驱动轮速度 v_L 和 v_R ，输出选取AGV中心点的位姿矩阵 $\xi_M = (X_M, Y_M, \theta)^T$ ，AGV任意时刻的位置表示为：

$$\xi_M = (X_M, Y_M, \theta)^T = \begin{pmatrix} X_0 + \int_0^t \frac{v_L + v_R}{2} \cos \theta dt \\ Y_0 + \int_0^t \frac{v_L + v_R}{2} \sin \theta dt \\ \theta_0 + \int_0^t \frac{v_L - v_R}{L} dt \end{pmatrix}. \quad (2)$$

式中： X_0 为AGV初始时刻X坐标； Y_0 为AGV初始时刻Y坐标； θ_0 为AGV初始时刻 θ 值。

通过对AGV速度和位置的运动学分析，可以得到AGV前后直线运动、左右转向运动和原地转向运动等运动状况。

由于环境影响和AGV所带电机控制问题，会使AGV在预设路径上产生运动误差，如图4^[7]所示。

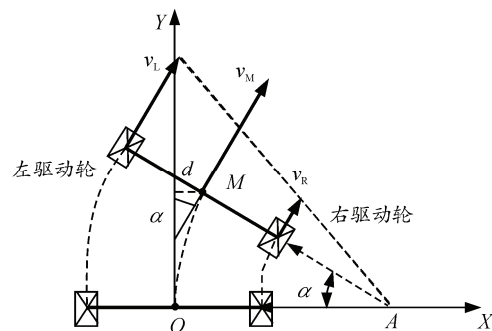


图4 AGV运动误差示意图

图中： d 为AGV水平方向距离误差； α 为AGV角度误差。

则偏差表达式为：

$$E_\alpha = \theta_0 + \int \omega dt; \quad (3)$$

$$E_d = Y_0 + \int \bar{v} \sin \alpha dt. \quad (4)$$

式中： $\omega = \frac{v_L - v_R}{L}$ ； $\bar{v} = \frac{v_L + v_R}{2}$ 。

以距离误差 E_d 、角度误差 E_α 为反馈对AGV进行纠偏。

3 AGV控制系统

3.1 AGV控制器结构

AGV的控制系统结构如图5所示，控制系统由2部分构成：

1) 经典PID控制器：该控制器直接对被控制对象进行闭环控制，并且3个参数 k_p 、 k_i 、 k_d 为在线控制。

2) 模糊化模块：对系统的状态变量模糊量化和归一化处理。

PID控制器采用经典PID增量式控制，其表达

式如下:

$$u(k) = u(k-1) + k_p[e(k) - e(k-1)] + k_i e(k) + k_d[e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]; \quad (5)$$

$$e(k) = r(k) - y(k). \quad (6)$$

式中: $u(k)$ 为控制器的输出; $r(k)$ 为给定的期望位姿; $y(k)$ 为 AGV 实际位姿; $e(k)$ 为二者的偏差信号。

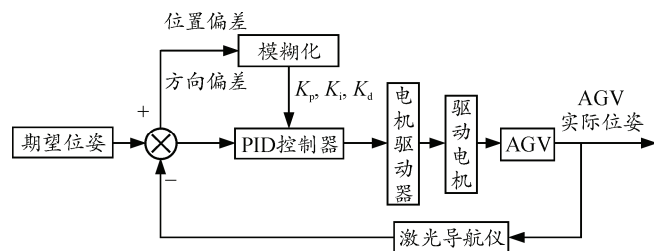


图 5 AGV 运动学模型

模糊化模块主要功能是对系统的偏差信号 $e(k)$ 进行模糊量化、归一化处理, 利用模糊控制的鲁棒性和非线性控制作用, 对 PID 控制器输入参数进行预处理, 解决了 PID 参数设定的难题^[8]。

利用安装在 AGV 上的激光导航仪进行 AGV 小车的定位, 输出 AGV 实际位姿, 然后与期望位姿进行比较, 得到距离误差 E_d 与角度误差 E_a , 输入偏差至模糊控制器中, 通过模糊推理, 输出调节驱动电机的比例参数, 通过调节电机转速与方向完成控制 AGV 小车姿态^[9-10]。

3.2 Simulink 建模与仿真分析

AGV 实际运行过程中, E_d 、 E_a 可由激光导航仪实时测得, 为降低系统耦合性, 将 E_d 、 E_a 以一定权重组合, 并以此为反馈对停车 AGV 运动进行控制。

笔者设计 AGV 驱动轮距 $L=0.5$ m, 令 $\bar{v}=0.5$ m/s, 定义 AGV 初始位姿矩阵为 $(0, 0.5, 0)$, 目标运动曲线为 $y=0$, 建立 Simulink 模型。模型中控制模块共有 PID 控制、模糊控制和模糊 PID 控制。

在 PID 控制中, 根据现有运动学模型采用试凑法取得参数: $k_p=0.1$, $k_i=0$, $k_d=0.5$ 。

在模糊控制中, 运用 Matlab 模糊控制工具箱, 根据参考文献[11]的规则表, 使用 “If A_i and B_j , then C_{ij} ” (其中 A_i , B_j , C_{ij} 分别为 E , E_c 和输出的对应语言值) 共 49 条语言规则, 建立图 6 所示模糊控制模块。

模糊 PID 控制中, 考虑到模型输入为 E 、 E_c , 输出为 K_p , K_i , K_d , 因此共有 $7 \times 7 \times 3 = 147$ 条语言规则, 搭建出模糊 PID 控制模块如图 7 所示。

将运动学模型分别和 PID 控制模块、模糊控制模块、模糊 PID 控制模块连接进行仿真, 得到如图

8—10 所示的 X - Y 位姿图、 E_d - t 图、 E_a - t 图。查看运动稳定时, AGV 已行走距离以及所需要的时间, 进行对比。

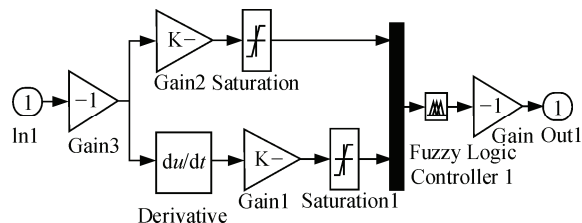


图 6 模糊控制模块

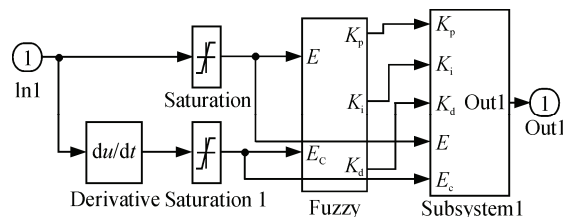


图 7 模糊 PID 控制模块

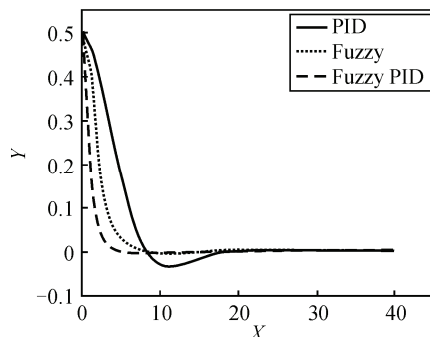


图 8 AGV 运动轨迹

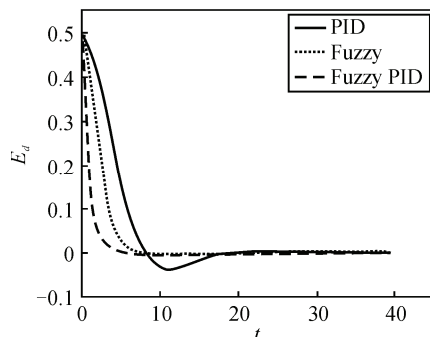


图 9 距离偏差 E_d - t

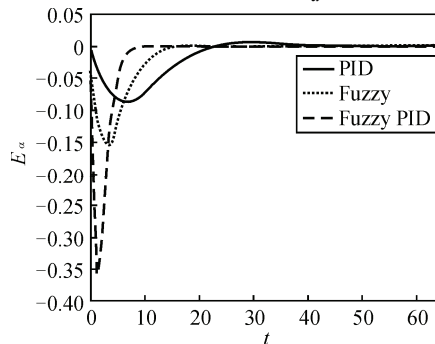


图 10 角度偏差 E_a - t

由图 8—10 可知: PID 控制时系统达到稳定时

横向行走距离为 30 m, 所需时间为 60 s; 模糊控制达到稳定时横向行走距离为 8 m, 所需时间为 20 s; 模糊 PID 控制系统达到稳定时, 横向行走距离为 5 m, 所需时间为 10 s。采用模糊 PID 控制的系统拥有最好的性能。

4 结论

笔者通过 Simulink 建模, 对 AGV 3 种控制方式进行了仿真。仿真结果验证了建立的运动学模型是真实可靠的。通过仿真对比实验可知: 模糊 PID 控制系统效果最好, 反应速度快, 稳定性好, 极大提升了控制系统的性能。

参考文献:

- [1] 武启平, 金亚萍, 任平, 等. 自动导引车(AGV)关键技术现状及其发展趋势[J]. 制造业自动化, 2013(10): 106-109.
- [2] 张辰贝西, 黄志球. 自动导航车(AGV)发展综述[J]. 机械设计与制造工程, 2010, 39(1): 53-59
- [3] 吴伟涛. 物流搬运 AGV 的总体方案及其关键技术研究

(上接第 58 页)

在到达地面后, 由于气体堆积, 气体密度上升, 质量分数有所提高。

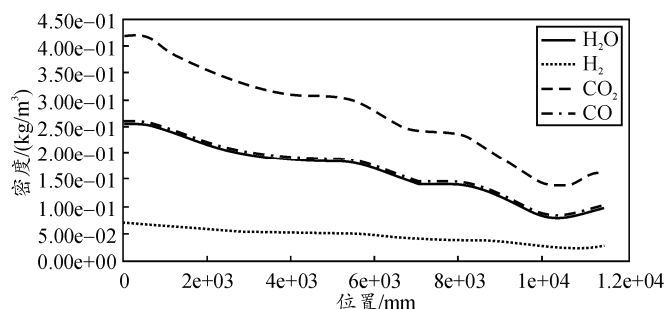


图9 组分分布

5 结论

笔者在考虑燃气成分的情况下, 采用基于密度的标准 $k-\epsilon$ 湍流模型对某型双喷管运载火箭的 3 维发射尾焰流场进行了一体化仿真计算, 得到结论:

- 1) 通过对比发现, 仿真结果和理论分析得到欠膨胀燃气射流尾焰近流场的激波系结构基本一致。
- 2) 在双喷管尾焰流场中, 燃气射流对地面的压力在离中心 1 m 处达到最大值 0.4 MPa, 在 2 m 处受到冲击最弱。
- 3) 在双喷管尾焰流场中, 地面温度在 2 个喷管中心处达到最大值 2 700 °C 左右, 然后沿径向减小。

- [D]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2013: 2-8.
- [4] 孙帅, 焦子韵, 刘晓宇, 等. 智能 AGV 小车控制系统设计[J]. 南通职业大学学报, 2016, 30(1): 96-100.
- [5] 叶金鑫. 基于模糊 PID 的智能小车控制算法研究[J]. 实验科学与技术, 2016, 14(1): 46-47, 62.
- [6] 黄胃. 基于 PLC 控制的 AGV 技术研究及其应用[D]. 上海: 华东理工大学, 2013: 16-20.
- [7] 刘景柠. AGV 路径跟踪控制研究[D]. 赣州: 江西理工大学, 2015: 19-21.
- [8] 张金龙, 徐慧, 刘京南, 等. 基于模糊神经网络的精密角度定位 PID 控制[J]. 仪器仪表学报, 2012, 33(3): 549-554.
- [9] 朱天宇, 谭琳. 激光导引四轮驱动型 AGV 小车模糊控制的研究[J]. 机电工程, 2013, 30(8): 1025-1028.
- [10] KUN Fan, QIANG Yang, WEN jun Yan, et al. Fuzzy-PID based deviation-correcting control system for laser guided AGV[C]//Proceedings of 2012 International Conference on Modelling. Identification and Control. 2012: 472-477.
- [11] 刘金琨. 先进 PID 控制 MATLAB 仿真[M]. 3 版. 北京: 电子工业出版社, 2011: 115-146.

在 2 个喷管的对称面径向上温度减小, 梯度较小, 在 2 个喷管直径相连的径向上温度减小, 梯度大。

4) 仿真得到了发射流场中燃气射流的速度分布情况以及燃气组分的扩散情况, 为后续实验测量提供了参考和理论依据。

参考文献:

- [1] 杨勇, 张福祥, 曹丛咏. 火箭燃气射流对斜板冲击流场的数值模拟[J]. 弹道学报, 1995, 3(7): 42-44.
- [2] 孙晋, 曹从咏. 火箭喷流对平板冲击的数值模拟[J]. 南京理工大学学报, 2002, 26(4): 391-384.
- [3] 李军, 曹从咏, 徐强. 固体火箭燃气射流近场形成与发展的数值模拟[J]. 推进技术, 2003, 24(5): 410-413.
- [4] 聂万胜, 杨军辉, 何浩波, 等. 液体火箭发动机尾喷焰红外辐射特性[J]. 国防科技大学学报, 2005, 27(5): 91-94.
- [5] 丰松江, 聂万胜. 导弹尾焰对其飞行性能的影响研究[J]. 装备学院学报, 2006, 17(5): 39-41.
- [6] 周松柏, 郭正, 高嵩, 等. 火箭发动机动态流场的数值模拟[J]. 推进技术, 2007, 28(2): 118-121.
- [7] 张光喜, 周为民, 张刚锤, 等. 固体火箭发动机尾焰流场特性研究[J]. 固体火箭技术, 2008, 31(1): 18-23.
- [8] 马艳丽, 姜毅, 郝继光, 等. 固体发动机燃气射流对发射平台冲击效应研究[J]. 固体火箭技术, 2010, 33(4): 381-384.
- [9] 苗瑞生. 发射气体动力学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006: 180-183.